

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-64098 от 18 декабря 2015 г.

Учредитель – Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова» (141074, Московская область, г. Королев, ул. Гагарина, д. 42)  
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\*:  
2. Технические науки; 2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь; 2.3. Информационные технологии и телекоммуникации [2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации; 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей], \*(не входит в Перечень ВАК);  
2.5. Машиностроение [2.5.13. Проектирование конструкции и производство летательных аппаратов], \*(входит в Перечень ВАК);  
2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия; [2.6.17. Материаловедение] \*(входит в Перечень ВАК)

Подписной индекс в каталоге «Почта России» ПП997

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

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

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### *СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ*

Аббасова Т.С., Чибисова О.В.

**РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОЙ ГРУППЫ.....3**

Погодин А.В., Жиделев М.А.

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ КОНТРОЛЬНО-ПРОПУСКНОГО ПУНКТА ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....14**

Стрельцова Г.А.

**КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ: НАСТОЯЩЕЕ, ТЕОРИЯ И ПРОГНОЗЫ.....27**

Теодорович Н.Н., Федоров Д.Ю.

**ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ СТРУКТУРИРОВАННОЙ КАБЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ – КАБЕЛИ 8 КАТЕГОРИИ.....38**

### *МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ*

Борисова О.Н., Плахов А.А.

**СРЕДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC В ПРИМЕНЕНИИ К УЧАСТКУ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ Г. КОРОЛЕВ.....45**

Булаева О.В., Руя М.А.

**СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ SPA ПРИЛОЖЕНИЙ НА ФРЕЙМВОРКЕ ANGULAR.....54**

Логачева Н.В., Сюсин К.А.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ VISUAL PARADIGM.....66**

### *ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ*

Афонин В.П., Сыкеева И.Н.

**ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ СЛОЖНОЙ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ВЕДЕНИЯ ПРОТИВНИКОМ КОСМИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ И РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА СМЕНЫ ПОЗИЦИЙ.....76**

Байков С.В., Зинина А.И.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА СООТВЕТСТВИЯ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ...87**

#### 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. **Аббасов Э.М.**, к.т.н.
2. **Аббасова Т.С.**, к.т.н., доцент
3. **Бухаров С.В.**, д.т.н., профессор
4. **Бершадский В.А.**, д.т.н., профессор кафедры
5. **Воловач В.И.**, д.т.н., профессор
6. **Кучеров Б.А.**, к.т.н.
7. **Логачев И.А.**, к.т.н.
8. **Логачева А.И.**, д.т.н., профессор
9. **Макаров М.И.**, д.т.н., профессор
10. **Матвиенко Ю.Г.**, д.т.н., профессор
11. **Мороз А.П.**, д.т.н., профессор
12. **Мосалов О.П.**, к.ф.-м.н.
13. **Разумовский И.М.**, д.ф.-м.н., профессор
14. **Рудаков В.Б.**, д.т.н., профессор
15. **Самаров Е.К.**, д.т.н., доцент
16. **Скрябин М.Л.**, к.т.н.
17. **Соляной В.Н.**, к.т.н.
18. **Стрэналюк Ю.В.**, д.т.н., профессор
19. **Халиулин В.И.**, д.т.н., профессор
20. **Чесноков А.В.**, д.т.н.
21. **Щурин К.В.**, д.т.н., профессор

Подписано в печать 18.03.2022  
Формат В5

Печать офсетная. Усл.печ.л. 12,6

Тираж 500 экз.

Заказ № 91-05

Отпечатано в типографии  
ООО «Научный консультант»  
г. Москва

Хорошевское шоссе, 35, корп. 2

Белов А.А., Шубин Э.В.

**ВЕРОЯТНОСТНО-ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА  
МОДЕРНИЗАЦИИ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ.....93**

Денискин Д.Г., Бурцев А.С.

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОГО  
КОМПЛЕКСА НА РАННИХ ЭТАПАХ ЕГО  
ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ.....107**

Мосалов О.П., Завьялова Ю.В.

**ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ШУМА В КАМЕРЕ  
СГОРАНИЯ ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО  
ДВИГАТЕЛЯ К РЕАЛЬНЫМ ДАННЫМ.....118**

Найденов В.Г., Тарасенко К.А., Захаров В.А.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИМЕНЕНИЯ  
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ  
ПО УНИЧТОЖЕНИЮ ПРОТИВОБОРСТВУЮЩИХ  
СИЛ ПРОТИВНИКА.....128**

Серёгин Н.Г., Сигутин И.А.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ  
ПОВЫШЕНИЯ ТЕРМОСТОЙКОСТИ ЛОПАТОК  
ТУРБИН АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ  
ДВИГАТЕЛЕЙ.....140**

Стрэналюк Ю.В., Гунина Е.В.

**ПРОЕКТ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ  
СИСТЕМЫ СТЕНДА 1А ИС-101 ПО ТРЕХКАНАЛЬНОЙ  
СХЕМЕ ДЛЯ ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ  
ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....150**

#### *МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ*

Антипова Т.Н., Бабкин Д.С.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОГО  
ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ  
МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ.....162**

Баринкова А.А., Пиирайнен В.Ю.

**ГИБРИДНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ  
НА ОСНОВЕ НЕЙТРАЛИЗОВАННОГО КРАСНОГО  
ШЛАМА.....170**

Князев К.А.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЛИЯНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
НА ПРОЧНОСТЬ КЕРАМИЧЕСКИХ  
КАРБОНИТРИДОКРЕМНИЕВЫХ ВОЛОКОН.....182**

Петухов В.Д., Рябчиков С.В.

**ОСОБЕННОСТИ И ВИДЫ МЕХАНИЧЕСКИХ,  
ФИЗИЧЕСКИХ И КОМПЛЕКСНЫХ НЕРАЗРУША-  
ЮЩИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ  
БЕТОНА И АНАЛИЗ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ.....189**

УДК 004.05

## **Разработка модуля клиент-серверного приложения для оптимизации работы оперативно-диспетчерской группы**

**Т.С. Аббасова**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и управляющих систем,

**О.В. Чибисова**, магистрант кафедры информационных технологий и управляющих систем,

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*Проанализированы пути повышения качества обработки и мониторинга звонков в колл-центрах телекоммуникационных компаний. Исследована существующая схема обработки входящих звонков компании, разработано новое схемное решение и алгоритм для клиент-серверного программного приложения с целью увеличения скорости приёма и обработки входящих звонков.*

Колл-центр, оперативно-диспетчерская группа, обработка информации, качество обработки, клиент-серверное программное приложение.

### **Implementing Massively Parallel Architecture in a Web Service**

**T.S. Abbasova**, Candidate of technical Sciences, Associate Professor of the,

**O.V. Chibisova**, Master's student of the Department of Information Technologies and Control Systems,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region

«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*The ways of improving the quality of call processing and monitoring in call centers of telecommunication companies are analyzed. The existing scheme for processing incoming calls of the company has been investigated, a new circuit solution and an algorithm for a client-server software application have been developed in order to increase the speed of receiving and processing incoming calls.*

Call center, operational dispatch group, information processing, processing quality, client-server software application.

#### **Введение**

Даже в больших корпорациях с круглосуточной работой операторов возникает очередь, не все клиенты готовы ждать, когда к ним обратится оператор, и кладут трубку. Возникает пропущенный вызов. Пропущенные вызовы – это все звонки, которые оператор не смог обработать, в результате чего абонент завер-

шил свой вызов. К пропущенным вызовам так же относятся звонки в нерабочее время (в том числе ночное), либо, когда одновременно загруженные все операторы, или техника дала сбой и абонент не пробился. Многие компании не могут позволить себе держать операторов по ночам. Для решения данной проблемы актуально внедрение программного приложения, которое оптимизирует работу колл-центров.

#### Постановка задачи

При заданных условиях в деятельности исследуемой компании и ограничениях, связанных с возможностью работы бригад в заданном регионе, определить параметры оптимизации работы диспетчера колл-центра путем разработки и внедрения модуля клиент-серверного приложения. Также ставится задача свести к минимуму возможность занесения некорректной информации в хранилище данных

#### Результаты исследования

На основе анализа развития современных информационных технологий [1, С.15;2. С.9;3. С.8;4 С.43] и исследования работы таких компаний, как «АйТи Решения», «Столичная телекоммуникационная компания» и «ПАО Россети Северные сети», показали, что не в любое время дня и ночи оперативно диспетчерская группа (ОДГ), может ответить на звонок пользователя, без каких-либо исключений.

На рисунке 1 представлена схема работы ОДГ.

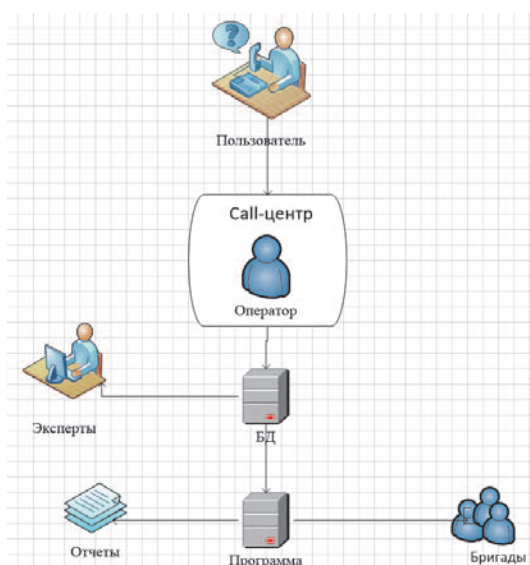


Рисунок 1 – Типовая схема работы оперативно диспетчерской группы колл-центра

Схема движения и технология обработки входящих звонков компании до написания программы для клиент-серверного приложения, представлена на рисунке 2. В схеме рисунка 2 хорошо все, кроме звонков, которые пропущены, а точнее клиент попросту не дозвонился, потому, что все операторы были заняты. Таким борзом, не предусмотрено обратной связи с клиентами, из-за чего пропу-

щенные звонки, так и оставались «пропущенными». На сегодняшний день, в век высоких технологий и такой же высокой конкуренции, пропущенные звонки – это клиенты, которые не дозвонились до вашей компании, а значит, дозвонятся до другой. Эта схема относится ко всем областям деятельности.

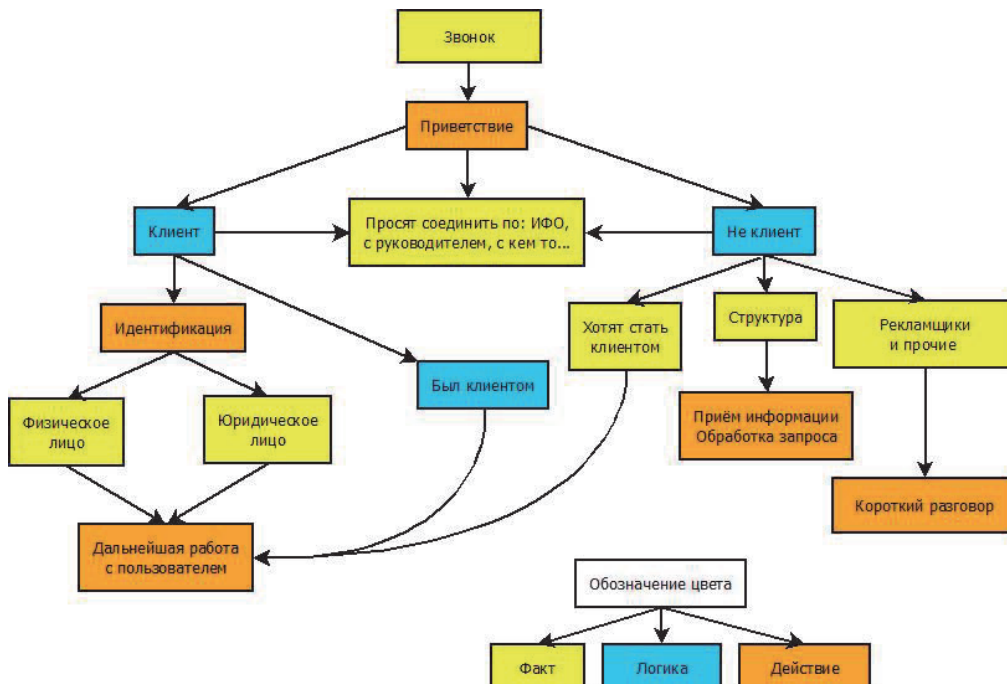


Рисунок 2 – Существующая схема обработки входящих звонков компании

Для оценки доли пропущенных звонков к общим звонкам предлагается соотношение

$$\Delta Z = \frac{Z_1 - Z}{Z} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $Z_1$  – количество пропущенных звонков;  $Z$  – общее количество звонков.

В соответствии с постановкой задачи свести к минимуму возможность занесения некорректной информации в хранилище данных целесообразно оценить разность объема некорректной информации до внедрения клиент-серверного программного приложения и после:

$$\Delta V = V_1 - V_2, \quad (2)$$

где  $V_1$  – объем некорректной информации до внедрения программного приложения;  $V_2$  – объем некорректной информации после внедрения программного приложения.

Рассмотрим процесс формирования и обработки звонков, представленный на рисунке 3.

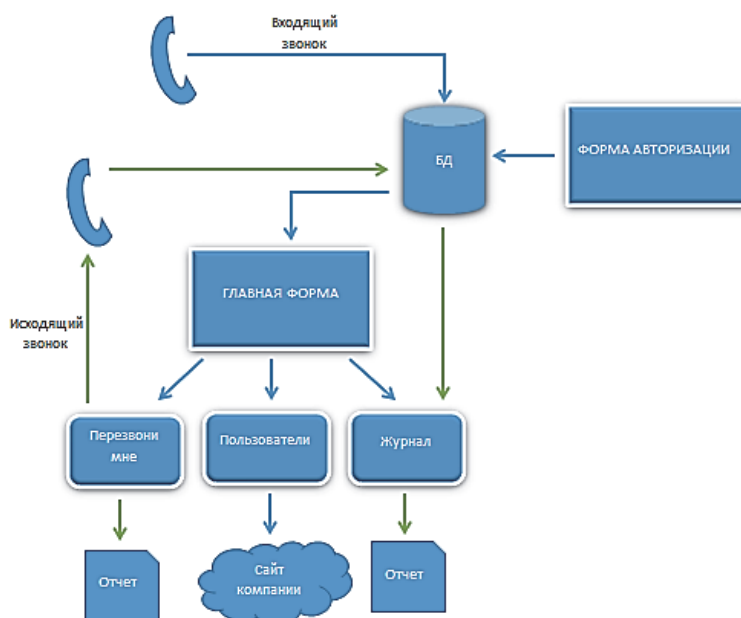


Рисунок 3 – Процесс формирования и обработки звонков

Работа с пропущенными вызовами делится на 3 блока:

1) Фиксация. Для начала нужно сделать все, чтобы информация о пропущенном сохранялась и была доступна оператору.

2) Обработка. Даже несостоявшийся разговор с компанией можно сделать двусторонней коммуникацией. Здесь включается автоматизация и альтернативные способы передачи информации.

3) Взаимодействие. Это отработка оператором звонков, по четкому сценарию, коммуникация, закрытие на дальнейшее целевое действие.

Чтобы сократить количество пропущенных звонков, компании разрабатывают свои схемы обработки входящих звонков:

1) Настраиваемая маршрутизация входящих звонков – входящий звонок принимают последовательно в соответствии с очередностью.

2) Автоответчик – долгое повествование автоответчика, в то время как у клиента есть конкретно построенный вопрос.

3) Переадресация на мобильный телефон – с большой вероятностью этот самый телефон, нужно найти, прежде чем на него ответить. Вот только все операторы и так заняты, а значит, телефон не только не возьмут, так еще и шум от входящего звонка будет мешать операторам, разговаривать с клиентами.

Все эти схемы работают, но не так качественно, как хотелось бы. Поэтому было принято решение разработать программное приложение для ОДГ с возможностью обратной связи с клиентами. Данное программное приложение позволит автоматизировать процесс ожидания ответа оператора за счёт того, что данные о звонке сохраняются в таблице, после чего оператор сам может перезво-

нить клиенту.

Перед тем как стать клиентом компании, нужно зарегистрироваться, заполнив заявку на сайте, либо в офисе компании. Типовая схема регистрации представлена на рисунке 4.

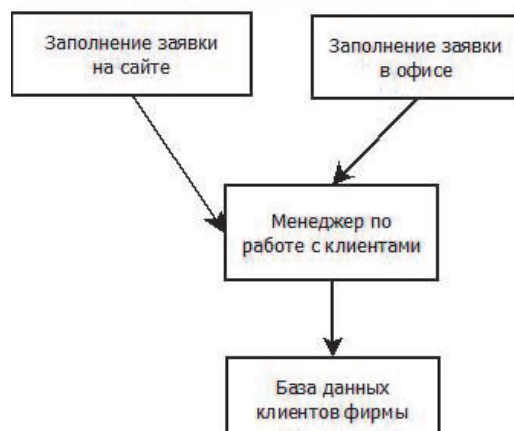


Рисунок 4 – Типовая схема регистрации клиента

При звонке клиента в компанию и не ответа ОДГ, автоответчик предложит абоненту перейти в режим тонального набора, нажать на клавишу «1» и воспользоваться услугой «Перезвони мне, и оператор сам позвонит вам!».

При нажатии на клавишу «1», начинается распознавание номера абонента. Данные о звонке «Дата-время» и «номер абонента» запишутся в таблицу «call», эта таблица пошлет запрос в базу данных компании, который по номеру телефона найдет ФИО абонента и место его жительства, после этого все данные о клиенте запишутся в Программу и выведутся на экран монитора оператору. Если абонент найден, ему пожелают доброго времени суток, и назовут по данным: «Добрый день, Чибисова Ольга Владимировна, первый освободившийся оператор сам позвонит Вам!».

Если абонент не найден (скорее всего, он пока что не является клиентом компании), обращение будет выглядеть так: «Добрый день, первый освободившийся оператор сам позвонит Вам!». Освободившийся оператор, на мониторе увидит программу, в которой показана вся информация о клиенте (Фамилия, имя, отчество, место проживания, номер телефона), которому надо перезвонить. Таким образом, предлагаемая программа позволит оптимизировать мониторинг звонков, клиенту предоставят больше внимания, нет жалоб, нет потери клиентов, улучшится работоспособность персонала и оборудования, будет тратиться меньше времени на поиск клиента, вследствие чего увеличится эффективность деятельности компании за счёт чего пойдет финансовый рост.

Алгоритм работы программы представлен на рисунке 5.

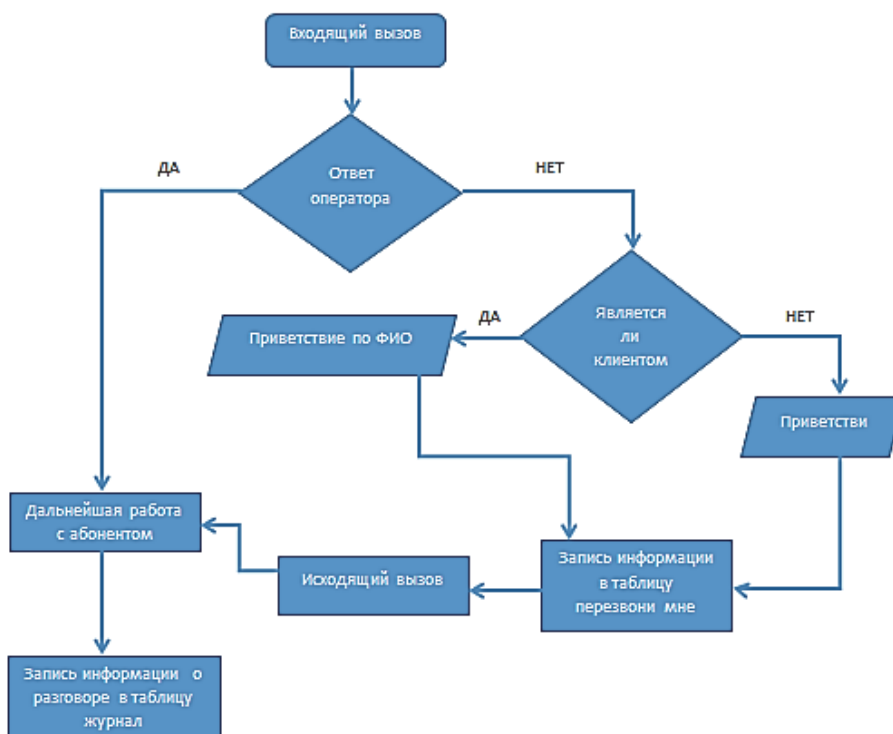


Рисунок 5 – Алгоритм работы клиент-серверного программного приложения

Для клиентской части программы выбран язык программирования C#, средства разработки Microsoft Visual Studio. Для серверной части программы выбран сервер MySQL, инструмент разработки HeidiSQL. Выбор обусловлен тем, что предприятие, для которого разработан программный модуль, использует именно эти инструменты разработки.

Схема движения и технология обработки исходящих звонков компании в соответствии с разработанной программой представлена на рисунке 6.



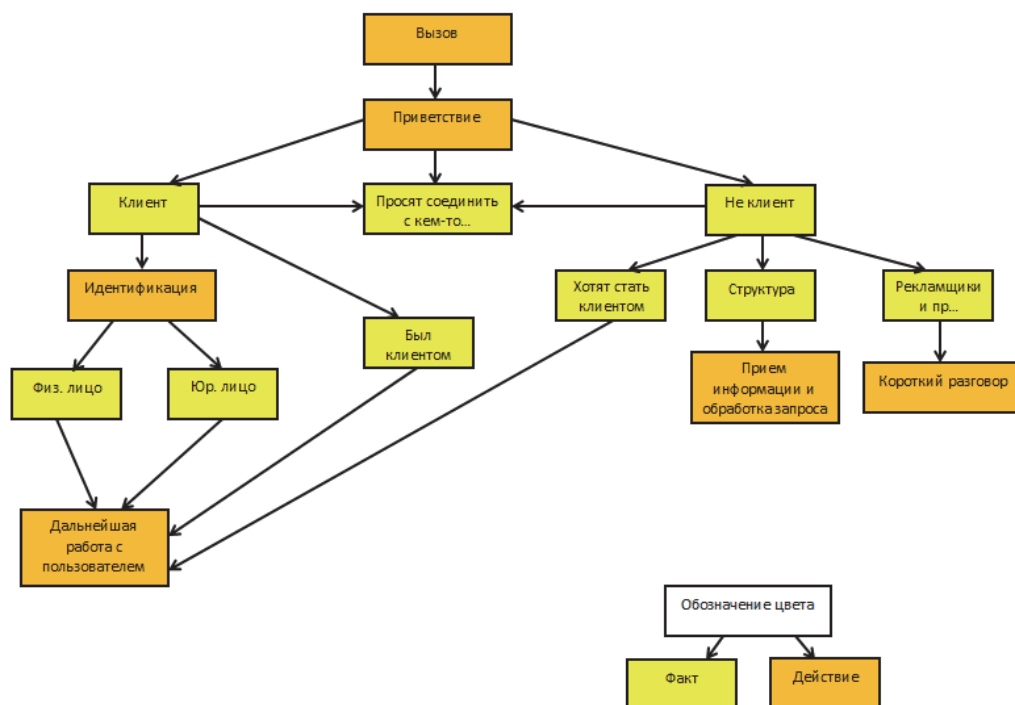


Рисунок 6 – Предлагаемая схема обработки исходящих звонков компании

Определим эффективность предлагаемых организационно-технических мероприятий. В первую очередь надо учесть пропущенные звонки, которые случаются у всех операторов различных организаций. Не всегда в этом виноваты сотрудники, ведь клиент тоже может сбросить звонок в любой момент.

Определим количество звонков, поступающих в компанию за сутки.

Одна смена оператора длится 12 часов с 9:00-21:00, далее его сменяет напарник с 21:00-9:00. На разговор с 1 абонентом оператору выделяется примерно по 5 мин (в зависимости от проблемы). Это значит, что в 1 час 1 оператор может принять 24 звонка.

$12 \cdot 24 = 288$  звонков у 1 оператора, в свою смену.

При учете 2 смен за 24 часа,  $288 \cdot 2 = 576$  звонков в день.

Но так как вторая смена выпадает на ночь, звонки поступают реже примерно на 30%, а значит  $30\% \text{ от } 288 = 87$  звонков в ночное время.

В ночную смену, за 12 часов, получается примерно 7 звонков в час.

Следовательно, можно предположить, что за сутки в компанию поступает  $288 + 87 = 375$  звонков.

По результатам статистических наблюдений посчитаем звонки, данные взяты за март (31 день), из них 22 рабочих, 9 выходных. Результаты наблюдений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка соотношения пропущенных звонков к общим звонкам за месяц до написания программного приложения

	1 раб. день	5 раб. дней	22 раб. дня	9 вых. дней
Всего	375	1875	8250	4392
Ответов	305	1525	6710	3573
Пропущенных	70	350	1540	819

По результатам статистических наблюдений за 1 рабочий день 24 часа в 2 смены определено максимальное количество звонков, равное 375. Из них 70 пропущенные, 305 принятые. В соответствии с соотношением (1) это 81% ответа, и 19% без ответа (рисунок 7).

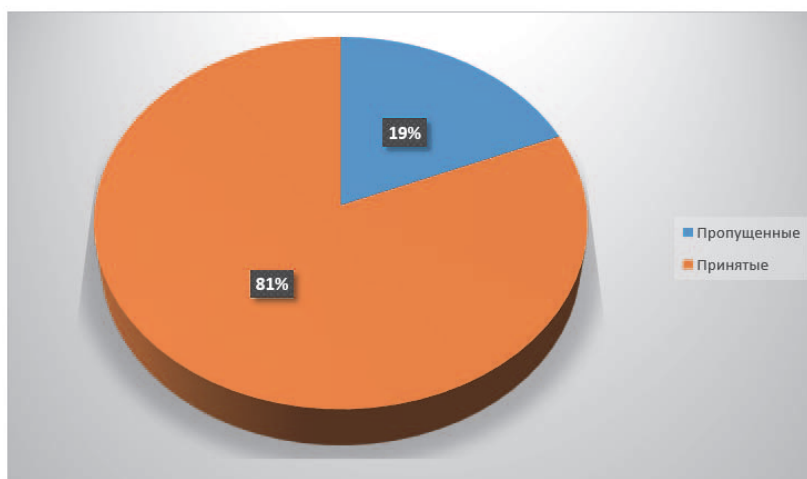


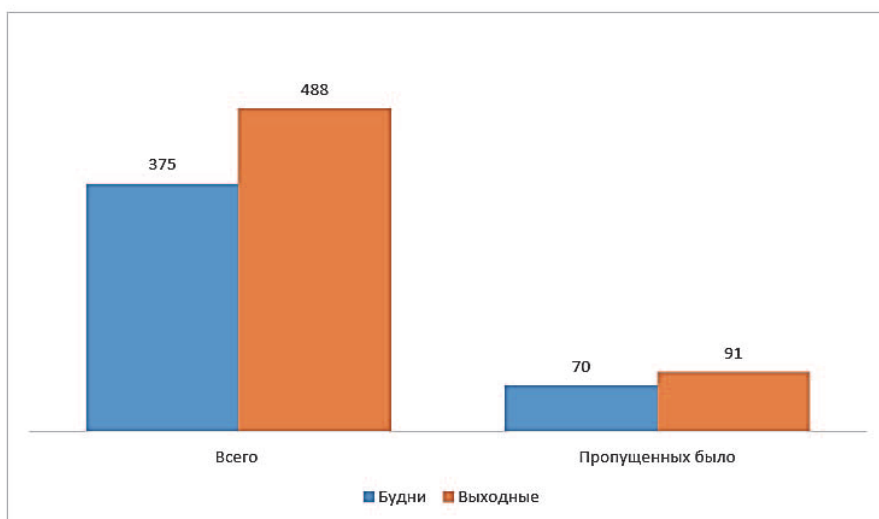
Рисунок 7 – Оценка соотношения пропущенных звонков к общим звонкам (за 24 часа) до написания программного приложения

За 5 рабочих дней, в компанию приходят 1875 звонков из них пропущенных 350. За 22 рабочих дня 8250 звонков, из них 1540 пропущенные.

Если брать 9 выходных (когда большая часть абонентов сидит дома и им естественно нужна хорошая связь), звонков становится больше, примерно на 30%, чем в рабочий день.

Следовательно, 1 выходной, это 30% к 375 (1 рабочий день) = 488.

Таким образом, за 9 выходных будет 4392 звонков из них 819 пропущенные (рисунок 8).



**Рисунок 8 – Оценка доли пропущенных звонков в будни и выходные до написания программного приложения**

При отключениях и обрывах в 1 рабочий день, звонков может стать на 50% больше чем в обычный, это 563. А в выходные (когда большая часть абонентов сидит дома и им естественно нужна хорошая связь), и на все 100%, это 750 звонков.

Допустим, что в компанию позвонил абонент, который хочет подключить свой дом к нашему провайдеру. Рассчитаем, сколько потеряет в деньгах компания при не ответе на звонок: зарплата оператора в месяц 50 тыс. рублей; тариф 2,5 тыс. рублей в месяц; выезд бригады бесплатно; быстрое подключение 3 тыс. рублей; если за МКАД, настройка 1 тыс. рублей; прокладка кабеля от 6 тыс. рублей; оборудование компании от 1,5 до 30 тыс. рублей.

Итого 1 пропущенный звонок = 14 тыс. рублей, а 70 пропущенных = 980 тыс. рублей. Естественно для компании, это огромные убытки.

Проанализируем показатели после написания программного продукта. По результатам статистических наблюдений посчитаем звонки, данные взяты за март (31 день), из них 22 рабочих, 9 выходных (таблица 2). 1 рабочий день 24 часа, 2 смены, всего 375 звонков. Из них 7 пропущенные, 368 принятые. Это 98% ответа, и 2% без ответа.

Таблица 2 – Соотношение пропущенных звонков к общим звонкам за месяц после написания программы

	1 раб. день	5 раб. дней	22 раб. дня	9 вых. дней
Всего	375	1875	8250	4392
Ответов	368	1840	8096	3312
Пропущенных	7	35	154	63

На рисунках 9 и 10 приведены диаграммы, которые иллюстрируют полученные данные.



Рисунок 9 – Оценка соотношения пропущенных звонков к общим звонкам (за 24 часа) после написания программного приложения

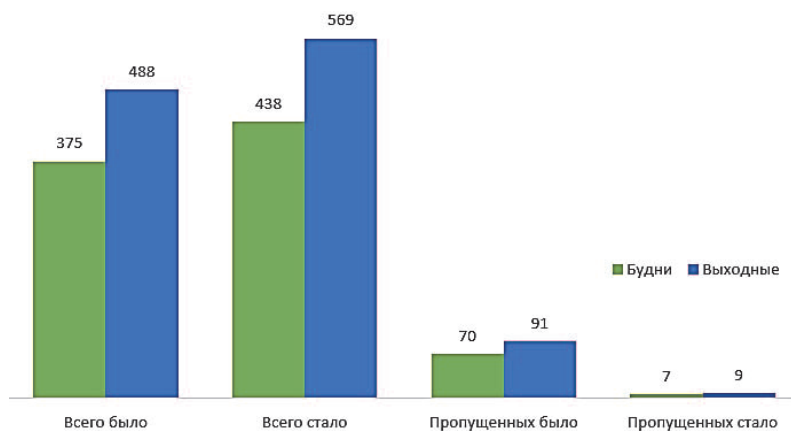


Рисунок 10 – Оценка пропущенных звонков в будни и выходные до и после написания программного приложения

Из диаграмм рисунков 9 и 10 видно, что пропущенных звонков стало

меньше, повысилось качество их обработки за счёт разработки клиент-серверного приложения.

Данное клиент-серверное приложение разработано в рамках научно-исследовательской работы кафедры информационных технологий и управляющих систем специально для компании «АйТи Решения» и очень просто в использовании.

#### **Выводы**

Оптимизация работы диспетчера и мониторинга звонков в колл-центрах телекоммуникационных компаний с помощью создания клиент-серверного приложения позволяет повысить качество обработки вызовов, снизить время на поиск клиента, уделить больше внимания каждому клиенту, не потерять не дозвонившихся клиентов, сократить число жалоб, улучшить работоспособность персонала и оборудования.

Исходя из проведенных расчетов, можно судить о том, что до написания клиент-серверного программного приложения, компания несла убытки в размере 19% пропущенных звонков. Показано, что один пропущенный звонок – это потеря 14 тыс. рублей. После разработки программного приложения убытки компании сократились на 17%. Пропущенных звонков стало меньше, повысилось качество их обработки за счёт разработки клиент-серверного приложения, в результате чего увеличилась эффективность деятельности компании и пошел финансовый рост.

#### *Литература*

1. Артюшенко В.М., Семенов А.Б., Аббасова Т.С. Пути наращивания эффективности инфокоммуникационных систем: монография / Под научной редакцией А.Б. Семенова. – М.: Издательство «Научный консультант». 2019. 232 с.
2. Расчет параметров системы управления обработкой больших данных: отчет о НИОКР, выполняемой в рамках тематического плана по заданию Минобрнауки РФ в 2020 году, фундаментальное исследование, № госрегистрации АААА-А20-120022590034-8 // Москва: ГБОУ ВО «МГОТУ», 2020. 65 с.
3. Фрэнкс Б. Революция в аналитике. Как в эпоху Big Data улучшить ваш бизнес с помощью операционной аналитики // Альпина Диджитал. 2016. 230 с.
4. Аббасов Э.М., Польшин С.Н. Повышение производительности больших баз данных и действующих на их основе прикладных сервисов // Информационно-технологический вестник. 2020. № 1(23). С. 42-54.

УДК 004

**Оптимизация работы контрольно-пропускного пункта  
за счет применения информационно-аналитической системы**

**А.В. Погодин**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Информационные технологии и управляющие системы»,  
**М.А. Жиделев**, магистр 1 курса,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

Основная цель статьи – показать на практике возможности технологий NFC/RFID в системах контроля и управления доступом. В качестве примера для оптимизации была использована СКУД предприятия ФКП НИЦ РКП. Учитывая исходные данные, было поставлено техническое задание на проектирование новой системы. Был осуществлен выбор и обоснование выбора программной и аппаратной частей для реализации задач, поставленных в ТЗ. На основании технического задания и анализа программных и аппаратных комплексов было разработано программное обеспечение, удовлетворяющее поставленным задачам. Полученные результаты проведенной работы стали основанием эффективности информационной системы.

СКУД, NFC/RFID, КПП, JAVA, C#.

**Optimization of the checkpoint operation through  
the use of an information and analytical system**

**A.V. Pogodin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Control Systems,  
**M.A. Zhidelev**, 1st year masters student,  
State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*The main purpose of the article is to show in practice the capabilities of NFC/RFID technologies in access control and management systems. As an example for optimization, the ACS of the enterprise of the FCP of the RCP Research Center was used. Taking into account the initial data, a technical task was set for the design of a new system. The selection and justification of the choice of software and hardware parts for the implementation of the tasks set out in the TOR was carried out. Based on the terms of reference and analysis of software and hardware complexes, software was developed that meets the assigned tasks. The obtained results of the work carried out became the basis for the effectiveness of the information system within the enterprise.*

ACS, NFC/RFID, CHECKPOINT, JAVA, C#.

## **Введение**

Благодаря компьютерным технологиям происходит модернизация и оптимизация технических процессов, облегчающих жизнь человеку. С развитием технологий расширяется область применения, и растут возможности вычислительных систем. Сложно представить деятельность человека без использования компьютеров в наше время.

Универсальным хранилищем информации являются базы данных. Для создания и взаимодействия с ними используются специальные комплексы программ, а именно системы управления базами данных. Всё это вместе взаимодействие с информацией, хранение, обработку и поиск. Например, можно записывать и хранить в базе данных информацию о сотрудниках предприятия и использовать эту технологию на контрольно-пропускном пункте для проверки. Благодаря данной технологии можно ускорить процесс прохождения через КПП и соответственно увеличить его пропускную способность.

Существует тенденция по внедрению информационных технологий, способствующих оптимизации контроля пропускного режима сотрудников на крупных государственных предприятиях. В свою очередь, такая организация как ФКП «НИЦ РКП» тоже использует систему пропусков для ограничения доступа людей на закрытую территорию предприятия.

Тем не менее, на предприятии в системе контроля временных и разовых пропусков используется устаревшая подсистема в виде бумажной картотеки, расположенной прямо на пропускном пункте. Оформление, выдача и проход по разовым пропускам может достигать часа или более по времени в зависимости от количества людей в очереди. Оптимизация данной системы приведет к удобству работы с информацией. Благодаря использованию системы с электронной базой данных, будет значительно упрощена обработка информации.

## **Основной раздел**

### **Анализ исходных данных**

Перед тем, как приступить к разработке программного обеспечения и оптимизации пропускного режима предприятия, следует определиться с понятием контрольно-пропускного пункта, а именно как он работает в целом и в рамках предприятия в частности. В этом случае, мною будет разобрано функционирование КПП предприятия в рамках временных и разовых пропусков.

### **Понятие контрольно-пропускного пункта**

В первую очередь обусловим саму концепция контрольно-пропускного пункта. Контрольно-пропускной пункт (КПП) – особо оснащенное место на объекте (учреждении, огороженной охранной зоной) с целью реализации контроля доступа на территорию людей или транспорта. Данное понятие включает в себя, в том числе и КПП, находящиеся при комендантской службе.

КПП могут быть:

- Временными. В самом простом варианте могут представлять из себя шлагбаум с местом для размещения персонала;
- Постоянными. В этом случае КПП представляет из себя отдельное здание (к примеру, окопами или укрытиями), эстакадами досмотра, системой управления доступом и контроля и т.д.

Дежурство и контроль на КПП осуществляется в зависимости от характеристик охраняемого объекта.

Различают следующие типы пропусков [1]:

- Разовые.
- Временные.
- Материальные (для транспорта).
- Постоянные.

#### **Анализ работы временных и разовых пропусков на предприятии**

Рассмотрим процесс выдачи и контроля временных и разовых пропусков в ФКП «НИЦ РКП». Разовые пропуска работают по следующему алгоритму:

1. В отделе кадров происходит оформление бланка с печатью, ФИО, подписью, отделом и датой посещения;
2. В кабинете возле КПП нужно предъявить бланк и паспорт, после этого делают разовый пропуск и относят всё на пропускной пункт (одновременно могут оформлять примерно до 4 человек);
3. Сотрудники пропускного пункта вызывают по очереди, производят проверку документов и допускают на предприятие;
4. Перед выходом с предприятия, необходимо указать дату убытия и поставить подпись начальника отдела;
5. На выходе с предприятия сотрудники пропускного пункта производят проверку пропуска и документов.

Значительными недостатками данной системы можно отметить высокое время ожидания и снижение пропускной способности КПП. В зависимости от количества людей, время ожидания прохода по временному пропуску может достигать часа и более.

Теперь рассмотрим работу временного пропуска:

1. Оформляется приказ на допуск на территорию предприятия;
2. Приносите документы для оформления пропуска на КПП;
3. Заказывается пропуск;
4. Пропуску присваивается номер, приносите документы в кабинет возле КПП, где сверяются данные, после чего пропуск с документами относится на пропускной пункт;
5. Вызывают по очереди, проверяют документы, выдают пропуск, после чего можно свободно пройти на территорию предприятия;
6. На выходе предъявляется паспорт и пропуск, последний сдаётся на хранение в нумерованную картотеку;
7. При следующем посещении предъявляется также паспорт и номер пропуска.

Из-за устаревшего метода хранения, используемого при работе с временными пропусками, замедляется поиск информации. Также данный метод является менее надёжным, чем электронная база данных.

Использование новых информационных технологий позволило бы упростить и ускорить выдачу пропусков, а также повысить безопасность.

В результате анализа работы контрольно-пропускного пункта были выявлены следующие проблемы:



- Физическая картотека временных пропусков достаточно устарела, ручной поиск информации в ней занимает больше времени, чем могло бы быть с электронной базой данных.

- Из-за отсутствия электронной базы данных и технологичной системы контроля доступа, время, потраченное на выдачу разовых и временных пропусков может достигать до часу и более.

- Также, данная картотека является менее надёжной, чем электронная база данных.

- Из-за отсутствия автоматизированного процесса, время, которое приходится на первичную проверку временных пропусков и проверку разовых пропусков достаточно велико.

Данные трудности появляются из-за устаревания нынешней информационной организации и невысокой пропускной способности контрольно-пропускного пункта. Применение современных информационных технологий может решить большинство этих проблем.

### **Выбор аппаратно-программных средств разработки и эксплуатации ИС**

В современном мире большинство КПП частично или полностью оборудовано специальными системами проверки пропусков. Данные системы содержат как программную, так и аппаратную составляющие, например, систему турникетов и запись информации в базы данных.

Благодаря этому происходит увеличение скорости прохождения через КПП и оптимизация безопасности.

#### **Технологии, используемые на КПП**

В настоящее время средства электронного доступа, они же электронные пропуска (ЭП), используемые в системах контроля доступа, делятся на две основных группы: контактные и бесконтактные.

Контактным пропускам необходим непосредственный контакт с устройствами считывания. Это приводит к механическим повреждениям и быстрой поломке.

Бесконтактные типы пропусков срабатывают на расстоянии от считывателя (для определенных моделей оно составляет до 1 м). Благодаря этому они считаются более долговечными и надежными [1].

Кроме варианта работы, пропуска различают типом чипа, формой и исполнением: толстые и тонкие карты, большие и маленькие брелоки, браслеты.

У бесконтактных ЭП существует два стандарта: EmMarine и MiFare. Я рассмотрю подробно каждый из них чуть позже.

Электронные пропуска могут работать и без специального программного обеспечения.

Многие современные компании и корпорации уже перешли на использование электронных пропусков. Развитие данных технологий идет быстрыми темпами и дает потребителю широкие возможности для выбора.

В таблице 1 проведем сравнительную характеристику технологий, используемых при контроле пропускного режима и выберем наиболее подходящую для выполнения поставленных задач ВКР.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика технологий бесконтактной передачи данных

	NFC/RFID	Штрихкод/QR-код	Магнит
Надежность	+	-	-
Безопасность	+	-	-
Перспективность	+	+	-

Таким образом были выбраны наиболее новые и перспективные технологии NFC и RFID.

#### **Технологии RFID и NFC**

Технология радиочастотной идентификации (RFID) основана на системе, состоящей из двух основных компонентов: меток и устройств считывания. Устройства считывания, они же Reader'ы представляют из себя устройства, у которых есть в наличии одна или несколько антенн, которые образуют радиочастотные поля, в которых осуществляется обмен данными с RFID-метками. Такие метки могут работать в пассивном и активном режиме. Пассивные метки запитаны от аккумуляторов считывателей, активные – от батареек. Такие метки могут хранить от серийных номеров до больших блоков данных (страниц информации). RFID считыватели бывают мобильными и стационарными. Системы считывания также могут быть интегрированы в архитектуру кабинета, помещения или здания.

Благодаря большому диапазону работы метки с чипом RFID являются идеальным вариантом для большинства крупных компаний [5].

На сегодняшний день карты с чипом RFID применяют во многих отраслях. Большинство из нас используют такие карты регулярно.

#### **Области использования RFID карт**

На сегодняшний день карты с чипом RFID применяют во многих отраслях. Большинство из нас используют такие карты регулярно. Рассмотрим основные места, где применена RFID-технология.

1. Пластиковые карты с чипом RFID применяют для оплаты проезда в общественном транспорте. В момент прикладывания (контакта) чипа и устройства считывания происходит верификация и процесс списания средств.

2. Карты с чипами RFID используют в больших и средних компаниях в системах контроля доступа (СКУД).

3. В пропускных системах школ и университетов тоже используют технологии поддерживающие карты с чипом RFID.

4. В гостиницах и отелях зачастую используют данную технологию для заселения постояльцев. Такие карты служат ключом в номер и могут быть средством оплаты.

5. Крупные фитнес залы используют карты с чипом RFID для контроля доступа посетителей в тренажерный комплекс. На таких картах может храниться информация о клиентах и время посещения.

6. Крупные торговые сети используют данную технологию в качестве дисконтных карт.

7. На станциях АЗС карты с чипами RFID учувствуют в накопитель-

ных системах. Покупатели могут копить и расплачиваться баллами за услуги, предоставляемые на АЗС.

8. Система оплаты проезда в транспондерах также использует технологию карт с чипом RFID. При проезде через него, происходит автоматическое считывание информации и оплата.

9. Данная технология используется для бесконтактной оплаты товаров и услуг банковскими картами оснащенными чипами RFID. Для безопасности предусмотрены ограничения списаний средств.

10. Также данную технологию используют некоторые автомобильные производители в противоугонных системах.

#### **Типы RFID карт**

На данный момент существует большое количество различных карт с чипами RFID, все они соответствуют определенным стандартам [6]. Эти стандарты определяет «Международная Организация по Стандартизации» (ISO) при участии «Международной Электротехнической Комиссии» (International Electrotechnical Commission). Сейчас используются два основных вида карт с чипами RFID. А именно MIFARE и HID.

- MIFARE – применяются для идентификации личности, а также для проведения платежей. Включают в себя восемь стандартов с различными чипами и характеристиками. Бывают бесконтактными.

- HID – используются в большинстве сфер деятельности человека. В частности такие карты используются при контроле доступа в помещения закрытого типа. На такие карты можно не однократно перезаписывать информацию.

#### **Что такое NFC**

Near Field Communication (NFC) – «коммуникация ближнего поля» технология беспроводной передачи данных малого радиуса действия. Данная технология позволяет осуществлять обмен данными между устройствами, расположенными на 10 сантиметрах друг от друга.

Устройства NFC работают на частоте 13.5 МГц. Такие системы зачастую формируются из двух основных устройств, а именно считывателей и меток. Благодаря считывателю формируется радиочастотное поле, в котором можно осуществлять взаимодействие с метками или с другими считывателями. Считыватели работают в режиме активной коммуникации, а метки – в пассивной [3].

#### **Отличия RFID от NFC**

В таблице 2 проведем отличительную характеристику данных технологий.

**Таблица 2 – Характеристика частот чипов RFID**

	<b>RFID</b>	<b>NFC</b>
Связь	односторонняя	двусторонняя
Частота	13.56 МГц	13.56 МГц
Радиус считывания	От 1 до 4м	10см
Функционал	Чтение/запись	Чтение/запись/оплата/обмен данными P2P

Проведя сравнительную характеристику, в качестве технологии передачи данных, используемой в СКУД, была выбрана технология NFC. Благодаря своей перспективности и малого радиуса работы данная технология идеально подходит для спроектированной системы контроля доступа.

#### **Технологии NfcA и Ndef**

NfcA класс предоставляет доступ API (программный интерфейс) для Android.

Формат обмена данными NFC (NDEF) – это стандартизированный формат данных, который может использоваться для обмена информацией между любым совместимым устройством NFC и другим устройством или тегом NFC. Формат данных состоит из сообщений NDEF и записей NDEF. Стандарт поддерживается форумом NFC и находится в свободном доступе для ознакомления, но для загрузки требуется согласие с лицензионным соглашением. Каждая NDEF запись содержит две части:

- Тип записи (record type) – указывает тип данных в записи
- Данные записи (payload)

Две эти записи описывают алгоритм, который необходимо совершить устройству при прикосновении к NFC метке. NDEF поддерживает как простые, так и сложные наборы действий, это зависит от установленного ПО для устройств NFC. Главной особенностью NDEF формата является отсутствие необходимости в установке специального ПО на устройства, поддерживающие NFC технологии. На метки можно записывать сразу несколько записей. При этом многие приложения работают только с первой записью.

NDEF (формат обмена данными NFC) – это мало весящий двоичный формат, используемый для инкапсуляции типизированных данных. Он указан форумом NFC для передачи и хранения с помощью NFC, однако он не зависит от транспортировки.

NDEF определяет сообщения и записи. Запись NDEF содержит типизированные данные, такие как носитель типа MIME, URI или пользовательская полезная нагрузка приложения. Сообщение – NDEF-это контейнер для одной или нескольких записей NDEF.

Когда устройство Android получает сообщение NDEF (например, путем считывания метки NFC), оно обрабатывает его через механизм отправки, чтобы определить действие для запуска. Тип первой записи в сообщении имеет особое значение для отправки сообщения, поэтому тщательно разработайте эту запись [4].

#### **Выбор устройств, поддерживающих технологию NFC**

##### **Использование Mifare в СКУД**

Технология **Mifare** основана на популярном стандарте бесконтактной карты ISO 14443, это позволяет совмещать карты Mifare с банковскими картами и мобильными устройствами [3]. **Mifare** включает в себя большое количество продуктов, способных работать в системах контроля доступа.

Идентификатор Mifare содержит идентификационный номер – так назы-

ваемый UID-номер и перезаписываемую память, он не защищен от чтения и не является секретным и иногда даже написан снаружи на карточке.

А вот доступ к памяти защищен. Чтение и запись возможна только при знании ключей доступа, а передаваемые между картой и считывателем данные защищены.

Считыватель как Mifare может читать UID, а может читать данные из памяти. Большинство дешевых считывателей могут читать только UID, что плохо, так как UID не защищен и можно по-прежнему сделать дубликат карты.

Чтобы считыватель читал из памяти, требуется настройка и подготовка карт. И в считыватель, и в карты должен быть занесен некий секрет для данного конкретного внедрения. Это может немного усложнять процедуру подготовки карты и считывателя. Для выполнения этой процедуры нужно запустить определенную программу и прогнать по очереди карты, прежде чем выдавать их сотрудникам. Это программное обеспечение уже встроено в базовые комплекты программного обеспечения для контроллеров СКУД [5].

Из-за того, что не у всех контроллеров есть поддержка работы с технологией Mifare, нужно ответственно подходить к выбору контроллеров и считывателей. При использовании в системах СКУД контроллеры и считыватели должны быть настроены на работу с Mifare.

Идентификаторы Mifare отличаются более высокой степенью защиты и стоят немного дороже, чем идентификаторы EM Marine

Идентификаторы формата Mifare необходимо правильно использовать. Необходима настройка карты и считывателя.

Карты с неоригинальным чипом зачастую используются в малых СКУД. Любые риски и ошибки минимальны при их использовании.

#### **Выбор NFC метки**

Для реализации пропускной деятельности необходимо выбрать устройство, служащее пропуском. Так как была выбрана технология NFC, то в качестве пропусков будут использоваться NFC метки. Существует множество таких меток, однако я буду использовать именно NFC Mifare Ultralight. Благодаря низкой себестоимости и доступности мой выбор пал именно на неё.

#### **Выбор считывающего устройства**

Перед тем как приступить к выбору самого считывателя необходимо изучить ПО, на которых они работают.

#### **Выбор ПО для USB NFC считывателя**

На данный момент существует две прошивки на которых работают USB NFC считыватели. А именно CDC и HID. Рассмотрим каждый из них отдельно и выберем наиболее подходящий для решения задач, поставленных в дипломной работе.

В таблице 3 проведем сравнительную характеристику данных прошивок и выберем наиболее подходящую для выполнения поставленных задач дипломной работы.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика прошивок CDC и HID

	CDC	HID
Возможность управлять устройством с помощью скриптов и сторонних программ	+	-
Возможность задавать формат выводимых данных с помощью строки форматирования	+	-
Работа со встроенными драйверами	+	-

Таким образом, был выбран протокол CDC для считывателя USB NFC благодаря простоте работы с устройством.

#### **Выбор аппаратной составляющей**

Для реализации работы NFC меток с компьютером и базами данных существуют специальные считыватели NFC меток, работающие через USB порты. В данный момент на рынке существует множество устройств поддерживающих данную технологию. Рассмотрим подробнее самые популярные и доступные из них.

В таблице 4 проведем сравнительную характеристику данных считывателей и выберем наиболее подходящий для выполнения поставленных задач дипломной работы [6].

Таблица 4 – Сравнительная характеристика считывателей ODRFID, ODRFID-M/N/E и ODRFID-E

	ODRFID	ODRFID-M/N/E	ODRFID-E
Небольшая цена	+	-	-
Наличие на рынке	+	+	+
Поддержка Ultralight	+	+	-
Поддержка CDC	+	+	+

Таким образом был выбран настольный USB NFC считыватель ODRFID благодаря поддержке работы с NFC метками технологии Ultralight и небольшой стоимости.

#### **Выбор операционной системы для мобильного приложения**

Современный рынок операционных систем смартфонов делится на два крупных лагеря. А именно Android OS и iOS. Рассмотрим каждую из них по отдельности и выберем наиболее перспективную и подходящую для реализации поставленных задач диссертационной работы [7].

В таблице 5 приведен сравнительный анализ характеристик операционных систем Android OS и iOS.

Таблица 5 – Сравнительная характеристика операционных систем Android OS и iOS

	Android OS	iOS
Доступность	+	-
Быстрый эмулятор	+	-
Большое сообщество разработчиков	+	-
Хороший фреймворк	+	-
Понятная документация и отзывчивая служба поддержки	+	-
Платформа Open source	+	-

Таким образом, проводя сравнительную характеристику, была выбрана **Android OS** в качестве операционной системы для разработки мобильного приложения. В дальнейшем я буду использовать эмуляторы и смартфон на базе **Android OS**.

#### **Выбор среды разработки и языка программирования для мобильного приложения**

Мобильные приложения принято разрабатывать в специальных средах разработки IDE (программных комплексах, строго ориентированных на проектирование и сборку приложений). Так как в качестве операционной системы была выбрана **Android OS**, то наиболее подходящей средой разработки приложения для данной ОС будет **Android Studio**. Данная IDE хороша тем, что имеет встроенный эмулятор, облегчающий отладку приложений и понятный, интуитивный интерфейс.

#### **Выбор языка программирования мобильного приложения**

Чтобы создать приложение для операционной системы Android необходимо выбрать не только среду разработки IDE, но и определенный язык программирования, на котором будет написана программа. Существуют несколько языков подходящих для разработки мобильных приложений.

Так как в качестве среды разработки мною была выбрана IDE Android Studio, это значительно сужает выбор языков программирования. В данной среде используются два основных языка программирования Java и Kotlin, а языки C/C++ и C# как вспомогательные. Так как Kotlin представляет из себя улучшенную версию Java, то естественно мой выбор пал именно на него. Благодаря простому синтаксису и большой библиотеки данный язык отлично подойдет для разработки мобильного приложения.

#### **Выбор среды разработки и языка программирования для компьютерного приложения**

Для разработки компьютерного приложения не подойдет среда разработки Android Studio, следовательно, необходимо выбрать специальную IDE, ориентированную на создание компьютерных программ и подключение к ним баз данных. В качестве такой среды разработки отлично подойдет **Microsoft Visual Studio**.

Особые инструменты разработки позволяют новичкам лучше ориентироваться в коде. Так, например, существует опция загорающейся желтой лампочки,

которая появляется рядом со строчками, которые можно оптимизировать. При нажатии на нее появляются подсказки, которые помогают понять, что можно поменять для оптимизации кода. Безусловно, автоисправление и автозаполнение строк при написании в ней тоже присутствует.

#### **Выбор языка программирования компьютерного приложения**

Как и при разработке мобильного приложения, при разработке приложения для Windows OS необходимо выбрать не только IDE, но и язык программирования, который поддерживает среда разработки и который будет удовлетворять всем современным требованиям. В качестве языка программирования для разработки программы для Windows OS был выбран C#.

#### **Обзор инструментов и систем управления базами данных**

В современном мире базы данных управляется с помощью СУБД, системами управления базами данных, которые позволяют взаимодействовать с базой данных и создавать структуру БД, заполнять её информацией, редактировать содержимое и отображать его. В качестве системы управления подойдет MySQL. Мой выбор пал на данную систему благодаря ее быстрдействию, поддержке в MS Visual Studio и простой установке и настройке.

Данная СУБД распространяется как под коммерческой лицензией, так и под лицензией на свободное программное обеспечение. Создатели MySQL зачастую добавляют новые возможности по заказам лицензированных пользователей. Благодаря этому система не стоит на месте и развивается.

MySQL имеет приличное количество функций в бесплатной версии для реализации, простая документация позволит разобраться в работе СУБД.

#### **Выбор инструмента**

Чтобы осуществлять редактирование и управление БД на MySQL необходимо иметь специальное ПО. В качестве такого ПО выступают инструменты управления базами данных. Так как ранее мною была выбрана система баз данных на основе MySQL, то лучшим инструментом управления станет **MySQL Workbench**. Данная среда хорошо подходит для архитекторов и разработчиков БД. В таблице 6 проведем сравнительную характеристику ПО, ориентированного на работу с БД на MySQL и выберем наиболее перспективное и подходящее для решения поставленных задач дипломного проекта.

**Таблица 6 – Сравнительная характеристика MySQL Workbench, phpMyAdmin и DataGrip**

	<b>MySQL Workbench</b>	<b>phpMyAdmin</b>	<b>DataGrip</b>
Бесплатная	+	+	-
Работа в офлайн режиме	+	-	+
Совместимость с Windows	+	+	+
Активная поддержка	-	+	+
Интуитивное управление	+	-	+
Можно работать без знания PHP	+	-	+



Таким образом, проводя сравнительную характеристику, был выбран MySQL Workbench в качестве визуального инструмента для осуществления работы с базой данных на MySQL.

#### **Заключение**

В аналитической части данной работы был проведён анализ работы контрольно-пропускного пункта в целом и работа временных и разовых пропусков, в частности. Были обнаружены проблемы, которые можно исправить путём разработки новой системы контроля и учета временных и разовых пропусков.

Также был произведён сравнительный анализ сред разработки, выбор подходящего оборудования и СУБД для реализации проекта. А именно, в качестве основной технологии передачи данных была выбрана технология NFC-RFID. Были рассмотрены принципы работы технологии NDEF. В качестве устройства представляющего пропуск была выбрана специальная метка типа Mifare Ultralight и USB NFC ODRFID в качестве устройства выполняющего роль считывателя. В качестве операционной системы на базе которой будет создано приложение была выбрана Android OS. Была выбрана среда разработки Android Studio и язык программирования Java для разработки мобильного приложения. В качестве среды разработки компьютерного приложения была выбрана Microsoft Visual Studio и язык программирования C#. Был произведен обзор систем управления создания и управления БД. Для разработки базы данных была выбрана СУБД MySQL. В качестве системы управления была выбрана MySQL Workbench. Данная система представляет собой чрезвычайно удобное средство для управления СУБД MySQL. Оно позволяет достаточно эффективно управлять локальным сервером даже малознакомым с SQL людям.

Благодаря своей универсальности, с помощью технологии NFC (Near Field Communication) можно осуществлять контроль доступа на предприятия закрытого типа. Внедрение таких технологий в системы контроля доступа позволяет не только ускорить процесс выдачи и поверки пропусков, но и обезопасить контрольно-пропускные пункты предприятий. Спроектированная СКУД позволила внедрить передовые технологии в области хранения и оборотки информации в лице системы баз данных. В свою очередь они заменили устаревшие бумажные носители информации. В будущем данная система рекомендована к внедрению на предприятие ФКП НИЦ РКП.

#### *Литература*

1. Коряковский А.В. Информационные системы предприятия: Учебное пособие // М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. С. 280-283.
2. Медведев М.А. Разработка информационных систем. Учебное пособие // М.: Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. С.60-64.
3. Елисеев Н. Технология NFC – возможности и применения. Научная статья, выпуск в журнале Электроника НТБ #6/2011, С. 1-3.
4. Ревазов Х.Ю., Тавасиев Д.А., Команов П.А. Основной принцип работы NFC-устройств и их безопасность. Научная статья, Изд-во ISSN 2020, С. 1-2.

5. Бондаренко Р. Технология NFC – связь на близком расстоянии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.russianelectronics.ru/leader/r/review/2187/doc/57689/>.
6. Прилуцкий А. Технология NFC: что, зачем и когда [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.hardnsoft.ru/academy/technology/28916/>.
7. Ярчук Артём Вадимович. Операционные системы мобильных устройств. Научная статья в журнале Вестник МГУП имени Ивана Федорова, 2015 С. 1-2.
8. Маркин А.В. Построение запросов и программирование на SQL. Учебное пособие // М.: Диалог-Мифи, 2016. С 383-384.

УДК 530.145.82

### **Квантовые компьютеры: настоящее, теория и прогнозы**

**Г.А. Стрельцова**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и управляющих систем,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*Статья рассматривает некоторые решения современной квантовой теории информации применительно к разработкам квантовых компьютеров.*

Квантовые вычисления, квантовый компьютер, кубит, квантовая схемотехника.

### **Quantum computers: at this moment, theory and prognostication**

**G.A. Streltsova**, Ph. D., docent of information technologies and control systems department,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*The paper considers some solutions of modern quantum information theory to quantum computers engineering.*

Quantum computing, quantum computer, qubit, quantum circuitry.

Последние новости января 2022 года (из источников Интернет) [1]:

- в ноябре 2021 года компания IBM анонсировала создание 127-кубитного квантового компьютера (КК) Eagle, а компания QuEra Computing объявила о создании 256-кубитного КК;

- на текущий момент по проблематике КК работают 241 компания;

- В Китае в этой отрасли работают 8 крупных компаний. Сотрудничество с ними в США находится под запретом.

Очевидно, что разработки в области КК стремительно подходят к уровню прорыва в традиционных компьютерных вычислениях.

По определению, квантовым компьютером КК (quantum computer) называется вычислительное устройство, основанное на явлениях квантовой механики. До настоящего времени КК считался гипотетическим устройством, которое являлось условным, так как было основано на гипотезах, нуждающихся в проверке.

Идея квантовых вычислений (quantum computing) возникла еще в 80-х годах прошлого века. Данные вычисления являются алгоритмами решения задач, основанных на понимании процессов в квантовой физике.

Американский ученый Р. Фейнман, один из основателей квантовой те-

рии информации, в своем докладе на конференции «Physics of Computation» в Массачусетском Технологическом институте предлагал использовать в качестве единицы квантовой информации элементарную фундаментальную частицу – фотон (photon).

Необходимо выяснить, в чем заключается разница между фотоном и электроном. Фотон – элементарная частица, переносчик энергии (энергетический пакет), электрон – элементарная частица, которая находится внутри атома и, в отличие от фотона, имеет массу. К тому же фотон может двигаться со скоростью света, а электрон теоретически не может иметь такую скорость.

В традиционном понимании электрон находится в так называемом электронном облаке из-за того, что на орбите атома он не может быть определен однозначными координатами. Вспомним классический опыт волновой оптики Юнга (интерферометр Юнга), который демонстрирует интерференцию и дифракцию светового потока электронов, что является доказательством справедливости волновой теории света. В интерферометре Юнга через его две щели происходят одновременные процессы прохождения одного электрона и его интерференции (сложения когерентных волн электрона между собой). Волновые свойства электрона при взаимодействии его с самим собой и с другими частицами не позволяют однозначно определить его координаты.

В ходе практических экспериментов квантовой механики (измерений состояний Белла) выяснилось, что только при измерении состояния электрона данная неопределенность «схлопывается», и координаты электрона становятся однозначными.

В 90-х годах прошлого века сформировалась «квантовая теория информации, представляющая собой раздел прикладной математики, в которой изучаются общие закономерности передачи, хранения и преобразования информации в системах, подчиняющихся законам квантовой механики... Выводы современной теории квантовой информации являются обобщением положений классической теории информации в случаях, когда информация передается и хранится с помощью квантовых состояний, а не в терминах классических битов» [2, С. 19-90].

Данная теория является развивающейся наукой, и в настоящее время в большинстве случаев публикации по данному направлению представляют собой теоретическое описание применяемых алгоритмов.

Основными понятиями квантовой теории информации, соответственно, являются кубит, квантовая энтропия, квантовая схема, квантовый компьютер.

**Бит и кубит.** Если единицей измерения в классической теории информации является бит (bit), то в квантовом представлении оперируют со своей единицей измерения – кубитом (qubit). Бит имеет два значения 0 или 1, значения кубита, в общем, не имеют однозначного значения. По рисунку 1 коротко рассмотрим свойства кубита.

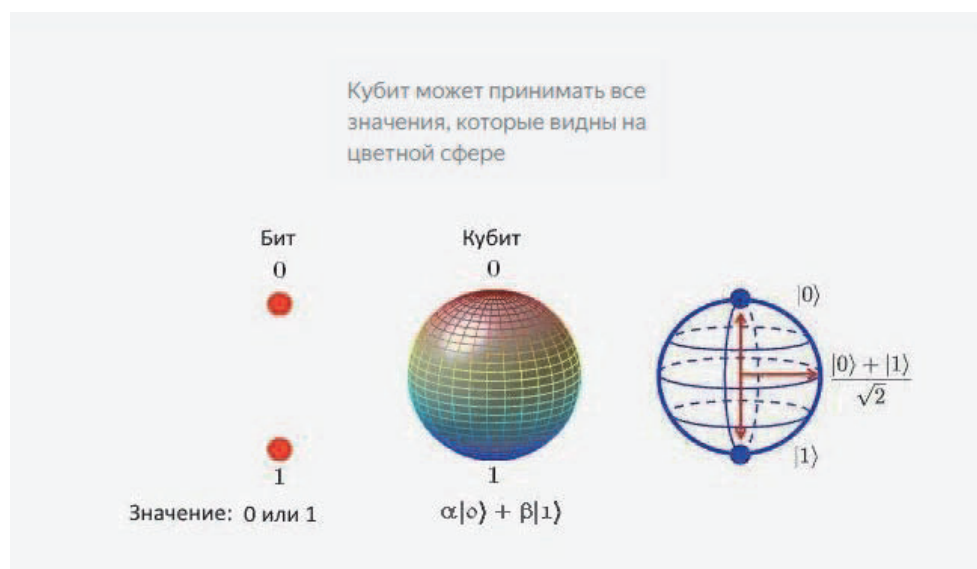


Рисунок 1 – Свойства кубита

В общем случае, значения кубита определяются любым возможным состоянием электрона в квантовой системе. Уравнение квантового состояния можно представить как:

$$a|s \quad (1),$$

где

$a$  – комплексный коэффициент,  $s$  – наименование квантового состояния.

В квантовой физике  $s$  именуется одним символом, например: «0» или «1», «+» или «-». Для кубита его квантовые состояния обозначаются  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$ . Если ввести ограничение по обязательному равенству единице квадратов модулей всех комплексных коэффициентов  $a$  в (1), то кубит представляется как список квантовых состояний.

Проще говоря, по аналогии с традиционным битом кубит в квантовых вычислениях можно описать как некоторый базис. Кубитный базис – это набор взаимно ортогональных друг к другу нулевого  $|0\rangle$  и единичного  $|1\rangle$  кубитов. Такие кубиты можно представить соответствующими векторами:

$$\begin{aligned}
 |0\rangle &= \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 |1\rangle &= \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned} \quad (2)$$

Согласно уравнению (2), ортогональность данных векторов определяется равенством нулю их скалярного произведения.

Сами значения 0 и 1 в (2) – это комплексно-численные коэффициенты базисных кубитов, поэтому:

$$\begin{aligned} |0\rangle &= 1|0\rangle + 0|1\rangle, \\ |1\rangle &= 0|0\rangle + 1|1\rangle, \end{aligned} \quad (3)$$

При разложении произвольного кубита в базисе получаем следующее уравнение (которое в квантовой механике называется волновым уравнением):

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \quad (4),$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – некоторые комплексные числа, при которых сумма квадратов их модулей равна 1;

$|\psi\rangle$  – линейная суперпозиция базисных состояний.

Соответственно, (4) преобразуется в вектор:

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} \quad (5)$$

Таким образом, на рисунке 1 выражение  $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$  представляет собой линейную суперпозицию квантовых состояний кубита.

На рисунке 1 также показано некоторое выражение  $(|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$ , которое является численной величиной перевода состояния  $|0\rangle$  в данное промежуточное квантовое состояние.

Если коэффициенты перед квантовыми состояниями представить действительными числами, то единичный вектор каждого базисного кубита раскладывается в виде его проекций на произвольно выбранные ортогональные оси.

В квантовой механике комплексное число  $a$  (1) называется амплитудой вероятности, которая используется при описании поведения квантовых систем. Квадрат модуля измеряемой амплитуды  $a$  (1) – это вероятность обнаружения кубита в определенном квантовом состоянии. Измерение кубита дает возможность его обнаружения в определенном базисном квантовом состоянии, поскольку в квантовой системе при измерении сумма квадратов модулей совокупности амплитуд  $a$  (1) строго равна единице.

**Квантовая энтропия.** Традиционно количество информации измеряется по формуле Шеннона (1948 г., формула предложена американским ученым Клодом Шенноном). Для системы с  $n$  состояниями и определенными для их вероятностями по формуле Шеннона определяют «информационную емкость» (энтропию) такой системы.

Например, классическая информационная система имеет  $n$  возможных вероятностных состояний, соответственно, в состоянии  $k$  система может находиться с вероятностью  $p_k$ . Информационная энтропия  $S$  системы определяется по Шеннону следующим образом:

$$S = -\sum_{k=1}^n p_k * \log_2 p_k \quad (6)$$

Согласно (6), энтропия  $S$  системы равна нулю, если та находится в одном из возможных состояний с вероятностью 1,0. У системы, которая может равновероятно находиться в любом из  $n$  состояний, энтропия  $S$ , согласно (6), равна  $\log_2 n$ . Энтропия Шеннона является симметричной функцией, относительно значения аргумента  $p=1/2$ .

Для простейшего электронного ключа, имеющего два равновероятных состояния ( $n=2$ ), информационная энтропия равна  $\log_2 n = \log_2 2 = 1$ . Это значит, что ключ имеет информационную емкость 1 бит (хранит или содержит один бит информации).

Информация о квантовой системе по аналогии с традиционной (классической) системой измеряется так называемой квантовой энтропией (или энтропией фон Неймана)  $S\rho$ . Квантовая энтропия  $S\rho$  – основной количественный параметр, который описывает состояния и направления развития квантовых систем. Теория квантовой информации рассматривает различные формы энтропии фон Неймана, например, условную энтропию, относительную энтропию, которые существенно расширяют возможности измерения в квантовых системах.

Традиционная информационная система использует так называемое классическое распределение вероятностей ее состояний с мерой неопределенности – энтропией  $S$ . Квантовые состояния имеют аналогичное описание, однако вместо распределения вероятностей состояний энтропия рассчитывается с учетом операторов квантовой плотности  $\rho$ . Следует также учесть, что квантовые состояния могут быть не ортогональны.

Если  $\lambda_x$  – собственные значения матрицы плотности  $\rho$ , то уравнение квантовой энтропии фон Неймана имеет вид:

$$S\rho \equiv -\sum_x \lambda_x \log_2 \lambda_x \quad (7),$$

При этом считается, что  $0 \log_2 0 \equiv 0$  (как и для Шенноновской энтропии).

Более подробно характеристики квантовой энтропии описаны, например, в [3, С. 12-24.].

**Квантовая схематехника.** Квантовые вычисления осуществляются гейтами. Гейты в квантовой механике являются унитарными преобразованиями. Унитарное преобразование нормированного пространства сохраняет норму вектора, при этом унитарный оператор всегда обратим. Гейт по своему математическому описанию – это квадратная матрица  $U$  с размерностью, соответствующей количеству базовых квантовых состояний системы.

Гейт имеет следующее свойство:

$$U^+U = UU^+ = I \quad (8),$$

где  $U^+$  – эрмитово-сопряжённая матрица к  $U$ .

«Эрмитовое сопряжение является операцией над квадратными матрицами с комплексными числами. Для того чтобы получить эрмитово-сопряжённую матрицу, необходимо транспонировать матрицу и заменить все числа в ней на их комплексно-сопряжённые аналоги...

Тривиальным оператором является единичная матрица, так как эрмитово-сопряжённой к ней является она сама, к тому же произведение двух единичных матриц есть единичная матрица...» [4, С. 9-56].

Математический аппарат квантовой схемотехники основан на гейтовых исчислениях.

Квантовая вычислительная схемотехника, как традиционная вычислительная схемотехника, основана на анализе и синтезе технических схем, реализующих самые разнообразные алгоритмы. Схемы используются не только квантовые, а также, при необходимости, классические, например, аналоговые или цифровые. Соответственно, решаются две основные схемотехнические вычислительные задачи:

- Анализ схем. Разделяется на прямой и обратный анализ.
- При прямом анализе определяют выходную схему при заданной входной схеме и известном описании вычислительного процесса.
- При обратном анализе при заданной выходной схеме и известном описании вычислительного процесса определяют выходную схему.
- Синтез. Необходимо описать вычислительный процесс при известных входных и выходных схемах.

Схемы (или квантовые устройства), которые обычно называют квантовыми цепями, строятся на элементах, называемых квантовыми вентилями. Изображение квантовой схемы называют квантовой диаграммой.

Особенности построения квантовой диаграммы:

- Течение времени на диаграмме – слева направо.
- Один кубит – это одна горизонтальная линия.
- Обычное изображение вентиля – квадрат. Тип вентиля – буквы или символы в данном квадрате. Имеются вентили – аналоги (NOT).
- Некоторые вентили изображаются несколькими элементами диаграммы (например, вентиль SWAP).

Далее перечислим основные кубитные вентили.

- Элементарные однокубитные вентили – вентили Паули X, Y и Z.
- Сложные однокубитные вентили – вентиль Адамара (H), вентили фазовых сдвигов.
- Многокубитные вентили, которые выполняют операции над двумя или более кубитами, например, вентиль SWAP (меняет местами два входных кубита).
- Многокубитные управляемые вентили. На вход такого вентиля подается, по меньшей мере, один управляющий и один управляемый кубит. Вентиль выполнит операцию над управляемым кубитом только в том случае, если управляющий кубит находится в определенном состоянии. Самые распространенные управляемые вентили: CNOT, вентиль Тоффоли, вентиль Фредкина.

Универсальный набор – это конечная последовательность известных квантовых вентилях. С его помощью можно реализовать любую вычислительную операцию в квантовой системе.

Например, универсальным набором являются схемы: вентили Адамара,



фазового сдвига, CNOT и вентиль  $\pi/8$ .

Квантовый компьютер КК можно представить как некоторый универсальный набор квантовых вентилях. Поэтому считают, что теоретически КК обеспечивает любое преобразование, которое допускают законы квантовой физики. С помощью КК можно имитировать любое физическое явление, а значит, квантовые компьютеры могут применяться для моделирования поведения молекул, сверхпроводников и любых других систем.

**Универсальный квантовый компьютер.** Является аналогией структуры классического компьютера. Например, можно представить схему КК (см. рис. 2) набором квантовых и традиционных схем:

- регистра состояния,
- процессора,
- устройства измерения (то есть считывания) кубитов,
- генератора импульсов, воздействующих на кубиты,
- управляющего компьютера.

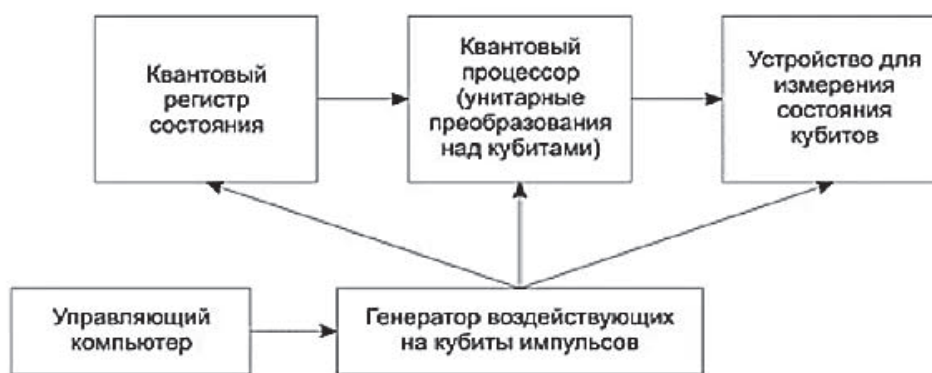


Рисунок 2 – Схематическая структура квантового компьютера

Входное устройство (главная часть КК) – кубитовая память в виде квантового регистра состояния. Регистр состоит из определенного числа кубитов.

Цикл вычислений на КК построен аналогично вычислению по стандартному эксперименту квантовой механики. Основные этапы цикла:

- Инициализация (initializing) – подготовка начального состояния КК. Под действием генератора импульсов, управляемого компьютером, память сбрасывается в начальное состояние  $|00000000\rangle$ .
- Так называемая эволюция состояния, которая описывается волновым уравнением Шрёдингера. Заключается в унитарных преобразованиях над отдельными кубитами регистра, которые переводят их основные базисные состояния в неосновные состояния. Для этого управляющие импульсы внешнего электромагнитного поля генератора селективно воздействуют на каждый кубит регистра. В результате этапа состояние всего регистра преобразуется в суперпозицию его базисных состояний.

- Непосредственное измерение – измеряется один или несколько кубитов (измерение какой-нибудь наблюдаемой величины в конечном состоянии).

Таким образом, унитарные преобразования (то есть команды квантового компьютера) соответственно исполняются программами управляющего компьютера (а именно, работой генератора импульсов внешнего электромагнитного поля). Теоретически операции квантовых вычислений на КК ограничиваются законами квантовой механики.

Программное обеспечение (ПО) КК аналогично программному обеспечению (software) классического компьютера. Кроме совокупности всех возможных операций на КК (например, формирования исходных состояний, унитарных локальных преобразований согласно алгоритмам вычисления), квантовое ПО включает в себя способы подавления потери когерентности (decoherence) (так называемой декогерентизации квантовых состояний), а также исправления случайных ошибок в вычислениях.

Очевидно, что реализация физической схемы КК рисунка 2 аналогична аппаратному обеспечению (hardware) классического компьютера. При этом особенность выбора схемы зависит от следующих факторов:

- физической системы кубитового регистра,
- физического механизма взаимодействия между кубитами для выполнения двухкубитовых и более операций,
- физических способов селективного управления кубитами,
- непосредственного измерения их состояния на выходе.

В разных источниках, например, в [5, С.26], обычно приводят обобщенную схемную структуру идеального квантового компьютера (см. рис. 3).

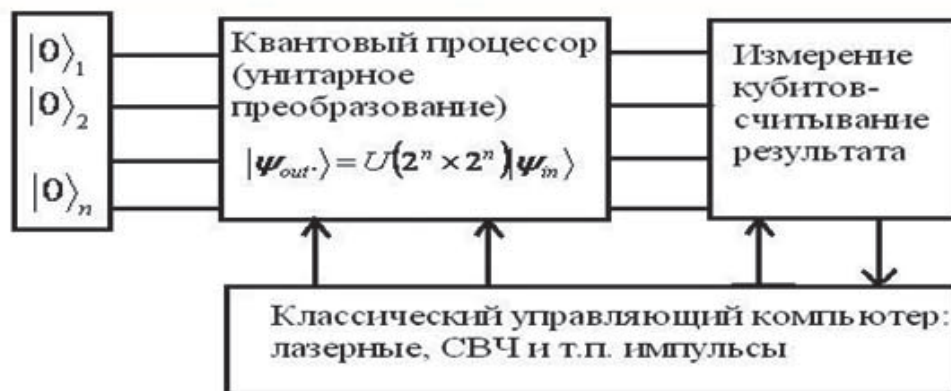


Рисунок 3 – Схемная структура идеального квантового компьютера

В настоящее время проводятся исследования и находятся в разработке следующие разновидности квантовых компьютеров:

- Квантовый отжиг (или устройство для квантового отжига). Считается специфической системой для ограниченного круга оптимизационных задач. Пре-

имущество таких систем перед традиционными компьютерами неоднозначное, прежде всего, из-за небольшой вычислительной мощности и ограниченной универсальности.

- Аналоговый квантовый компьютер. Является симулятором квантовых взаимодействий, которые не могут обеспечивать адекватное моделирование процессов на самых сложных традиционных компьютерах. По примерным подсчетам, аналоговый квантовый компьютер должен содержать не менее 50-100 кубитов. Имеет высокую вычислительную мощность, но ограниченную универсальность. Применяется в исследованиях по квантовой химии, при разработке новых материалов, моделированию оптимизационных задач, по сэмплингованию, в исследованиях по квантовой динамике.
- Универсальный квантовый компьютер. На сегодняшний момент является самой мощной и наиболее гибкой версией КК как вычислительной системы. Система, по предварительным оценкам, должна иметь не менее 100 000 физических кубитов. Обладает весьма высокой вычислительной мощностью, с полной универсальностью, ускоренной по отношению к традиционным компьютерам. Область применения очень обширная (например, безопасные вычисления, машинное обучение, криптография, квантовая химия, разработка новых материалов, задачи на оптимизацию, сэмплингование, квантовая динамика, поиск). Соответственно, разработка универсального КК связана с большим количеством технических трудностей.

**Перспективы.** Из новостей января 2022 года (из источников Интернет) [1, С.]:

1. Согласно докладу Gather (2021), хотя КК в настоящее время являются объектами исследований, к 2026 году они должны выйти на рынок вычислений, а в 2029 году достигнуть в нем уровня превосходства (для чего требуется, по крайней мере, 300-кубитный КК).
2. Компания IBM планирует запустить проект Cidor 1121-кубитного КК, на котором будут исследованы возможности алгоритмов RSA и AES.
3. Компанией IonQ исследуются возможности применения ионов бария для создания кубитов с пониженной вероятностью ошибок. Данная технология позволит создать 2000-100000-кубитные системы.

На рисунке 4 приводится сравнение возможностей КК и классических компьютеров.

Итак (см. рис. 4), классические компьютеры основаны на цифровой логике (digital logic), КК основаны на решениях квантовой теории (quantum theory). У классических компьютеров информация передается в битах цифровыми сигналами (digital signals using bits), у КК передаваемые данные используют частицы или фотоны (particles or photons). Классические компьютеры реализуются на комплементарной структуре металл-оксид-полупроводник (complementary metal oxide semiconductors), для работы элементов КК требуются экстремально холодные условия (operates in extreme cold environments). Основа вычислений в классических компьютерах – математические алгоритмы (mathematical algorithms), вычисления в КК основаны на квантовых свойствах (quantum properties).

Разработки современных КК непосредственно связаны с решениями та-

ких основополагающих задач:

- необходимости приводить кубиты в определенные исходные состояния,
- их объединения в запутанные системные состояния с наиболее полной изоляцией от влияния внешних помех,
- считывания результатов по квантовым расчетам с наиболее высокой долей вероятности.

При этом основными трудностями в разработках считаются следующие обстоятельства:

- при множественных квантовых вычислениях происходит массовое накопление ошибок;
- квантовая система, как правило, нестабильна, имеет высокую чувствительность к окружению, характеризуется моментами неконтролируемого вступления во взаимодействие;
- очень сложно предсказать начальные состояния кубитов;
- квантовые системы из множества кубитов характеризуются высокой нестабильностью.

## Classical computing vs. quantum computing

Classical computing	Quantum computing
Uses logic based on digital logic	Is based on quantum theory
Sends digital signals using bits	Sends data through the use of particles or photons
Uses circuits with complementary metal oxide semiconductors	Operates in extreme cold environments
Encryption is based on mathematical algorithms	Encryption is based on quantum properties

Рисунок 4 – Сравнение характеристик классических компьютеров и КК

Однако высокая интенсивность развития квантовых технологий позволяет в дальнейшем предположить их многократное превосходство, прежде всего, в решении вычислительных задач, криптографического анализа, моделирования сложных систем, машинного обучения искусственного интеллекта.

### *Литература*

1. Семенов Ю.А. (ИТЭФ – МТИ) (Yu. Semenov (ITER - MIPT)) 10.28.17.2022 год. Обзор по материалам ведущих фирм, работающих в сфере ИТ [Электронный

- ресурс]. Режим доступа: <http://book.itep.ru/10/2022.htm> (дата обращения: 20.01.2022).
2. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. М.: Мир, 2006. 824 с.
  3. Кулик С.П. Физические основы квантовой информации. 2017 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://teach-in.ru/file/synopsis/pdf/physical-foundations-of-quantum-information-M-2.pdf> (дата обращения: 22.01.2022).
  4. Чивилихин С.А. Квантовая информатика: учебное пособие. СПб.: СПбГУ-ИТМО, 2009. 80с.
  5. Валиев К.А. Квантовые компьютеры и квантовые вычисления // УФН. 2005. Т. 175. № 1. С. 3-39.

УДК 004.7

**Тенденции развития среды передачи данных  
структурированной кабельной системы – кабели 8 категории**

**Н.Н. Теодорович**, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Информационные технологии и управляющие системы»,

**Д.Ю. Федоров**, магистр 1 курса,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*В данной статье рассматривается, витая пара 8 категории. Производится сравнение 8 категории с другими на основании их электротехнических характеристик. Рассматривается применение 8 категории в технологии Power over Ethernet (PoE). Проводится описание недостатков и преимуществ 8 категории витой пары, а также обсуждается область применения.*

Кабель, 8 категория, витая пара, анализ.

**Trends in the development of the SCS data transmission environment –  
cables of the 8th category**

**N.N. Teodorovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Control Systems,

**D.Y. Fedorov**, 1st year master's student,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*This article discusses category 8 twisted pair. Category 8 is compared with others based on their electrical characteristics. The application of category 8 in Power over Ethernet (PoE) technology is considered. The disadvantages and advantages of category 8 twisted pair are described, and the scope is discussed.*

Cable, category 8, twisted pair, analysis.

**Введение**

Еще столетия назад совершенно обыденные возможности, предоставляемые нам компьютерными технологиями, были лишь несбыточной мечтой, встречаемой лишь в фантастических произведениях наравне с драконами, феями и прочими мифическими существами различных фольклоров. Но прогресс вещь не обратимая и человечество научилось манипулировать с колоссальными объемами информации, а именно собирать, обрабатывать, вычленять нужную информа-

цию и преобразовывать ее в удобный вид для понимания и принятия последующих решений. Все это происходит благодаря вычислительным машинам. Но с каждым годом объемы информации неостановимо растут и, следовательно, возрастают потребности в большей скорости обработки информации. Отсюда же растут требования к более мощным вычислительным машинам, коммутационному оборудованию и кабелям соответственно.

В данной статье будут рассмотрены проводные кабели, а если точнее, 8 категории. Главной же задачей структурированной кабельной системы, безусловно, является повышение пропускной способности и быстродействия. Исходя из технических характеристик, согласно международным стандартам кабели делятся на категории. На момент написания существует всего 8 категорий. Нежели в низших категориях, в высших электротехнические характеристики, в частности предельные частоты, в разы лучше (рисунок 1).

Категория витой пары	Предельная частота, МГц
Категория 1	0,1
Категория 2	1
Категория 3	16
Категория 4	20
Категория 5	100
Категория 5е	100
Категория 6	250
Категория 6А	500
Категория 7	600
Категория 7А	1000
Категория 8	2000
Категория 8.1	2000
Категория 8.2	2000

Рисунок 1 – Все различные категории кабелей и их максимальные частоты

На момент написания статьи витая пара до 5 категории считается устаревшей и мало где активно используется в виду своих довольно посредственных электротехнических характеристик.

### Кабели 8 категории

Рассмотрим и проведем анализ кабелей 8 категории поподробнее. Облик провода представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Облик провода категории 8

Область применения кабелей данной категории довольно ограничена из-за максимальной длины канала 30 метров, что является довольно посредственным результатом по сравнению с витой парой других категорий, что уже говорить о оптоволокне. Так максимальная протяженность кабелей с 5 по 7 категории составляет 100 метров. Но, несмотря на недостаток в длине, у 8 категории имеется огромное преимущество, а именно – предельная частота 2000 МГц. В это же максимальная частота предшественника кабелей 7 категории в два раза меньше – 1000 МГц, а самой распространенной категории на момент написания – 5 в целых 20 раз меньше – 100 МГц. Также 8 категория поддерживает максимальную скорость до 40 Гбит/с, в это же самое время категория 7А обеспечивает максимальную скорость всего лишь до 10 Гбит/с. Отсюда же выходит, что наиболее вероятной областью применения является сети с огромным трафиком и малым расстоянием между устройствами. Под это описание идеально подходят центры обработки данных.

Все кабели 8 категории экранированы, незэкранированных не существует вообще. На рисунке 3 представлена витая пара 8 категории.

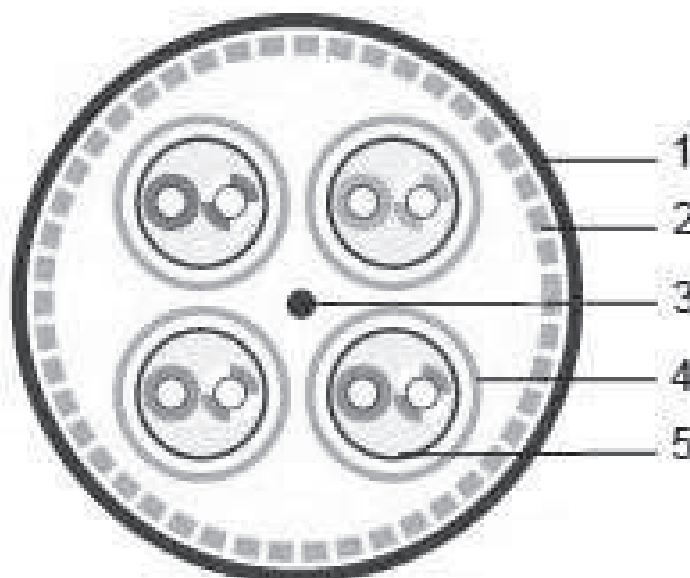


Рисунок 3 – Вид в разрезе кабеля 8 категории



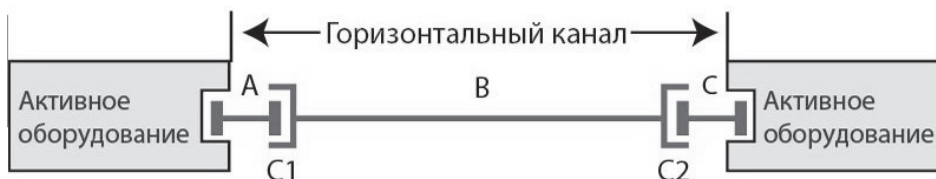
Сам кабель состоит из:

1. Наружная оболочка;
2. Экран-сетка;
3. Дренажный провод;
4. Экран, состоящий из полиэфирной алюминиевой фольги;
5. Витая пары solid.

### Конфигурация канала категории 8

Как было написано ранее, максимальная длина канала категории 8 составляет 30 метров. Из них протяженность самого горизонтального кабеля составляет всего лишь 24 метров. Остальные 6 метров приходятся на аппаратные шнуры. Пример конфигурации канала категории 8 изображен на рисунке 4.

### Пример конфигурации канала категории 8



#### Кабели и шнуры

Аппаратные шнуры     A, C  
Горизонтальный кабель B

#### Коммутационное оборудование

Модульные гнезда     C1, C2

Рисунок 4 – Пример конфигурации канала категории 8

Суммарная длина аппаратных шнуров может быть распространена неравномерно.

Также в отличие от категорий 6 и 7 количество разъёмов в канале категории 8 уменьшено в 2 раза и составляет 2 точки соединения. Минимальная толщина по сравнению с 7 категорией также выросла, так как из-за возросшей частоты выросло количество необходимого экранирования, что сказалось на размерах.

### Стандартизация 8 категории

По международному стандарту существует всего лишь 2 варианта 8 категории – это категории 8.1 и 8.2. Также существуют просто категория 8, но она принята лишь стандартом ANSI / TIA, который действует только в США. В таблице будут приведены разновидности 8 категории.

Таблица 1 – Разновидности 8 категории

Категория	Стандарт	Регион	Частота	25 GBASE-T	40 GBASE-T	RJ 45
Кат 8	ANSI / TIA	США	2000 МГц	Да	Да	Да
Кат 8.1	ISO / IEC	Весь мир	2000 МГц	Да	Да	Да
Кат 8.2	ISO / IEC	Весь мир	2000 МГц	Да	Да	Нет

Кат 8.1 поддерживает RJ 45, что делает его совместимым с более ранними категориями такими как: кат 5, кат 5. е, кат 6, кат 6А. Кат 8.2 полностью совместима с 7А и поддерживает коннекторы GG45/ARJ45 и TERA. На рисунках 5 и 6 представлены разъемы GG45/ARJ45 и TERA соответственно.



Рисунок 5 – Разъем GG45/ARJ45



Рисунок 6 – Разъем TERA

### Поддержка PoE

Технология Power over Ethernet (PoE) позволяет подавать питание на сетевые устройства по витой паре, позволяя сокращать количество кабелей и розеток, что в свою очередь упрощает и удешевляет создание новой или расширение старой структурированной кабельной системы. В основном используется в IP-камерах и VoIP-телефонах, различные датчики.

В 8 категории применяются проводники большего сечения, следовательно, они могут передавать токи значительно больших величин по сравнению с другими категориями.

Также из-за большего экранирования они эффективнее отводят тепло. При прочих равных обстоятельствах кабели 8 категории можно группировать в пучки больших размеров, чем в иных категориях, что играет важную роль для функции Power over Ethernet.

В таблице 2 сравниваются категории такие как: 5e, 6A и 8. Сравнение будет производиться по максимальному размеру кабельного пучка при трех различных значениях сил тока.

Таблица 2 – Разновидности 8 категории

Cat	5e		6		6A		8	
	Открытая трасса	Закрытая трасса	Открытая трасса	Закрытая трасса	Открытая трасса	Закрытая трасса	Открытая трасса	Закрытая трасса
0,6	191	130	253	183	313	242	926	514
0,72	122	80	164	114	203	152	587	317
1	52	32	72	47	90	62	247	126

Проанализировав таблицу 2, становится очевидно, что максимальные размеры пучков 8 категории в несколько раз больше размеров пучков других конкурентов. Но у других категорий есть огромное преимущество – максимальная протяженность 100 метров против 30 метров, практически в 3 раза! Этот факт оказывает немаловажную роль при прокладке сетей, особенно камер, которые, как правило, располагаются в труднодоступных местах по нескольким причинам: ради расширения охватываемой зоны видеонаблюдения и для большей безопасности, так как злоумышленникам будет тривиально сложнее вывести видеокамеру из строя.

#### **Выводы**

Подводя итоги, можно сказать, что 8 категория поддерживает невероятную максимальную скорость, а именно 40 Гбит/с, предшественник всего лишь 10 Гбит/с, но небольшая максимальная длина и дороговизна делает данную категорию довольно узконаправленной и мало где применимой.

#### *Литература*

1. Титаев А.А. Промышленные сети: учебное пособие. М.: Издательство Уральского университета, 2020. 105 с.
2. Федотова Е.Л. Информационные технологии и системы. М.: Форум, 2018. 149с.

УДК 004.942

### **Среда имитационного моделирования AnyLogic в применении к участку дорожно-транспортной сети г. Королев**

**О.Н. Борисова**, кандидат физико-математических наук, доцент,  
доцент кафедры математики и естественнонаучных дисциплин,

**А.А. Плахов**, студент 1 курса магистратуры по направлению  
«Прикладная информатика, специализация моделирование  
и проектирование информационных систем»,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*В статье рассматриваются задачи по оптимизации транспортных потоков: увеличение скорости прохождения перекрестка со светофором, уменьшение времени ожидания, уменьшение расходов топлива и как следствие улучшение экологической обстановки в окрестности одной из самых транспортно загруженных улиц города Королёва. Разработана модель адаптивного светофорного регулирования.*

Оптимизация транспортных потоков, имитационное моделирование.

### **AnyLogic simulation environment applied to a section of the Korolev road transport network**

**O.N. Borisova**, PhD in physico-mathematical sciences, associate Professor,  
associate Professor of Department of Mathematics and Natural sciences,

**A.A. Plakhov**, 1st year student of the Master's degree in applied computer science,  
specialization modeling and design of information systems,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region

«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*The article discusses the tasks of optimizing traffic flows: increasing the speed of passing an intersection with a traffic light, reducing waiting time, reducing fuel consumption and, as a result, improving the environmental situation in the vicinity of one of the busiest streets in the city of Korolev. A model of adaptive traffic light control has been developed.*

Optimization of traffic flows, simulation modeling.

Тенденция современного общества имеет направление на глобализацию. Города становятся крупнее с каждым годом, потребление тоже увеличивается,

начиная с ежедневных необходимых товаров и заканчивая предметами роскоши. Именно поэтому общество находится в постоянном движении, работая и производя всё необходимое. Для чего каждый вносит свой вклад в процесс. Конечно, есть и те, кто работает и вкладывает (а может, и нет) свои труды для общего развития и своего благосостояния иными способами, есть люди, работающие в непосредственной близости от дома, но основная масса вынуждена перемещаться от родной обители, до места своего непосредственной работы.

Не стоит также забывать про рост микрорайонов, заполненных «человеками», которые, как правило, находятся на окраинах городов с очень разной доступностью общественного транспорта. Количество людей постоянно увеличивается, тем самым, порождая постоянное увеличение средств передвижений. Заторы оказывают огромное влияние на жизнь людей. Это одна из самых серьезных проблем больших городов, с которой людям приходится сталкиваться в жизни ежедневно.

За последние два года в «эпоху пандемии», возможно, чуть снизились темпы прироста городского населения – намечился «ручеек» тех, кто устремился из города в пригород. Но, отнюдь, не каждая профессия позволяет работать «на удалёнке». Слово ручей, люди, просыпаясь, одеваясь и, как правило, садясь в доступный транспорт, стекаются вместе, образуя поток средств передвижений на дороге, каждый стремясь попасть на место своей работы.

Поскольку большинству людей приходится сталкиваться с проблемами заторов на дороге ежедневно, они могут воспринимать это как тяжелый психологический фон. Это также негативно сказывается на работе, образовании и личной жизни людей и, в конечном итоге, на прогрессе страны. Пробки на дорогах сильно влияют на экономику, здоровье людей и окружающую среду. Экономические последствия описываются тем, что люди теряют часть рабочего времени, автомобили потребляют больше топлива и затраты на техническое обслуживание транспортных средств.

Одна из причин, вызывающая заторы на дорогах, – это плохая планировка городских дорог. Многие городские дороги в России планировались вместе со строительством пяти или девятиэтажных домов в 60-70-тых годах 20 века. За полвека намного увеличилось население, также сильно изменилось количество личного транспорта. Центры даже маленьких городков задыхаются в потоке машин.

Перегрузка трафика относится к явлению задержки транспортного потока, вызванному противоречиями между требованиями к трафику и пропускной способностью трафика. Как правило, перегрузка трафика возникает, если пропускная способность трафика, обеспечиваемая транспортными средствами, близка или меньше текущей потребности в трафике. Через какое-то время будут формироваться регулярные узкие места, если спрос на трафик будет превышать пропускную способность. Такой случай называется регулярной пробкой на дорогах. Кроме того, если фактическая пропускная способность снижается из-за временного события или аварии, иногда возникают пробки на дорогах.

Кроме того, транспортный поток обычно контролируется системой управления светофорами. Следовательно, транспортный поток в заблокированном месте с небольшим интервалом будет распространяться на другие места в течение времени.

По мере увеличения помех между транспортными средствами скорость движения будет снижаться, что также может привести к возможным заторам. Эти факторы легко делают поток трафика нестабильным и снижают пропускную способность. Таким образом, первоначальный затор может быстро распространиться на всю дорожную сеть. Если отсутствуют соответствующие эффективные меры по уменьшению его пространственной диффузии, возникнет общая или региональная транспортная перегрузка.

Чтобы найти эффективные стратегии управления транспортными потоками, оптимальные решения по проектированию дорожной сети и организации движения, необходимо учитывать широкий спектр характеристик транспортных потоков, закономерности влияния внешних и внутренних факторов на динамические характеристики смешанного транспортного потока.

Поскольку общественный транспорт эффективен, экономичен и надежен, это лучший способ уменьшить количество пробок. Есть и другие способы решения этой проблемы, но, безусловно, лучше всего пользоваться общественным транспортом. Пробки в очень загруженные часы на дороге могут быть уменьшены, и больше людей смогут вовремя добраться до работы и избежать разочарования, вызванного сидением в длинной пробке из автомобилей. Города и правительства рассматривают способы улучшения своей системы общественного транспорта и поощрения большего числа людей к ее использованию. Но обязательно нужны и другие способы.

Для исследования был выбран участок транспортного пути города Королева: конец ул. Циолковского и начало проспекта Королева. Выбор пал на это место ввиду особенностей работы светофоров и расположения пешеходных переходов, создающих весомые заторы на проезжей части в час пик, способные разрастаться на всем промежутке проспекта Королева.



Рисунок 1 – Участок дороги, предрасположенный к заторам

Именно этот участок служит для нас основным местом анализа транспортного затора и нахождения возможного устранения. Существующие методы анализа и обработки статистической информации позволяют выявлять законо-

мерности и анализировать процессы, в том числе транспортные и дорожные комплексы.

Так как дорожное движение относится к области исследований, в которой трудно или невозможно проводить комплексные эксперименты, имитационное моделирование во многом считается единственным инструментом для лучшего принятия решений в этой области. К преимуществам данного метода можно отнести то, что по сравнению с аналитическим моделированием транспортного потока он позволяет многократно использовать и изменять исследуемую систему для определения ее оптимального состояния.

Для разработки имитационной модели дорожно-транспортной сети была выбрана среда имитационного моделирования AnyLogic, поскольку в данной среде реализованы средства визуализации модели, существует возможность создания библиотеки объектов и есть средства для проведения оптимизационного эксперимента на модели.

Выполнен макет имитационной модели с проложенными транспортными путями, показан процесс имитации движения транспортного потока на участке без светофорной сигнализации. Следующим этапом является расстановка и регулировка светофоров, затем, пешеходных переходов.

Всего на имитационном участке расположено 5 светофоров: но конкретный интерес в исследуемый час представляют лишь 2, регулирующие движение потока основного потока справа-налево или с Востока на Запад. Благодаря их расположению и интенсивности работы, это место является одним из самых загруженным участком в городе, если не брать в расчет такие факторы как малое количество полос движения и отсутствие отдельных линий движения автобусных линий.

Целевой функцией будет являться среднее время, затраченное на преодоление двух светофоров автомобилями. Собираем статистику данного среднего времени. Создадим «данные гистограммы». Здесь будет храниться статистика по времени проезда двух частей дороги, к которым прилегают светофоры. Это разница между текущим временем и временем появления машины на нужном отрезке имитационной модели.

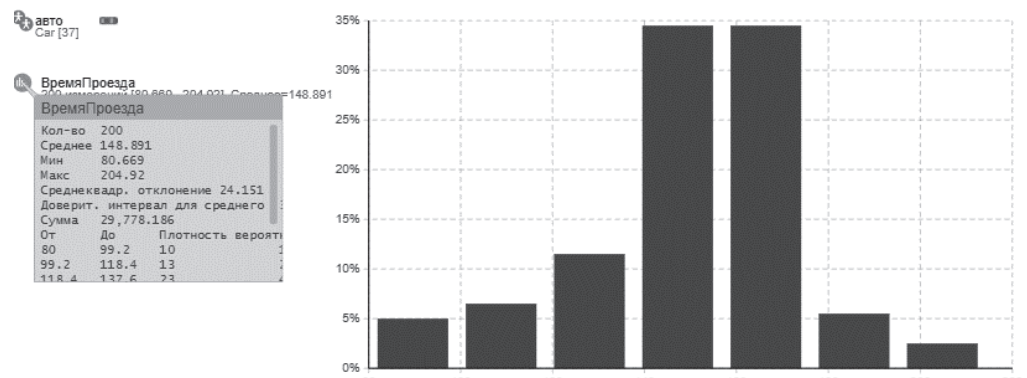


Рисунок 2 – Данные о времени проезда участка 200 автомобилями



На начало имитации среднее время 200 первых машин, как показано на скриншоте, составляет 148 секунд, но под конец имитации (длительность 1 час) оно составило почти 140 секунд.

ModelDiplom : Optimization

	Текущее	Лучшее
Итерация:	507	36
Функционал↓	236.731	110.675
Параметры	Copy best	
рагам	15	10
рагам1	35	40
рагам2	30	10
рагам3	25	40

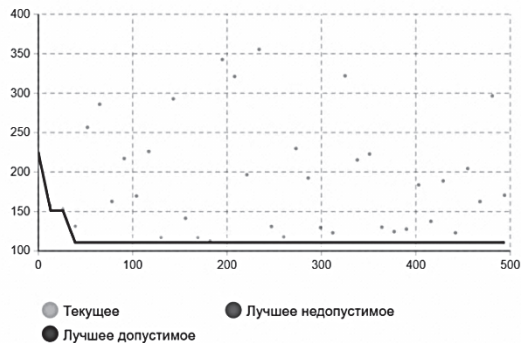


Рисунок 3 – График оптимизации параметров фаз светофоров

На рисунке изображен ход эксперимента оптимизации. Линия на графике отображает лучшее на данный момент значение эксперимента. На данный момент лучшим значением целевой функции, то есть среднего времени прохождения проезда двух светофоров является 110.675 секунд.

Итак, проведем испытание с помощью имитационной модели и соберем данные по прохождению пути этого отрезка с отключенным светофором номер 2.

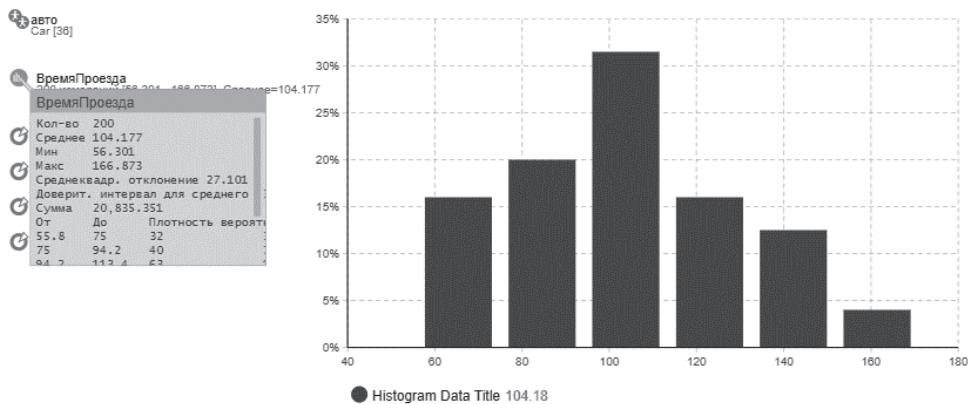


Рисунок 4 – Данные о прохождении 200 автомобилями пути по первому варианту эксперимента

Видно, что по прошествии 200 автомобилей, их среднее время пути составило 104 секунды в условиях «час пик», что меньше предыдущего неоптимизированного варианта на 44 секунды.

Теперь воспользуемся вариантом, в котором работа светофора 1 оптимизирована.

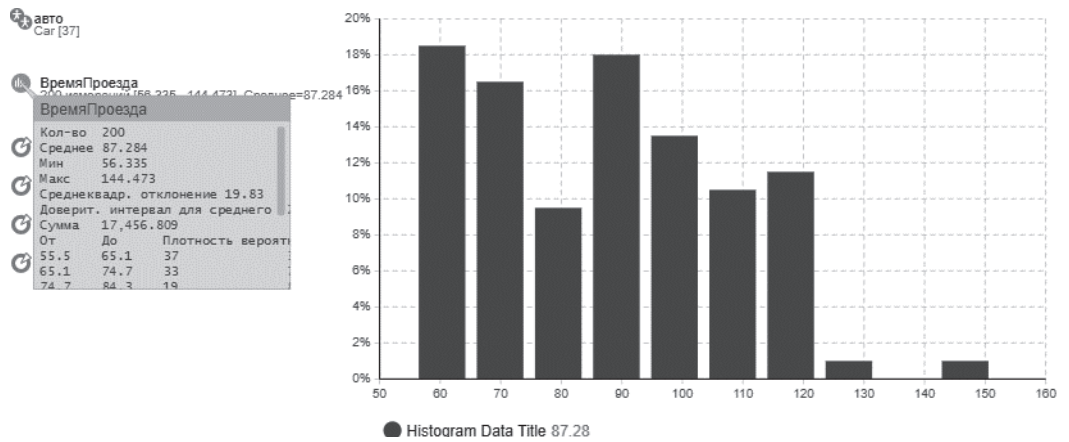


Рисунок 5 – Данные о прохождении 200 автомобилями пути по первому варианту эксперимента с оптимизированным светофором номер 1

Среднее время прохождения пути для 200 легковых автомобилей составило 87 секунд. Данный показатель меньше предыдущего на 17 секунд и первоначального на 61 секунду. Благодаря оптимизации особенностей дороги и фаз работы светофора сэкономлено больше минуты, что очень сказывается на дорожном потоке.

Вариативно рассматривается частичное отключение светофора с добавлением так называемой кнопки для пешеходов.

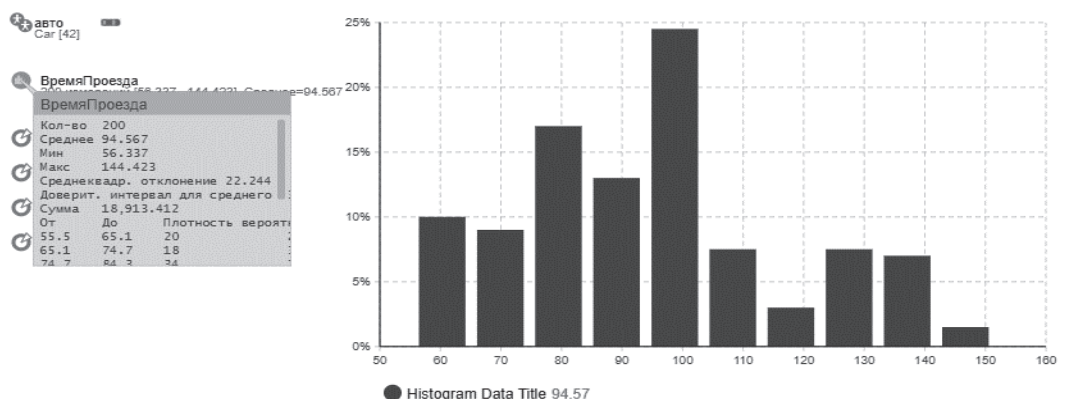


Рисунок 6 – Данные о прохождении 200 автомобилями пути с ручным включением светофора

Как видно на гистограмме, прохождение данного отрезка пути при такой работе 200 автомобилями в среднем составляет 94 секунды. Светофор был активным с промежутком в 240 секунд. Каждые 4 минуты кому-то требовалось перейти дорогу, и светофор начинал свою работу. За час имитации среднее время прохождения составило 142 секунды.

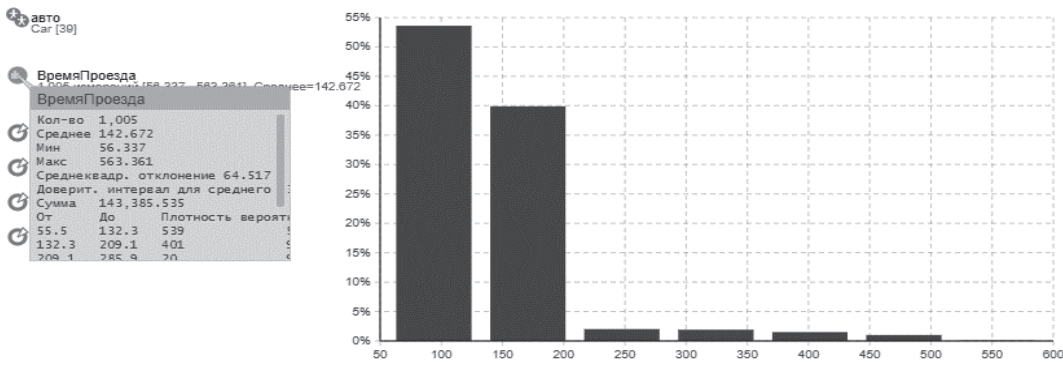


Рисунок 7 – Данные о времени прохождения пути за один час имитации транспортного потока

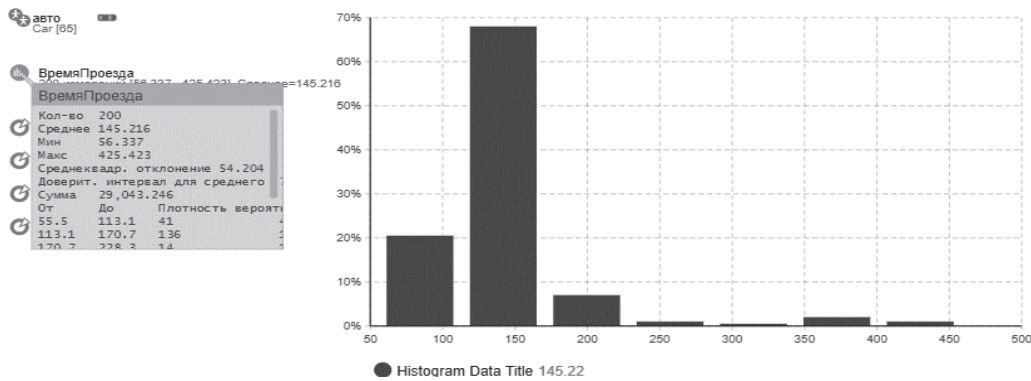


Рисунок 8 – Данные о прохождении 200 автомобилями пути со вторым вариантом времени ручной активации светофора

200 машин преодолели путь в среднем за 145 секунд.

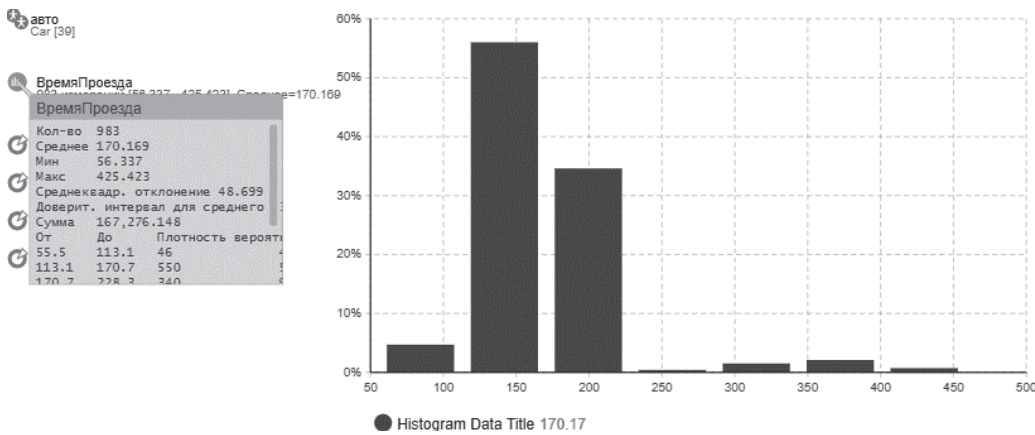


Рисунок 9 – Данные о времени прохождения пути за один час имитации транспортного потока со вторым вариантом времени ручной активации светофора

После часа имитации данное время увеличилось на 15 и составило 170 секунд. Данные результаты практически совпадают с начальной имитацией неоптимизированной работы фаз светофоров.

При имитации первого и второго вариантов, работа фаз светофора 1 была оптимизированной и составляла 10 секунд в простое (красный свет), 3 секунды фазы подготовки (желтый свет), 40 секунд свободного пути (зеленый свет).

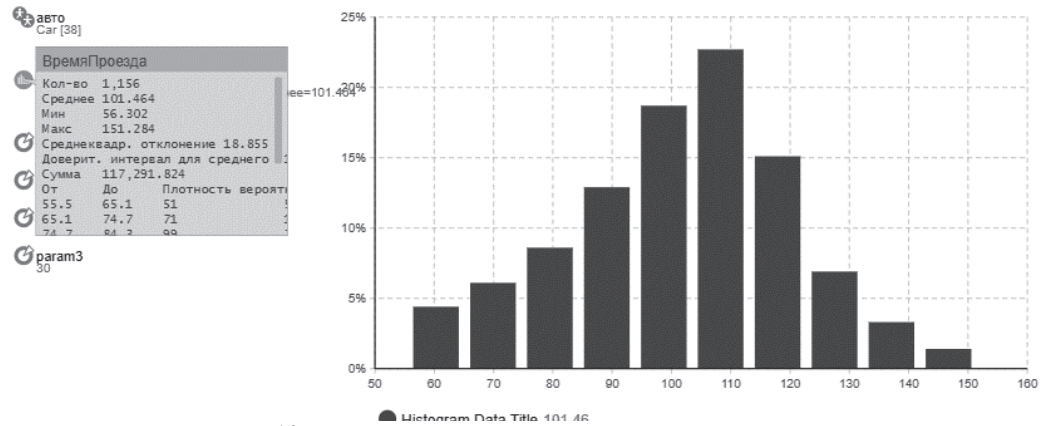


Рисунок 10 – Данные о времени прохождения пути за час с отключенным светофором 2

Это лучший вариант имитации, рассчитанный на автомобильное движение с исключением заторов, но не рассчитанный на пешеходов, нуждающихся в пересечении данного участка дороги во время «час пик».

Идеальным в плане баланса между автомобилистами и пешеходами является имитация с участием кнопки для начала работы светофора 2 и 3, а также в оптимизированная версия работы светофоров. Час имитации отрезка с вызовом кнопки каждые 4 минуты проходит автомобилями в среднем за 142 секунды, в то время как имитация с оптимизированными фазами работы светофоров за 122 секунды.

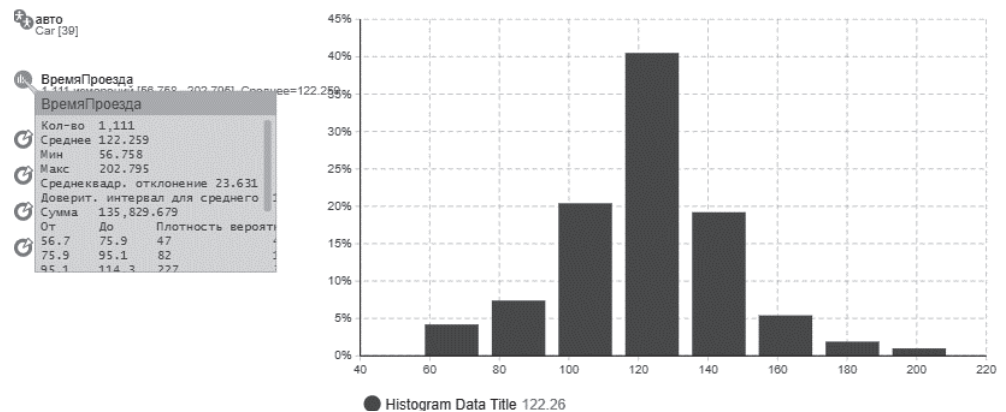


Рисунок 11 – Данные о времени прохождения пути за час оптимизированной работой светофоров

Так как в полной мере невозможно определить, у скольких человек будет нужда в данный момент времени перейти дорогу, оптимизированный вариант фаз работы светофоров является лучшей сбалансированной имитацией.

На гистограмме ниже для наглядности результатов представлены первоначальные данные прохождения отрезка пути без вмешательства с оптимизацией фаз работы светофорной сигнализации.

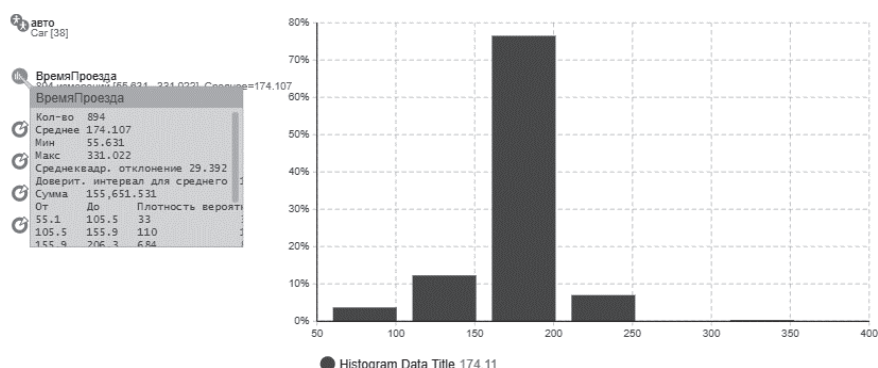


Рисунок 12 – Начальные данные о времени прохождения пути за час без оптимизации

Подводя итог, можно отметить воспроизведение упрощенного описания реального процесса дорожного движения для исследования его поведения в разных ситуациях. Созданная модель и данные полученные в ходе эксперимента оптимизации, могут улучшить проходимость транспортного пути и исключение создания и распространения заторов.

#### Литература

1. Алеников А. Булин Г. Системный анализ транспортных процессов в мегаполисе // OmniScriptum Publishing KS. 2014. 144 с.
2. Подробные данные о городе Королев на 2021 год. [wikipedia.org/wiki/Korolyov,\\_Moscow\\_Oblast](https://wikipedia.org/wiki/Korolyov,_Moscow_Oblast). Статья. Открытый доступ, Википедия. 2021.
3. Позамантир Р.Д. Ракетно-космический наукоград Королёв. М.: ИП Стручевская О.В., 2018. 260 с.
4. Справочная документации AnyLogic – [help.anylogic.ru/index.jsp](https://help.anylogic.ru/index.jsp), пособие. Открытый доступ. The AnyLogic Company. 2021.
5. Тимерханов А. Уровень автотранспорта на душу населения. [autostat.ru/news/48510/](https://autostat.ru/news/48510/), статья. Открытый доступ, АВТОСТАТ. 2021.

УДК 004.05

### **Современный подход к разработке SPA приложений на фреймворке Angular**

**О.В. Булаева**, специалист по УМР 1-й категории,  
**М.А. Руя**, магистр по направлению подготовки «Прикладная информатика в информационной сфере»,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*Проанализированы вопросы, связанные с современным подходом к разработке SPA приложений на фреймворке Angular. Рассмотрены основные требования, предъявляемые к современным бизнес-приложениям. Показано, что мониторинг производительности SPA требует мониторинга не только производительности клиентских устройств, но и всех вызовов API, выполняемых к серверным службам.*

Архитектура SPA, бизнес-приложения, компьютерные сети, язык программирования, браузер, web приложения.

### **A modern approach to the development of SPA applications on the Angularjs framework**

**O.V. Bulayeva**, UMR specialist of the 1st category,  
**M.A. Ruya**, master training direction «Applied Informatics in the information sphere»,  
State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region «Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*The issues related to the modern approach to the development of SPA applications on the Angular framework are analyzed. The main requirements for modern business applications are considered. It is shown that SPA performance monitoring requires monitoring not only the performance of client devices, but also all API calls made to server services.*

SPA architecture, business applications, computer networks, programming language, browser, web applications.

Сегодня почти каждый бизнес, от малого до крупного, должен иметь свой сайт, для большей продаваемости своих услуг, привлечения новых клиентов и заказчиков. До сих пор 46% небольших компаний не имеют своего web сервиса, однако у 24% из них не растет прибыль в отличие от остальных.

Но мало просто запустить сайт и продолжать развивать свой бизнес в интернете, самое важное – подойти к этому делу ответственно. Нужно найти хорошего веб-дизайнера, который продумает все до мелочей, распишет, как будут работать будущие сервисы, и чем сайт будет продавать себя. После того как все вышеперечисленные вопросы закрыты нужно нанимать разработчиков. Для создания любого web приложения нужны фронтенд разработчики, которые отвечают за видимую пользователю оболочку и как она будет взаимодействовать с браузером, и бэк-энд разработчики, которые подготовят для первых все данные, с которыми нужно работать.

Миллиардер и один из самых успешных людей на планете Билл Гейтс однажды сказал: «Если вашего бизнеса нет в Интернете – вас нет в бизнесе». Даже при условии спроса на выпускаемую продукцию, услугу и конкурентную стоимость продукта, но при отсутствии сайта в Сети – ваш бизнес неумолимо движется к банкротству. Таковы реалии современного рынка. Сейчас эра информационных технологий и сеть интернет переживает самые лучшие времена и необычайную востребованность. У любой современной компании существует сайт и это не только один из элементов престижа, но и новые возможности заработка, клиенты и заказчики.

Первые компьютерные сети – военные и гражданские – на целые десятилетия предшествовали первым веб-сайтам. Однако сайтам тоже нужно уделить немного внимания – в конце концов, именно благодаря им мы можем свободно общаться и получать информацию со всех концов планеты. Сегодняшние веб-страницы (а также лежащие в их основе протоколы, языки разметки и кодирования) заставляют данные, передаваемые по ссылкам, обретать доступную форму. Благодаря этому информация становится понятной конечному пользователю. Первая концепция Интернета была создана для нужд вооруженных сил США. Такая сеть должна была пережить Третью мировую войну и обеспечить бесперебойную связь между удаленными командными центрами и частями.

В далеком 1969 году была создана ARPANET – академическая сеть, объединившая университеты. Затем следовало развитие USENET, который соединил два академических центра, но имел первые дискуссионные группы. И это было достижение – сеть перестала быть «практичной», превратившись в платформу для общения. Веб-сайты или, скорее, идеи для них, были заблокированы решениями Американского национального научного фонда, которые не разрешали использовать Интернет в чисто коммерческих целях. По мнению чиновников той эпохи, Интернет должен был использоваться только в образовательных, научных и военных целях. Однако этот маленький парадокс не помешал развитию сети в западном мире.

Первые сайты были созданы не в Америке, а в ЦЕРН – Европейской организации ядерных исследований. Фактически, это историческое событие произошло в Швейцарии. И хотя сегодня можно сказать, что это не ядерная технология, общение с помощью компьютеров всерьез захватывало умы европейских ученых и стратегов. Веб-сайты были созданы благодаря проекту WorldWideWeb (W3) Тимом Бернерсом-Ли и Робертом Кайо.

Время шло, и технологии не стояли на месте, начали появляться первые web страницы в сети интернет, поисковые службы и каталоги существующих сайтов. На рисунке 1 показано, какой был рост web-сайтов [1].

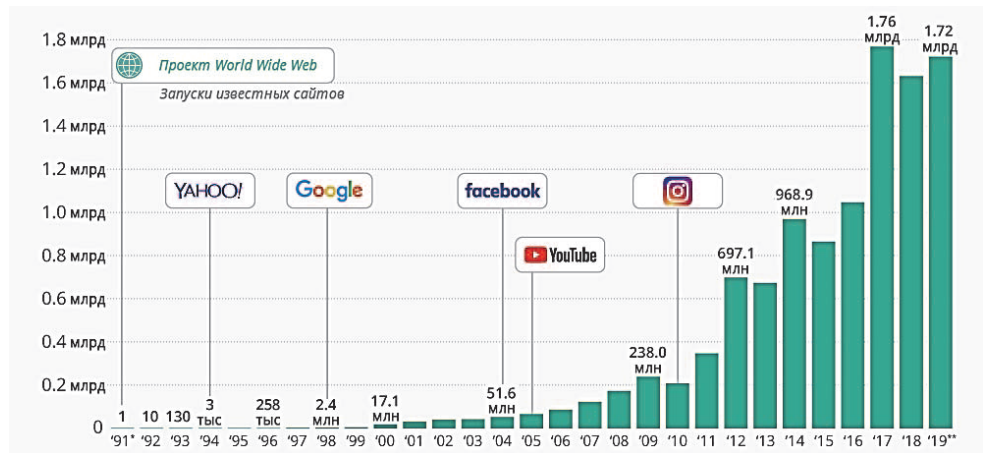


Рисунок 1 – График роста web сайтов

Но все они были похожи друг на друга потому что тогдашний web сайт состоял только из HTML разметки. Но все изменилось в 1996 году, когда миру разработки был представлен CSS. В переводе на русский – Каскадные таблицы стилей считались и остаются языком программирования, позволяющий разукрашивать сайт, позиционировать элементы на странице и отличать один web сайт от другого. Не менее важным событием в 1996 году стало появление Nokia 9000 – первого телефона, подключенного к Интернету, на экране которого можно было просматривать веб-сайты.

Также в те годы был создан один из лучших, на тот момент, браузер NetScape (рисунок 2), а позже, в 1995 году, Брендон Эйх из Netscape Communications, вдохновленный Java, Scheme и Self, разработал язык программирования JavaScript [2, 3]. Но никаких сходств, кроме названия, javascript и java не имели. Брендан Эйх просто решил воспользоваться ажиотажем вокруг языка java и это получилось.

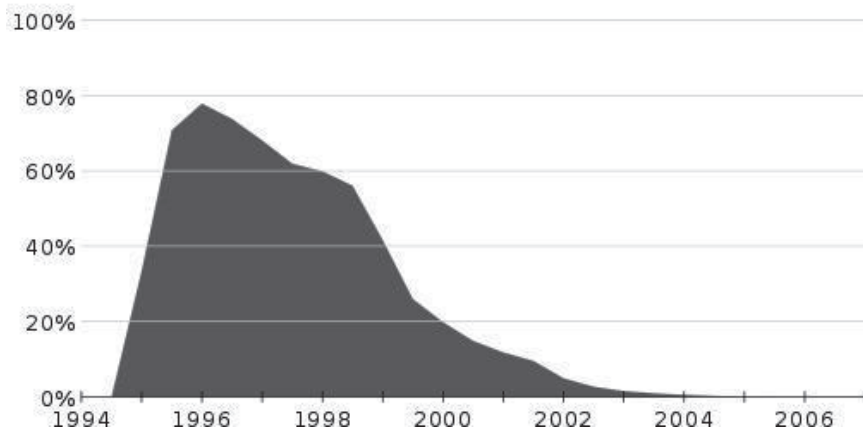


Рисунок 2 – График популярности Netscape



Mocha от Netscape (позже JavaScript) стремился превратить Интернет в полноценную платформу приложений. Кроме того, при использовании вместе с их продуктом сервера приложений LiveWire он обеспечит изоморфную разработку с одним и тем же языком, используемым как на клиенте, так и на сервере. В конце концов, JavaScript стал единственным мостом между пользователем и браузером, вместе с HTML и CSS. Именно эти три технологии являются опорными пунктами всех сайтов в сети интернет.

Интернет разрастался и если в 2000-ых годах пользователей измеряли десятками тысяч, то к 2005 году их количество измерялось миллионами, а с ними увеличивалось и количество web сайтов разных тематик. На рисунке 3 можем увидеть, как росло число пользователей в интернете [4].

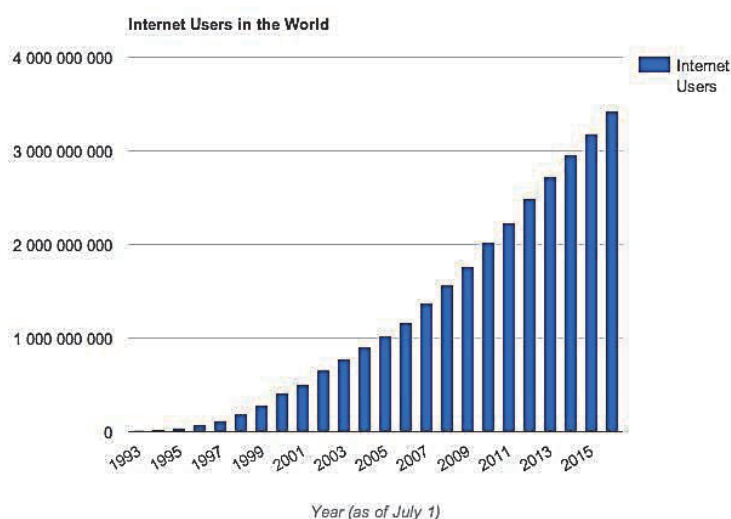


Рисунок 3 – График роста пользователей сети интернет

Программисты разрабатывали сайты сложнее и высоконагруженнее с каждым днем, и начинали находить минусы разработки сайта только на javascript. Тогда и начали появляться библиотеки (надстройки над javascript) и готовые CMS системы. Но библиотеки не уходили сильно далеко от своего родителя, а готовые CMS были достаточно узки в использовании. Исходя из этого, начали появляться первые фреймворки для javascript, благодаря которым стало возможно продумывать качественную архитектуру будущего сайта или web приложения и делать ее высоконагруженной.

В начале 2000-х годов JavaScript был в основном в зачаточном состоянии и в основном использовался для выполнения основных изменений на странице. Основные моменты включали наведение курсора мыши, выпадающие меню и прокрутку текста – вещи, которые разработчики считают само собой разумеющимися сегодня с помощью CSS. В то время Internet Explorer доминировал в сре-

де веб-браузеров, а с 1999 года он включал оболочку библиотеки, которую Microsoft разработала для своего собственного продукта электронной почты Outlook. Симпатичный, но устрашающе названный объект XMLHttpRequest со временем стал стандартизированным для всех браузеров и стал воротами к тому, как мы сегодня воспринимаем большую часть Интернета. Важно отметить, что этот XMLHttpRequest позволял отправлять запросы на сервер и обрабатывать ответы без необходимости обновлять браузер или выполнять полный круговой обход. До этого такие вещи, как щелчок по вкладке или отправка формы, означали, что сервер обрабатывал этот запрос и решал, как отобразить ответ, а браузер отключался и в конечном итоге отображал результат.

Разработчики ухватились за функциональность и увидели потенциал для создания реальных приложений для замены рабочего стола в Интернете. Асинхронный Javascript и XML, сокращенно AJAX, были придуманы для описания этой новой возможности.

### **jQuery**

Технически jQuery не была первой средой JavaScript, но ее популярность резко возросла после ее выпуска в 2006 году. Целью jQuery было решение многих проблем, с которыми разработчики сталкивались из-за тонких различий в реализации веб-браузеров, и она абстрагировала большую часть функций, которые хотели разработчики, в чистый и простой в освоении фреймворк.

Имея потенциал для создания приложений, использующих удобство Интернета, разработчики создавали все более и более крупные решения, которые проверяли ремонтпригодность jQuery. Такие продукты, как Gmail, продемонстрировали, чего можно достичь, но стало ясно, что могут потребоваться более удобные для предприятий инструменты.

### **AngularJS**

В 2010 году Джереми Ашкенас выпустил Backbone, первый фреймворк, предназначенный для создания одностраничных приложений. Джереми видел, каким грязным может стать огромное приложение jQuery, и хотел найти более чистый подход, чтобы исправить тысячи селекторов и переплетенных обработчиков событий. Интересно, что Backbone не требовал jQuery, это был независимый фреймворк, но при наличии jQuery можно было включить определенные функции.

Примерно в то же время Адам Абронс и Мишко Хевери создали AngularJS, который вскоре перешел под опеку Google, когда Хевери устроился на работу в компанию. Angular был первым фреймворком, предоставившим полную архитектуру для разработки интерфейсных приложений.

Одной из основных функций AngularJS была двунаправленная привязка данных, которая позволяла привязывать данные модели к HTML-разметке и обновлять изменения в режиме реального времени. Разработчики назвали это «автоматией». Angular также поддерживал внедрение зависимостей и возможность создавать повторно используемые компоненты.

### **Angular**

Новый выпуск AngularJS, выпущенный 14 сентября 2016 года и извест-

ный как Angular 2, был полностью переписанным предыдущим, полностью основанным на новых спецификациях ECMAScript версии 6 (официально ECMAScript 2015). Подобно переписыванию ядра ASP.NET, «революция» принесла такое количество критических изменений на уровне архитектуры, обработки конвейера HTTP, жизненного цикла приложения, управления состоянием, что перенос старого кода на новый был практически невозможен: несмотря на сохранение его прежнего название, новая версия Angular представляла собой совершенно новый фреймворк, практически не имеющий общего с предыдущим.

Решение не делать Angular 2 обратно совместимым с AngularJS ясно продемонстрировало намерение команды автора принять совершенно новый подход: не только в синтаксисе кода, но и в их образе мышления и разработке клиентского приложения. Новый Angular был очень модульным, основанным на компонентах, поставляется с новой и улучшенной моделью внедрения зависимостей и множеством шаблонов программирования, о которых его старший брат никогда не слышал.

Вот краткий список наиболее важных улучшений, представленных в Angular 2:

- Семантическое версионирование: Angular 2 – это первый выпуск, использующий семантическое управление версиями, также известное как SemVer: универсальный способ управления версиями различных выпусков программного обеспечения, помогающий разработчикам отслеживать происходящее без необходимости копаться в деталях журнала изменений. SemVer базируются на 3-х числах – XYZ – где X обозначает основную версию, Y обозначает малую версию, и Z обозначает патч – релиз. Более конкретно: число X, представляющее основную версию, увеличивается, когда несовместимые изменения API вносятся в стабильные API; число Y, представляющее минор версия, увеличивается при добавлении функций, совместимых с предыдущими версиями; число Z, представляющее выпуск исправления, увеличивается, когда исправляется ошибка обратной совместимости. Такое улучшение легко недооценить, но оно необходимо для большинства современных сценариев разработки программного обеспечения, где непрерывная поставка (CDE) имеет первостепенное значение, а новые версии выпускаются с большой частотой.

- TypeScript: Если вы опытный веб-разработчик, вы, вероятно, уже знаете, что такое TypeScript. Если вы этого не сделаете, давайте просто скажем, что TypeScript – это расширение JavaScript, созданное Microsoft, которое позволяет использовать все функции ES2015 и добавляет мощные возможности. Проверка типов и объектно-ориентированные функции во время разработки (такие как объявления классов и типов): исходный код TypeScript может быть затем «преобразован» в стандартный код JavaScript, понятный всем браузерам.

- Рендеринг на стороне сервера: Angular 2 поставляется с Angular Universal, технологией с открытым исходным кодом, которая позволяет внутреннему серверу запускать приложения Angular и предоставлять клиенту только полученные статические HTML-файлы. В двух словах, сервер выполнит первый проход страницы для более быстрой доставки клиенту, а затем немедленно обно-

вит клиентский код. У SSR есть свои предостережения, такие как требование Node.js, установленного на хост-компьютере, для выполнения необходимых шагов предварительного рендеринга, а также наличия там всей папки node modules, но это может значительно увеличить время отклика приложения для типичного интернет-браузера, таким образом, устранение известной проблемы с производительностью AngularJS.

- Angular Mobile Toolkit: Набор инструментов, специально разработанный для создания высокопроизводительных мобильных приложений.

- Интерфейс командной строки: новый интерфейс командной строки, представленный в Angular 2, может использоваться разработчиками для создания компонентов, маршрутов, сервисов и каналов с помощью команд консоли/терминала вместе с простыми тестовыми оболочками.

- Компоненты: Это основные строительные блоки Angular 2, полностью заменяющие контроллеры и области действия AngularJS, а также поднимающие большинство задач, ранее охватываемых прежними директивами: данные приложения, бизнес-логика, шаблоны и стили приложения Angular 2 могут быть созданы с помощью компонентов.

#### **Angular 4**

23 марта 2017 года Google выпустила Angular 4: цифра 3 была полностью пропущена, чтобы объединить все основные версии многих компонентов Angular, которые до этой даты разрабатывались отдельно – например, Angular Router, который уже имел версию 3. x в то время. Начиная с Angular 4, вся Angular Framework была объединена в один и тот же шаблон MAJOR.MINOR.PATCH SemVer.

Новая основная версия принесла ограниченное количество критических изменений, таких как: новая и улучшенная система маршрутизации, поддержка TypeScript 2.1+ (и требования), а также некоторые устаревшие интерфейсы и теги. Также было внесено немало улучшений, в том числе:

- Подборка опережающих времен. Angular 4 компилирует шаблоны на этапе сборки и соответствующим образом генерирует код JavaScript. Это огромное архитектурное улучшение по сравнению с режимом Just in Time, используемым в AngularJS и Angular 2, где приложение компилируется во время выполнения, т. е. при запуске приложения: не только приложение работает быстрее, поскольку клиенту не нужно ничего компилировать, но он сбрасывает / ломает во время сборки, а не во время выполнения для большинства ошибок компонентов, что приводит к более безопасным и стабильным развертываниям.

- Пакет анимаций NPM. Все существующие анимации и эффекты пользовательского интерфейса, а также новые, были перемещены в специальный пакет @angular/animations вместо того, чтобы быть частью @angular/code: умный ход, позволяющий не анимированным приложениям отказаться от этой части кода, поэтому он намного меньше и, возможно, быстрее.

Среди других заметных улучшений: новый валидатор форм для проверки действительных адресов электронной почты, новый интерфейс ParamMap для параметров URL в модуле HTTP-маршрутизации, улучшенная поддержка интер-

нализации и т.д.

### **Angular 5**

Выпущенный 1 ноября 2017 года Angular 5 включает поддержку TypeScript 2.3, еще один небольшой набор критических изменений, множество улучшений производительности и стабильности и несколько новых функций, таких как:

- Новый HTTP клиентский API. Начиная с Angular 4.3, модуль `@angular/http` был отложен в пользу нового пакета `@angular/common/http` с улучшенной поддержкой JSON, перехватчиками и неизменяемыми объектами запроса/ответа и другими вещами. Переключение было завершено в Angular 5, при этом предыдущий модуль устарел, а новый рекомендован для использования во всех приложениях.

- API передачи состояния. Новая функция, позволяющая передавать состояние приложения между сервером и клиентом.

- Новый набор событий маршрутизатора для более детального контроля над жизненным циклом HTTP: `ActivationStart`, `ActivationEnd`, `ChildActivationStart`, `ChildActivationEnd`, `GuardsCheckStart`, `GuardsCheckEnd`, `ResolveStart` и `ResolveEnd`.

Ноябрь 2017 года также стал месяцем выпуска моей книги по ASP.NET Core 2 и Angular 5, в которой рассказывается о большинстве вышеупомянутых улучшений.

### **Angular 6**

Выпущенный в апреле 2018 года Angular 6 был в основном служебным выпуском, больше ориентированным на улучшение общей согласованности фреймворка и его набора инструментов, чем на добавление новых функций. Так что кардинальных изменений не было. Поддержка RxJS 6, новый способ регистрации провайдеров, новый инъекционный декоратор, улучшенная поддержка Angular Material (компонент, специально созданный для реализации материального дизайна в пользовательском интерфейсе на стороне клиента Angular), дополнительные команды/обновления CLI и так далее.

### **Angular 7**

Angular 7 вышел в октябре 2018 года, и это определенно было серьезное обновление, как мы можем легко догадаться, прочитав слова, написанные Стивеном Флуином - руководителем отдела по связям с разработчиками в Google и известным представителем Angular – в официальном блоге разработчиков Angular после официального выпуска:

«Это основной выпуск, охватывающий всю платформу, включая базовую структуру, Angular Material и CLI с синхронизированными основными версиями. Этот выпуск содержит новые функции для нашей цепочки инструментов и позволил запустить несколько крупных партнеров».

Вот список новых функций:

- Простое обновление: благодаря заделу, сделанному с версией 6, команда Angular смогла сократить шаги, необходимые для обновления существующего приложения Angular с более старой версии до самой последней. Под-

робную процедуру можно просмотреть, посетив веб-сайт <https://update.angular.io>, невероятно полезное интерактивное руководство по обновлению Angular, которое можно использовать для быстрого восстановления необходимых шагов – команд CLI, обновлений пакетов и т.д. – которые необходимо выполнить. сделано для обновления существующего приложения Angular с более старой версии Angular до самой последней.

- Подсказки CLI: интерфейс командной строки Angular был изменен, чтобы предлагать пользователям, как при выполнении общих команд, таких как `ng new` или `ng add @angular/material`, чтобы помочь разработчикам обнаружить встроенные функции, такие как маршрутизация, поддержка SCSS и так далее.

- Angular Material & CDK: дополнительные элементы пользовательского интерфейса, такие как: виртуальная прокрутка, компонент, который загружает и выгружает элементы из DOM на основе видимых частей списка, что позволяет создавать очень быстрые возможности для пользователей с очень большими прокручиваемыми списками; CDK-родная поддержка перетаскивания; улучшенные элементы выпадающего списка; и больше.

- Партнерские запуски: Улучшена совместимость с рядом сторонних проектов сообщества, таких как: Angular Console, загружаемая консоль для запуска и запуска проектов Angular на вашем локальном компьютере; AngularFire, официальный пакет Angular для интеграции с Firebase; Angular для NativeScript, интеграция между Angular и NativeScript – фреймворк для создания нативных приложений для iOS и Android с использованием JavaScript и/или клиентских фреймворков на основе JS; некоторые интересные новые специфичные для Angular функции для StackBlitz, онлайн-среды IDE, которую можно использовать для создания проектов Angular и React, таких как редактор с вкладками и интеграция с языковой службой Angular и так далее.

- Обновленные зависимости: добавлена поддержка TypeScript 3.1, RxJS 6.3 и Node 10, хотя предыдущие версии все еще можно использовать для обратной совместимости.

### **Angular 8**

Angular 8, который был выпущен 29 мая 2019 года и на данный момент является самой последней версией. Новый выпуск в основном посвящен Ivy, долгожданному новому компилятору/среде выполнения Angular: несмотря на то, что он является текущим проектом со времен Angular 5, версия 8 является первой, которая официально предлагает переключатель времени выполнения для фактического согласия на использование Ivy, что возможно, станет средой выполнения по умолчанию, начиная с Angular 9.

Чтобы включить Ivy, просто добавьте `enableIvy: true` свойство в `angularCompilerOptions` раздел в файле `tsconfig.json` приложения. Мы поговорим об этом подробнее в следующих главах, когда мы фактически выполним переключение, чтобы увидеть, как наш код будет работать с новым компилятором/средой выполнения.

Другие заметные улучшения и новые функции включают в себя:

- Поддержка Bazel: Angular 8 поддерживает Bazel, бесплатный программный инструмент, разработанный и используемый Google для автоматизации создания и тестирования программного обеспечения: он может быть очень полезен для разработчиков, стремящихся автоматизировать конвейер доставки, поскольку позволяет выполнять инкрементную сборку и тестирование и даже возможность настройки удаленных сборок (и кэширования) на сборочной ферме.

- Маршрутизация: маршрутизатор Angular теперь принимает новый синтаксис для объявления маршрутов с отложенной загрузкой, используя синтаксис `import()` из TypeScript 2.4+ вместо того, чтобы полагаться на строковый литерал: старый синтаксис был сохранен для обратной совместимости, но возможно скоро упадет.

- Рабочие службы: введена новая стратегия регистрации, позволяющая разработчикам выбирать, когда регистрировать своих рабочих, а не делать это автоматически в конце жизненного цикла запуска приложения; также возможно обойти сервисного работника для определенного HTTP-запроса, используя новый `ngsw-bypass` заголовок.

- API рабочей области. Новый и более удобный способ чтения и изменения конфигурации рабочей области Angular вместо ручного изменения `angular.json` файла.

В разработке на стороне клиента сервис-воркер – это сценарий, который браузер запускает в фоновом режиме для выполнения любых действий, не требующих ни пользовательского интерфейса, никакого-либо взаимодействия с пользователем.

В новой версии также были внесены некоторые заметные критические изменения – в основном из-за Ivy – и удалены некоторые давно устаревшие пакеты, такие как `@angular/http`, который был заменен на `@angular/common/http` начиная с Angular 4.3, а затем официально объявлен устаревшим в 5.0.

#### **SPA приложение**

Цель SPA (Single Page Application) – сделать приложения пригодными для использования практически на любом устройстве.

В настоящее время каждое устройство (настольный компьютер, ноутбук или мобильное устройство) под управлением Windows, Linux, Android или IOS включает браузер, с помощью которого пользователь может просматривать веб-страницы. При развертывании современных бизнес-приложений не лучше ли использовать этот браузер в качестве клиента? Вместо того, чтобы развертывать толстые клиентские программы на устройстве каждого пользователя? Принимая во внимание разнообразие поддерживаемых аппаратных платформ и операционных систем, а также другие соображения безопасности? Очевидно, ответ «ДА». Кроме того, это особенно верно для приложений SaaS, которые должны работать на как можно большем количестве платформ.

Но, с точки зрения конечного пользователя, просмотр веб-страниц или использование бизнес-приложений – это два совершенно разных опыта.

- Веб-серфинг подразумевает переход с одной веб-страницы на другую, с одного контента на другой, где пользователь может ощущать последовательные полные обновления страниц, не расстраиваясь.

- Однако использование бизнес-приложения требует гораздо большей гибкости и быстрой интерактивности. Как правило, в традиционном бизнес-приложении действия пользователя не подразумевают полного обновления страницы приложения. Пользователь чувствует, что он остается в пределах одной среды приложения.

Одностраничное приложение (SPA) – это веб-приложение, состоящее из одной HTML-страницы. Вместо обновления всей страницы после каждого взаимодействия с пользователем, как в случае традиционного многостраничного приложения (MPA), только данные, которые должны быть обновлены, запускают частичное обновление.

Например, когда вы просматриваете электронную почту Google, вы не замечаете существенных изменений во время навигации. Боковая панель и заголовок остаются нетронутыми, когда вы просматриваете свой почтовый ящик.

И это ключ к тому, чтобы дать пользователю представление о том, что он использует бизнес-приложение. Пользователь остается в этом гибком и очень интерактивном интерфейсе.

И SPA, и MPA основаны на протоколе HTTP.

В традиционной архитектуре MPA клиент/сервер каждый щелчок пользователя запускает HTTP-запрос к серверу. Результатом этого нового запроса является полное обновление страницы, даже если часть содержимого остается прежней, что можно увидеть на рисунке 4 [5].

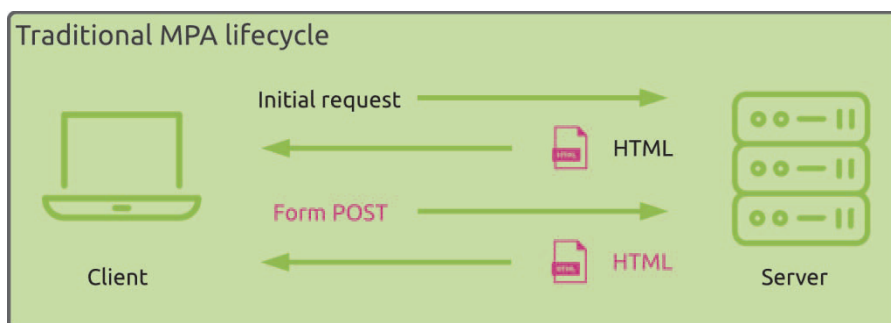


Рисунок 4 – Жизненный цикл MPA-приложения

С другой стороны, ядро SPA основано на Ajax, наборе методов разработки, которые позволяют клиенту отправлять и получать данные с сервера асинхронно (в фоновом режиме), не мешая отображению и поведению веб-страницы. Ajax позволяет веб-страницам и, соответственно, веб-приложениям динамически изменять содержимое без необходимости перезагрузки всей страницы.

Чтобы это произошло, SPA сильно зависит от сценариев JavaScript, которые запускаются в браузере клиента. Фреймворки JavaScript, такие как React, Vue, Angular и Ember, несут ответственность за обработку тяжелой работы на



стороне клиента.

### **Заключение**

Несмотря на некоторые проблемы, упомянутые выше, внедрение архитектуры SPA, по-видимому, является способом удовлетворить некоторые из основных требований, предъявляемых к современным бизнес-приложениям, а именно:

- Обеспечение плавного взаимодействия с пользователем.
- Быстрый процесс разработки.
- Гибкий дизайн для быстрой адаптации к новым требованиям пользователей.
- Поддержка любого устройства, любой операционной системы.
- Гарантия хорошего взаимодействия с пользователем в условиях медленной сети.

Эта архитектура особенно подходит для приложений SaaS.

С другой стороны, мониторинг производительности таких приложений является сложной задачей, поскольку архитектура SPA выдвигает большую часть логики приложения на периферию. Мониторинг производительности SPA требует мониторинга не только производительности клиентских устройств, но и всех вызовов API, выполняемых к серверным службам (которые могут быть вашими или размещаться у третьих сторон и могут включать другие типы связи, такие как разрешение DNS и подключения к CDN). Другими словами, мониторинг такой среды требует полной видимости устройств конечных пользователей (типы устройств, ОС, браузер и т.д.), местонахождения конечных пользователей и производительности сетевого подключения, вызовов API (идентификация запрошенных сторонних служб, связанных с ними характеристик, а также статус завершения).

### *Литература*

1. Мациевский Н. Разгони свой сайт. Методы клиентской оптимизации веб-страниц. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 254 с.
2. Мациевский Н.С. Реактивные веб-сайты. Клиентская оптимизация в алгоритмах и примерах: учебное пособие. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 336 с.
3. Миковски Майкл С., Разработка одностраничных веб-приложений. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 152 с.
4. Флэнаган Д. Javascript. Подробное руководство. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. 124 с.
5. Сообщество IT-специалистов HTML и CSS [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/> (дата обращения: 13.01.2022).

УДК 004.94

### **Проектирование компонентов медицинской информационной системы с помощью средства моделирования Visual Paradigm**

**Н.В. Логачева**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационных технологий и управляющих систем»,

**К.А. Сюсин**, студент 2 курса магистратуры  
кафедры «Информационных технологий и управляющих систем»

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*Важным этапом процесса проектирования, определяющим функционал и эффективность будущего продукта, является анализ совокупности процессов, которые подлежат автоматизации в рамках будущей системы. На этапе анализа представляется необходимым использование такой методики исследования предметной области, которая бы наилучшим образом позволила, в рамках единого формального описания, создать модели для идентификации и исследования всей совокупности информационных процессов в рамках системного подхода для дальнейшего анализа массива статистических данных. В статье рассмотрен процесс проектирования компонентов подсистемы в рамках разработки медицинской информационной системы с использованием CASE-средства визуального проектирования Visual Paradigm.*

Проектирование, информационная система, медицинская информационная система, CASE средства.

### **Designing Health Information System Components Using the Visual Paradigm Modeler**

**N.V. Logacheva**, Phd, associate professor of the Department of Information technology and system management,

**K.A. Syusin**, 2<sup>nd</sup> year graduate student of the Department of Information technology and system management,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*An important stage in the design process that determines the functionality and efficiency of the future product is the analysis of the set of processes that are subject to automation within the framework of the future system. At the stage of analysis, it seems necessary to use such a methodology for researching the subject area, which would best allow, within the framework of a single formal description, to create models for identifying and researching the entire set of information processes within the framework of a systematic approach for further analysis of the array of statistical data. The*

*article discusses the design process of subsystem components in the development of a medical information system using the CASE visual design tool Visual Paradigm.*

Data analysis, Medical statistics, Medical information systems, Data-driven, Design, CASE designer.

Список используемых сокращений

МИС – Медицинская информационная система

ООП – Объектно-ориентированный подход

НУРА – Непрерывный учет результатов анализов

RTE – Round-trip engineering

В наши дни нередко возникает необходимость создания сложных информационных систем.

Важным этапом процесса проектирования, определяющим функционал и эффективность будущего продукта, является анализ совокупности процессов, которые подлежат автоматизации в рамках будущей системы. На этапе анализа представляется необходимым использование такой методики исследования предметной области, которая бы наилучшим образом позволила, в рамках единого формального описания, создать модели для идентификации и исследования всей совокупности информационных процессов в рамках системного подхода. Особую важность приобретает решение задачи построения модели данных, эффективной с точки зрения последующего анализа для выработки правильных решений. Современные технологии, использующие data driving подход, повышают требования к формированию полного набора данных, участвующих в процессе анализа.

Для того чтобы избежать возникновения лишних неопределённостей, учесть выявленные и не выявленные на этапе проектирования и последующей реализации ИС ошибки, и другие факторы, которые могут оказать влияние на процесс разработки, необходимо внимательно проанализировать каждый из совокупности определяющих процессов. В значительной степени решению этих задач способствует использование аппарата имитационного моделирования на этапе формирования требований к разрабатываемой системе для уточнения влияния стохастических процессов, имеющих место в формировании банков данных, для уточнения моделей проектируемых ИС, включающих модули поддержки принятия управленческих решений.

Таким образом, применение методик системного анализа на предварительных этапах проектирования, в конечном итоге, могут оказать существенное влияние как на процесс разработки, вплоть до необходимости внесения радикальных изменений в базовые принципы функционирования системы. Это, в отдельных случаях, может быть более трудозатратно, чем разработка новой системы «с нуля», что также приводит к рискам превышения установленных для процесса разработки системы пределов – как по времени, так и по финансам.

Всё это порождает необходимость не только письменного представления процессов и т. д., но и визуализации формализованного отображения тех аспектов, которые напрямую задействуются в разработке – речь, в первую очередь, о представлении компонентов разрабатываемой системы.

В ходе данной работы рассматривается аспект проектирования компонентов в рамках проекта разработки МИС. На примере представления подсистемы непрерывного учета результатов анализов (в дальнейшем – НУРА) продемонстрирована работа со средством визуального моделирования – Visual Paradigm, реализующим в себе различные подходы к моделированию, включая все представления с использованием языка графического описания – UML. В целях уточнения взаимного влияния организационно-управленческих процессов в типовой лечебной организации, использован системно-динамический подход для создания имитационной модели формирования необходимых массивов данных в рамках проектируемого модуля МИС.

Данная методика позволяет провести анализ влияния объемов назначений на исследования, соответствующих популяциям пациентов, относительно различных протоколов с учетом разделения общей популяции населения на активных и потенциальных пациентов. Тестовая наглядная модель построена в ПО AnyLogic (версии AnyLogic 8 Personal Learning Edition 8.7.8), поддерживающим классический метод имитационного моделирования – системную динамику, и использует универсальный язык задания динамических моделей с помощью потоков, накопителей и других объектов. В представленной ниже (рис. 1) имитационной модели показано, как изменяется интенсивность выполненной работы (измеряется количеством записей в банке данных анализов) при заданных нормах числа активных пациентов на одного специалиста и значений вероятности повторного назначения проведения исследований (разными специалистами).

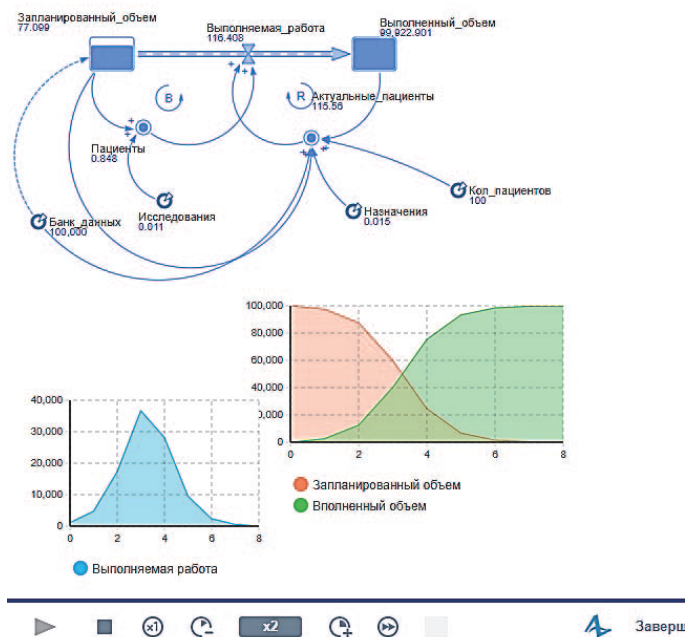


Рисунок 1 – Имитационная системно-динамическая модель формирования банка данных о назначениях на исследования пациентов

Очевидно, что результаты графика подтверждают достоверность модели, поскольку соответствуют очевидному выводу: с течением времени доля потенциальных пациентов стремится к нулю при постоянной популяции, для актуальных пациентов (тех, для которых создаются записи банка данных, соответствующие уникальным исследованиям) – изменяется колоколообразно. Данная модель может быть усовершенствована и использована, с учетом развития представлений о проектируемой системе, для уточнения параметров технического задания.

В данной работе рассматривается проектирование компонентов подсистемы непрерывного учета результатов анализа в МИС. Данное представление наиболее полно и корректно реализуется в рамках объектно-ориентированного подхода, так как именно ООП является наиболее общим решением задачи обеспечения управления медицинским учреждением в рамках Data-Driven подхода проектируемой МИС.

В основе методики лежит выделение объектов, описываемых системой, рассмотренных на примере подсистемы НУРА.

Исходя из постановки задачи и сформированного ТЗ, детализируя подсистему НУРА, можно выделить следующие объекты для дальнейшего формирования диаграммы вариантов использования и диаграмм активности, которые станут необходимым минимумом представления компонентов системы на логическо-последовательном уровне:

- Пользователи
  - Медицинский специалист
- Варианты использования
  - Войти в систему
  - Выбрать пациента
  - Выбрать карту анализов
  - Получить результаты
  - Отправить результаты
  - CRUD данных анализов
  - Закрыть карту анализов

На уровне взаимодействия, основным действующим лицом является медицинский специалист. Так как имеется необходимость входа в систему для обеспечения разграничения доступа, медицинский специалист имеет абстрактное представление «Пользователь». Таким образом, при возникновении новых ролей в системе, все они также будут осуществлять процедуру входа как конкретные экземпляры «Пользователя».

Вариант использования «Войти в систему» не соответствует явной цели действующего лица, описывая функциональные требования к системе по обеспечению защиты данных. Системе необходимо понимать, какую роль пользователь по отношению к ней выполняет, так как спектр возможностей разных пользователей может отличаться, соответственно, будет отличаться и представляемый доступ к набору функций. Такой вариант использования можно представить как «уровень моря», что будет показано позднее.

Остальные же варианты использования можно будет представить как «уровень рыбы», считая их соответствующими подфункциями.

В данной работе для проектирования компонентов МИС используется условно-бесплатная версия ПО Visual Paradigm – Community Edition версии 16.3, имеющая все возможности для построения моделей проекта в парадигме UML.

Ниже представлено описание действий по созданию проекта в среде Visual Paradigm, которое может быть дополнительно использовано как методическое пособие в рамках подготовки студентов при изучении дисциплин, направленных на приобретение навыков в моделировании информационных процессов и проектировании ИС.

В качестве первого шага необходимо создать проект, как это показано на рисунке 2.

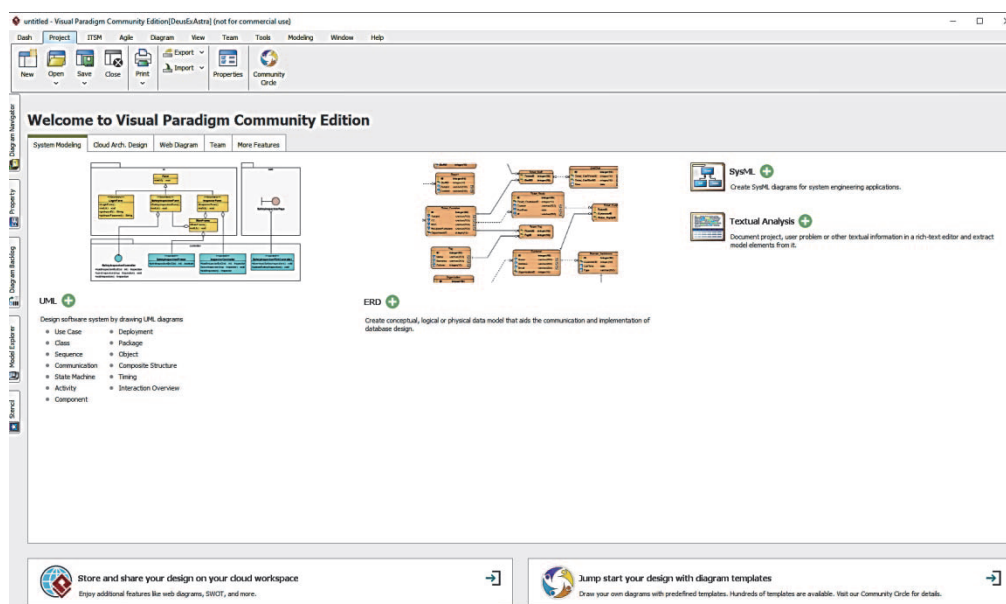


Рисунок 2 – Создание нового проекта

Согласно перечню представленных выше объектов и их описанию, итоговая диаграмма вариантов использования будет выглядеть так, как представлено на рисунке 3.

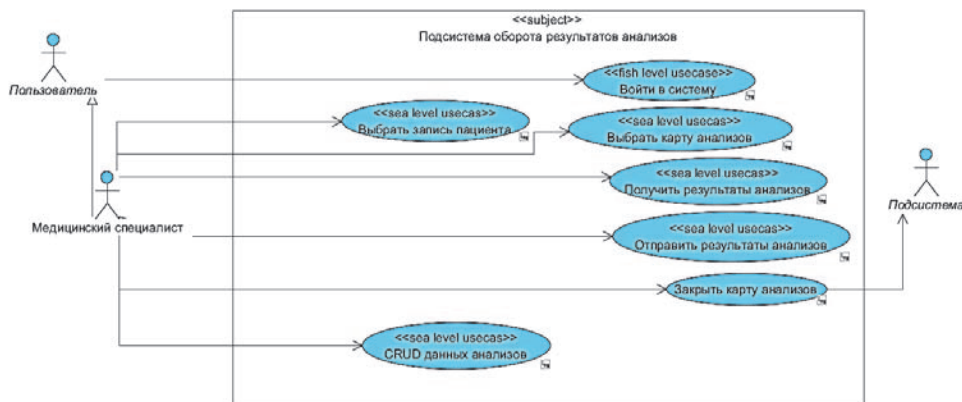


Рисунок 3 – Диаграмма вариантов использования

Далее необходимо описать компоненты на уровне действий, для этого подойдёт диаграмма деятельности.

На рисунках 4-10 представлены диаграммы деятельности для каждого из вариантов использования, созданные в ходе работы. Основные задействованные элементы – Swimlane, узел начала активности, узел завершения активности, логическое объединение, выбор, блоки действий. Всё это позволяет описать любой из вариантов использования в представлении действий.

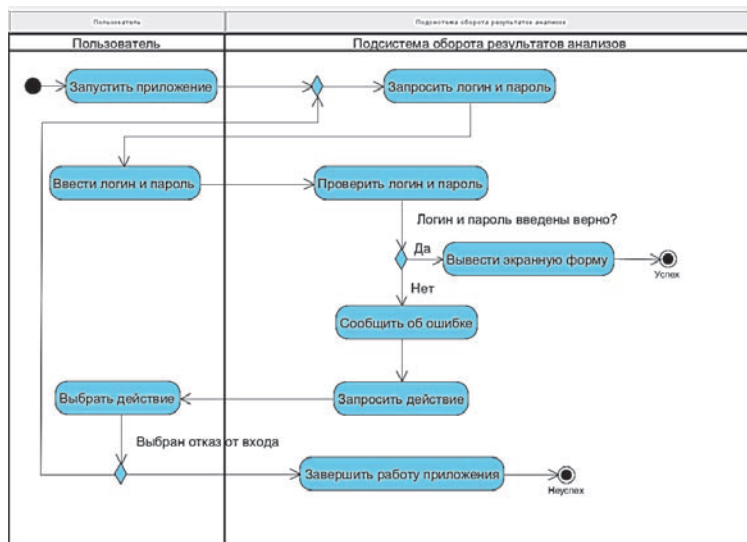


Рисунок 4 – Диаграмма деятельности для варианта использования «Войти в систему»

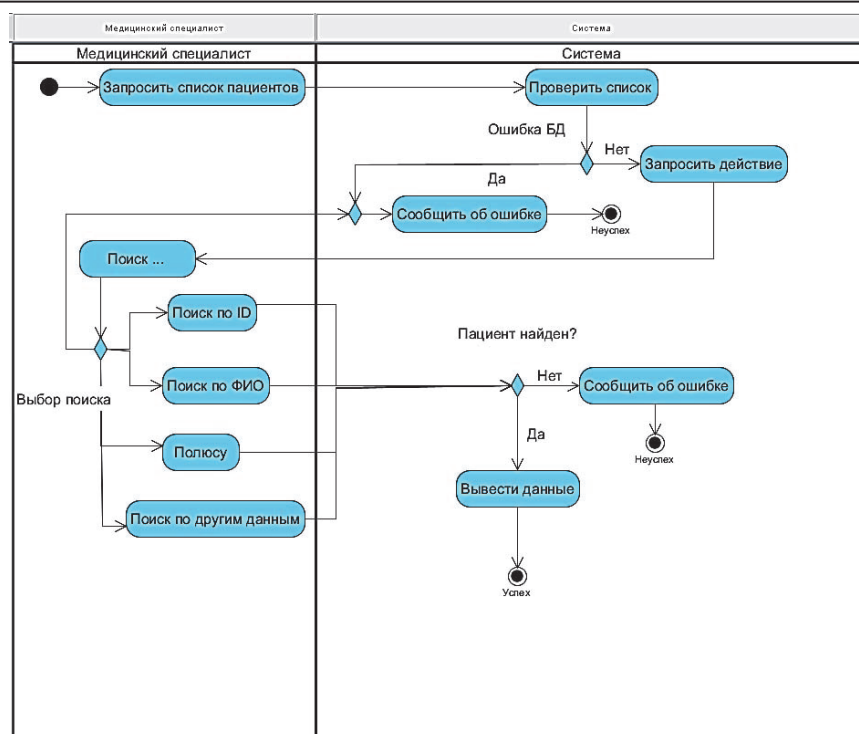


Рисунок 5 – Диаграмм деятельности для варианта использования «Выбрать запись пациента»

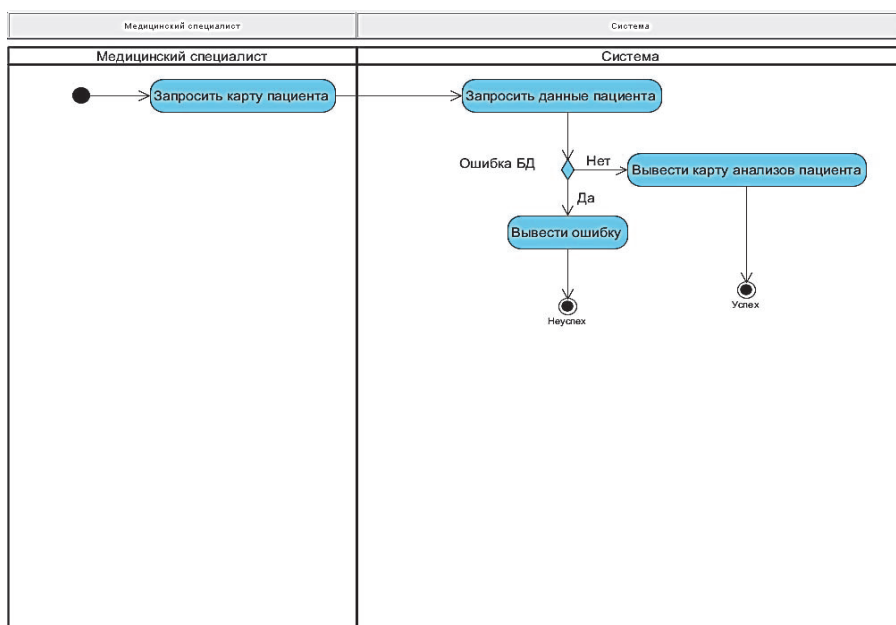


Рисунок 6 – Диаграмма деятельности варианта использования «Выбрать карту анализов»



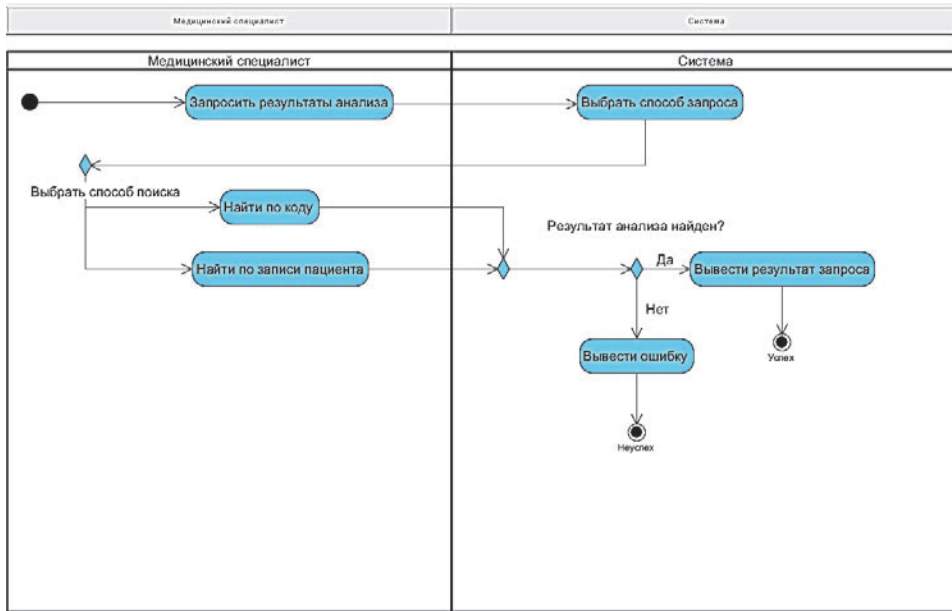


Рисунок 7 – Диаграмма деятельности варианта использования «Получить результаты»

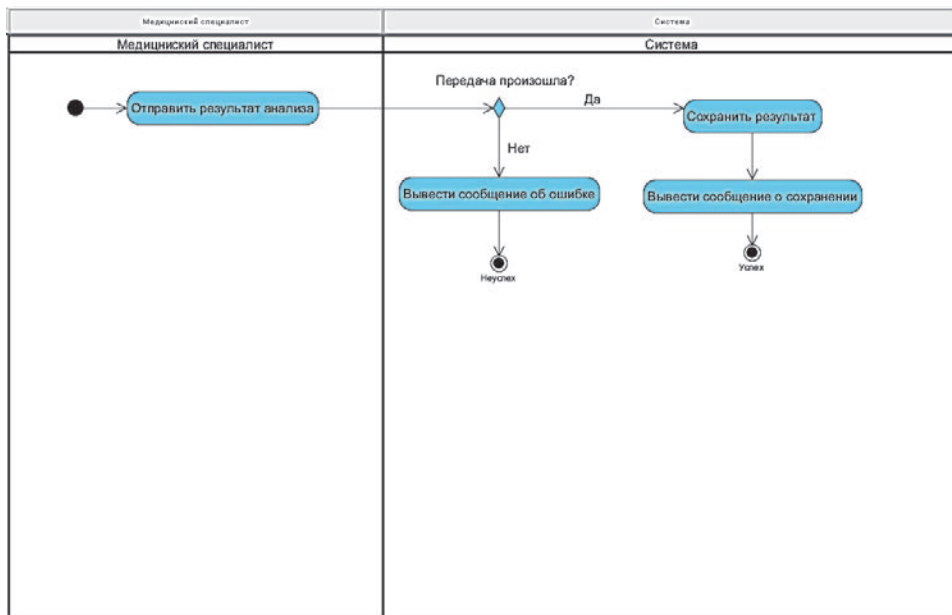


Рисунок 8 – Диаграмма деятельности варианта использования «Отправить результаты анализов»

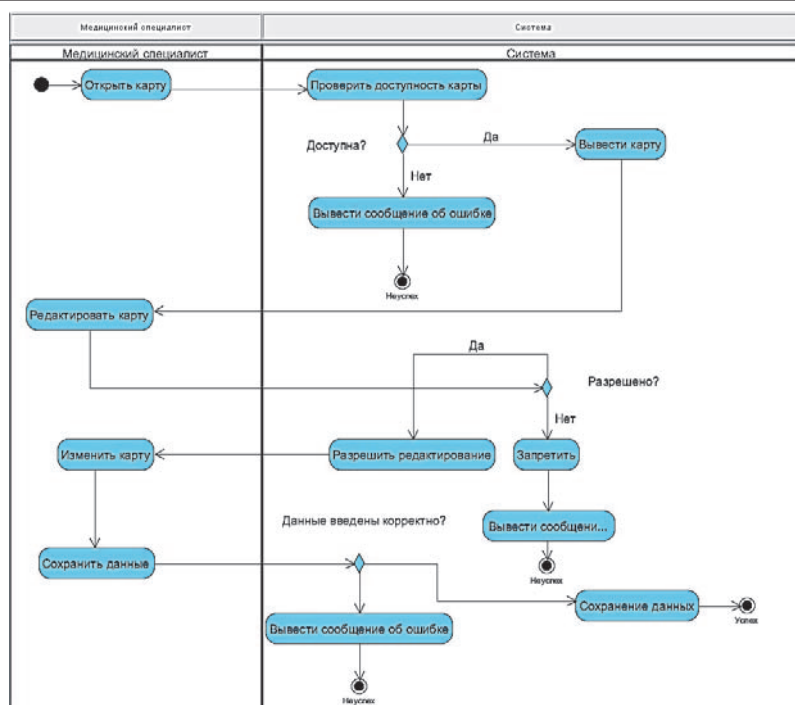


Рисунок 9 – Диаграмма деятельности варианта использования «CRUD данных анализов»

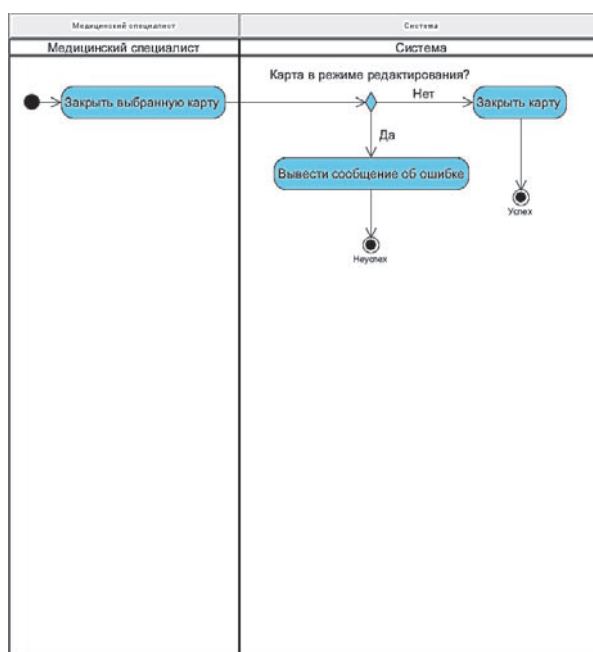


Рисунок 10 – Диаграмма деятельности варианта использования «Закреть карту анализов»

В данной работе предложен перспективный подход к проектированию ИС, включающий сочетание методик имитационного моделирования в рамках системно-динамического подхода для уточнения параметров технического задания и методики объектно-ориентированного моделирования с использованием нотаций языка UML. Данный подход позволяет глубже анализировать задачи предметной области для проектирования ИС, в которых предполагаются большие объемы информационных обменов, наличие стохастических данных, затрудняющих формирование эффективных методик поддержки принятия решений.

На примере проектирования компонентов подсистемы в рамках разрабатываемой МИС был рассмотрен процесс формализованного представления компонентов в рамках ООП.

#### *Литература*

1. Руководство по Visual Paradigm [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.visual-paradigm.com/tutorials/>.
2. Вайсфельд М. Объектно-ориентированный подход. 5-е межд. изд. СПб.: Питер, 2020. 256 с.: ил. (Серия «Библиотека программиста»).
3. Ларман К. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования. Практическое руководство. 3-е издание: пер. с англ. М.: ООО «Вильямс», 2013. 736 с.: ил. Парал. тит. Англ.
4. Гома Х. UML. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений: Пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 704 с.: ил. (Серия «Объектно ориентированные технологии в программировании»).
5. Назаров С.В. Архитектура и проектирование программных систем: монография, 2-е издание, перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2016. 374 с.

УДК 681.52.8

**Оценка живучести сложной военно-технической системы с учетом ведения противником космической разведки и рационального способа смены позиций**

**В.П. Афонин**, кандидат технических наук, профессор,  
**И.Н. Сыкеева**, кандидат педагогических наук, преподаватель,  
Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение  
высшего образования «Военная академия Ракетных войск стратегического  
назначения имени Петра Великого»  
Министерства обороны Российской Федерации  
(филиал ФГКВОУ ВО «ВА РВСН» в г. Серпухове), г. Серпухов

*Завуализированные американские программы шпионажа «открытого неба» с беспрепятственным доступом в воздушное пространство стран способствовали ответному наращиванию Россией средств разведки и размещению разведывательных возможностей в космосе.*

*Поддержание привлеченных сил и средств как единой системы космической разведки в высокой степени боевой готовности зависит от наличия конструктивного понимания со стороны специалистов в выработке в мирное время концепции запланированной деятельности в решении штатных вопросов, с максимальным учетом всех конструктивных особенностей военных объектов наземных систем.*

*Необходимо учитывать, что в 21 веке реальной независимостью обладают только те государства, которые создают и используют высокие технологии мощной фундаментальной прикладной науки.*

*В связи с этим авторами предлагается математическая модель оценки живучести сложной военно-технической системы (СВТС) с учетом ведения противником космической разведки и рационального способа смены позиций, которые занимают СВТС случайным образом в процессе несения боевого дежурства в полевом районе.*

Военно-техническая система, позиционный район, космическая разведка, стратегическая информация, законы распределения.

**Assessment of the survivability of a complex military-technical system, taking into account the enemy of space exploration and a rational way to change positions**

**V.P. Afonin**, candidate of technical sciences, professor,  
**I.N. Sykeeva**, candidate of pedagogical sciences, teacher,  
Federal State state-owned Military Educational Institution of Higher Education  
«Military Academy of Strategic Missile Forces named after Peter the Great»  
of the Ministry of Defense of the Russian Federation  
(branch of FGKVOU VO «VA RVSН» in Serpukhov), Serpukhov

*The veiled American «open sky» espionage programs with unhindered access to the airspace of the countries contributed to Russia's retaliatory buildup of intelligence assets and the deployment of intelligence capabilities in space.*

*Maintaining the attracted forces and means as a unified space intelligence system in a high degree of combat readiness depends on the availability of a constructive understanding on the part of specialists in developing in peacetime the concept of planned activities in solving staff issues, with maximum consideration of all design features of military facilities of ground systems.*

*It should be borne in mind that in the 21st century, only those states that create and use high technologies of powerful fundamental applied science have real independence.*

*In this regard, the authors propose a mathematical model for assessing the survivability of a complex military-technical system (SVTS), taking into account the conduct of space reconnaissance by the enemy and a rational way of changing positions, which.*

Military-technical system, positional area, space intelligence, strategic information, distribution laws.

Технические нововведения в военном деле ракетчика выступают средством решения многих стратегических задач на любых театрах военных действий. Готовность к пуску различных типов ракетных комплексов со стартовой позиции за один залп – это самое главное в наращивании мощи первого удара на большую дальность ракетно-ядерного оружия. Оперативная разведка обстановки на огромной территории, выявление определенных признаков по развязыванию или началу военных действий, обеспечение исполнительной власти РФ информацией, сведение к минимуму угроз – одна из составляющих задач ВС РФ.

Космическая разведка выступает не только побочным продуктом освоения околоземного космического пространства, но и средством контроля за выполнением принятых международных договоров и соглашений об ограничении ядерных вооружений [4], а целью военной разведки в мирное время – «глазами» сложной технической системы по раннему и точному определению (в короткие сроки) пространственного положения (координат) тех или иных скрытых стратегических объектов (межконтинентальных ракет, пусковых установок, кораблей, предприятий и т.д.) относительно земной поверхности.

На основании данного определения авторами предлагается рассмотреть вероятностные модели математической оценки живучести сложных военно-технических систем с учетом ведения противником космической разведки и рационального способа смены позиций СВТС.

*Постановка задачи:* Пусть сложная военно-техническая система (СВТС) осуществляет дежурство на  $n$ -позициях в некотором позиционном районе (ПР).

При этом известны:

- время гарантийного срока эксплуатации объекта  $T_3$ ;

- доля времени нахождения СВТС на дежурстве в полевых условиях  $\beta$ - (на ПУБСП, ПБСП);
- средний располагаемый ходовой ресурс СВТС  $L$ ;
- средняя скорость движения СВТС на маршрутах между позициями в  $PRV_{cp}$ .

Противник осуществляет космическую разведку над ПР с СВТС. При этом известны:

- периодичность пролета космического(их) аппарата(ов) (КА) над  $j$ -ой СВТС  $\tau$  (интервал времени в сутках, часах и т.д.);
- вероятность обнаружения  $j$ -ой СВТС при однократном (за один пролет) пролете  $КАP_o$ .

На основании изложенного необходимо:

I. Оценить эффективность космической разведки противника, т.е. вероятность обнаружения  $j$ -ой СВТС за время её стоянки на  $i$ -й ( $i = \overline{1, n}$ ) позиции  $P_{обн}$ .

II. Исследовать влияние вида закона распределения времени стоянки  $j$ -й СВТС на позициях  $t_{ст}$  на вероятность обнаружения при известных  $T_3, \beta, L, V_{ст}$  и получить рекомендации по снижению эффективности космической разведки противника.

III. Получить математические зависимости по оценке живучести СВТС с учетом ведения противником космической разведки.

*При этом необходимо рассмотреть алгоритмы решения поставленных задач:*

1. Определяется общее время стоянки  $j$ -й СВТС на позициях ПУБСП, ПБСП за время  $T_3$ :

$$T_{ст} = T_3\beta - T_{движ} = T_3\beta - \frac{L}{V_{ст}}, \quad (1)$$

где  $T_{движ}$  – время движения СВТС за период  $T_3$ .

2. Тогда время однократного пребывания СВТС на  $i$ -й позиции  $\bar{t}_{ст}$  будет равно:

$$\bar{t}_{ст} = \frac{T_{ст}}{m}, \quad (2)$$

где  $m$  – число циклов смен позиций СВТС за время  $T_3$ .

В свою очередь:

$$m = \frac{L}{\ell_{cp}}, \quad (3)$$

где  $\ell_{cp}$  – среднее расстояние между позициями в ПР, которое определяется из выражения [1]:

$$\ell_{cp} = \frac{2 \sum \ell_{ik}}{n(n-1)}, \quad (4)$$

где  $\ell_{ik}$  – расстояние между  $i$ -й и  $k$ -й позициями в ПР;

$n$  – число используемых позиций СВТС за  $T_{ст}$ .

3. С учетом зависимостей (формулы 1-4) среднее время стоянки СВТС на  $i$ -й позиции может быть определено по формуле:

$$\bar{t}_{\text{CT}} = \frac{T_{\text{CT}}}{m} = \frac{T_3\beta - \frac{L}{V_{\text{CP}}}}{m}. \quad (5)$$

4. Количество наблюдений единичной СВТС космическими средствами противника за время  $\bar{t}_{\text{CT}}$  равно  $\frac{\bar{t}_{\text{CT}}}{\tau}$ , тогда вероятность хотя бы одного её обнаружения за  $\bar{t}_{\text{CT}}$  определится как:

$$P_{\text{ОБН}} = 1 - (1 - P_0)^{\frac{\bar{t}_{\text{CT}}}{\tau}} = 1 - (1 - P_0)^{\frac{T_3\beta - \frac{L}{V_{\text{CP}}}}{m\tau}} \quad (6)$$

Ввиду того, что  $\bar{t}_{\text{CT}}$  – случайная величина, появляется несколько задач:

А) Каким образом учесть при определении  $P_{\text{ОБН}}$  закон распределения времени стоянки  $t_{\text{CT}}$  СВТС на позиции?

Б) По какому закону распределения необходимо изменить данное время таким образом, чтобы вероятность обнаружения единичной СВТС была наименьшей при  $t_{\text{CT}} = \text{const}$  (т.е. выполнялось условие ограничения на моторесурс)?

Так как  $t_{\text{CT}}$  – случайная величина, то формула (6) выражает условную вероятность обнаружения СВТС на позиции, вычисленную при условии, что  $t_{\text{CT}} = \bar{t}_{\text{CT}}$  и  $P_{\text{УСЛ}} = P_{\text{ОБН}}$ .

Тогда полная вероятность обнаружения СВТС на позиции определится по формуле [1,2]:

$$P_{\text{ОБНП}} = \int_0^{\infty} P_{\text{УСЛ}} f(t_{\text{CT}}) dt_{\text{CT}} = \int_0^{\infty} \left[ 1 - (1 - P_0)^{\frac{t_{\text{CT}}}{\tau}} \right] f(t_{\text{CT}}) dt_{\text{CT}} \quad (7)$$

где  $f(t_{\text{CT}})$  – плотность распределения времени стоянки СВТС на позиции.

Целесообразно сравнить для исследования некоторые, существенно отличающиеся друг от друга, законы распределения: *равномерный; экспоненциальный; нормальный.*

1. *Равномерный закон распределения:*

$$f(t_{\text{CT}}) = \frac{1}{b - a}.$$

Для него

$$\begin{aligned} P_{\text{ОБНП}} &= \int_b^a \left[ 1 - (1 - P_0)^{\frac{t_{\text{CT}}}{\tau}} \right] \frac{1}{b - a} dt_{\text{CT}} = \\ &= \int_a^b \frac{1}{b - a} dt_{\text{CT}} - \int_a^b \frac{1}{b - a} (1 - P_0)^{\frac{t_{\text{CT}}}{\tau}} dt_{\text{CT}} = \\ &= 1 - \int_a^b \frac{1}{b - a} e^{\frac{t_{\text{CT}}}{\tau} \ln(1 - P_0)} dt_{\text{CT}} = 1 - \int_a^b \frac{1}{b - a} e^{-\alpha t_{\text{CT}}} dt_{\text{CT}} = \\ &= 1 - \frac{1}{(b - a)(-\alpha)} e^{-\alpha t_{\text{CT}}} \Big|_a^b = 1 + \frac{1}{(b - a)\alpha} (e^{-\alpha b} - e^{-\alpha a}) = \\ &= 1 + \frac{1}{(b - a) \ln(1 - P_0)} (-\tau) \left[ e^{\frac{b}{\tau} \ln(1 - P_0)} - e^{\frac{a}{\tau} \ln(1 - P_0)} \right] = \end{aligned}$$

$$1 - \frac{\tau}{(b-a) \ln(1-P_0)} \left[ (1-P_0)^{\frac{b}{\tau}} - (1-P_0)^{\frac{a}{\tau}} \right], \quad (8)$$

где  $a$  и  $b$  – параметры равномерного закона распределения времени стоянки СВТС на позиции.

2. Экспоненциальный закон распределения:

$$f(t_{\text{СТ}}) = \lambda e^{-\lambda t_{\text{СТ}}}.$$

Для него

$$\begin{aligned} P_{\text{ОБНП}} &= \int_0^{\infty} \left[ 1 - (1-P_0)^{\frac{t_{\text{СТ}}}{\tau}} \right] dt_{\text{СТ}} = \int_0^{\infty} \lambda e^{-\lambda t_{\text{СТ}}} dt_{\text{СТ}} - \int_0^{\infty} \lambda e^{-\lambda t_{\text{СТ}}} (1-P_0)^{\frac{t_{\text{СТ}}}{\tau}} dt_{\text{СТ}} = \\ &= 1 - \int_0^{\infty} \lambda e^{-\lambda t_{\text{СТ}}} e^{\frac{t_{\text{СТ}}}{\tau} \ln(1-P_0)} dt_{\text{СТ}} = 1 - \int_0^{\infty} \lambda e^{-\lambda t_{\text{СТ}} + \frac{t_{\text{СТ}}}{\tau} \ln(1-P_0)} dt_{\text{СТ}} = \\ &= 1 - \int_0^{\infty} \lambda e^{-t_{\text{СТ}} \left[ \lambda - \frac{\ln(1-P_0)}{\tau} \right]} dt_{\text{СТ}} = \\ &= 1 - \frac{\lambda}{\lambda - \frac{\ln(1-P_0)}{\tau}} \int_0^{\infty} \left[ \lambda - \frac{\ln(1-P_0)}{\tau} \right] e^{-t_{\text{СТ}} \left[ \lambda - \frac{\ln(1-P_0)}{\tau} \right]} dt_{\text{СТ}} = \\ &= 1 - \frac{\lambda}{\lambda - \frac{\ln(1-P_0)}{\tau}}. \end{aligned}$$

Учитывая, что

$$t_{\text{СТ}} = \frac{1}{\lambda},$$

можно получить окончательно выражение:

$$P_{\text{ОБНП}} = \frac{1}{1 - \frac{\ln(1-P_0)}{\lambda \tau}} = \frac{1}{1 - \frac{\lambda \tau \ln(1-P_0)}{\lambda \tau}}. \quad (9)$$

3. Нормальный закон распределения:

$$f(t_{\text{СТ}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{t_{\text{СТ}}}} e^{-\frac{(t_{\text{СТ}}-m_{t_{\text{СТ}}})^2}{2\sigma_{t_{\text{СТ}}}^2}}.$$

Для него

$$\begin{aligned} P_{\text{ОБНП}} &= \int_0^{\infty} \left[ 1 - (1-P_0)^{\frac{t_{\text{СТ}}}{\tau}} \right] \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{t_{\text{СТ}}}} e^{-\frac{(t_{\text{СТ}}-m_{t_{\text{СТ}}})^2}{2\sigma_{t_{\text{СТ}}}^2}} dt_{\text{СТ}} = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{t_{\text{СТ}}}} e^{-\frac{(t_{\text{СТ}}-m_{t_{\text{СТ}}})^2}{2\sigma_{t_{\text{СТ}}}^2}} dt_{\text{СТ}} - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{t_{\text{СТ}}}} e^{-\frac{(t_{\text{СТ}}-m_{t_{\text{СТ}}})^2}{2\sigma_{t_{\text{СТ}}}^2}} e^{\frac{t_{\text{СТ}}}{\tau} \ln(1-P_0)} dt_{\text{СТ}} = \end{aligned}$$



$$1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{t_{\text{CT}}}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\left[t_{\text{CT}}^2 - 2t_{\text{CT}}m_{t_{\text{CT}}} + m_{t_{\text{CT}}}^2 - \frac{2\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}{\tau} t_{\text{CT}} \ln(1-P_0)\right]}{2\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}} dt_{\text{CT}}.$$

Необходимо отдельно рассмотреть составляющую рассматриваемого выражения:

$$\begin{aligned} t_{\text{CT}}^2 - 2t_{\text{CT}}m_{t_{\text{CT}}} + m_{t_{\text{CT}}}^2 - \frac{2\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}{\tau} \ln(1-P_0) = \\ t_{\text{CT}}^2 - 2t_{\text{CT}} \cdot \left[ m_{t_{\text{CT}}} + \frac{\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}{\tau} \ln(1-P_0) \right] + \\ \left[ m_{t_{\text{CT}}} + \frac{\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}{\tau} \ln(1-P_0) \right] - \left[ m_{t_{\text{CT}}} + \frac{\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}{\tau} \ln(1-P_0) + m_{t_{\text{CT}}}^2 \right] = \\ \left\{ t_{\text{CT}} - \left[ m_{t_{\text{CT}}} + \frac{\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}{\tau} \ln(1-P_0) \right] \right\}^2 - \left[ m_{t_{\text{CT}}} + \frac{\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}{\tau} \ln(1-P_0) \right]^2 + m_{t_{\text{CT}}}^2. \end{aligned}$$

Тогда:

$$\begin{aligned} P_{\text{ОБНП}} = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{t_{\text{CT}}}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\left\{ t_{\text{CT}} - \left[ m_{t_{\text{CT}}} + \frac{\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}{\tau} \ln(1-P_0) \right] \right\}^2 - \left[ m_{t_{\text{CT}}} + \frac{\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}{\tau} \ln(1-P_0) \right]^2 + m_{t_{\text{CT}}}^2}{2\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}} dt_{\text{CT}} = \\ 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{t_{\text{CT}}}} e^{-\frac{m_{t_{\text{CT}}}^2 - \left[ m_{t_{\text{CT}}} + \frac{\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}{\tau} \ln(1-P_0) \right]^2}{2\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\left\{ t_{\text{CT}} - \left[ m_{t_{\text{CT}}} + \frac{\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}{\tau} \ln(1-P_0) \right] \right\}^2}{2\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}} dt_{\text{CT}}. \end{aligned}$$

Обозначив через

$$x_1 = \frac{t_{\text{CT}} - \left[ m_{t_{\text{CT}}} + \frac{\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}{\tau} \ln(1-P_0) \right]}{\sqrt{2}\sigma_{t_{\text{CT}}}},$$

можно получить:

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\left\{ t_{\text{CT}} - \left[ m_{t_{\text{CT}}} + \frac{\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}{\tau} \ln(1-P_0) \right] \right\}^2}{2\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}} dt_{\text{CT}} = \sqrt{2}\sigma_{t_{\text{CT}}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-x_1^2} dx_1.$$

На основании того, что

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x} dx = \sqrt{\pi}$$

– интеграл Эйлера-Пуассона, окончательно формула будет иметь вид:

$$P_{\text{ОБНП}} = 1 - e^{-\frac{m_{t_{\text{CT}}}^2 - \left[ m_{t_{\text{CT}}} + \frac{\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}{\tau} \ln(1-P_0) \right]^2}{2\sigma_{t_{\text{CT}}}^2}} \quad (10)$$

при

$$\tau \geq -\frac{\sigma_{t_{\text{ст}}}^2}{2m_{t_{\text{ст}}}} \ln(1 - P_0),$$

где  $m_{t_{\text{ст}}}$  и  $\sigma_{t_{\text{ст}}}$  – соответственно математическое ожидание и СКО времени стоянки СВТС на позиции.

Для проведения сравнительного анализа по формулам (8)-(10) были использованы следующие исходные данные, примерно одинаковые для рассматриваемых законов распределения:

- среднее время стоянки единичного СВТС на позиции  $\bar{t}_{\text{ст}} = 15$  сут;

- параметры законов распределения:

*равномерного закона распределения*

$a = 1$  сут,

$b = 29$  сут,

$$\bar{t}_{\text{ст}} = \frac{a + b}{2} = 15 \text{ сут};$$

*нормального экспоненциального распределения*

$$\lambda = \frac{1}{t_{\text{ст}}} = \frac{1}{15} \text{ сут}^{-1};$$

$$\bar{t}_{\text{ст}} = 15 \text{ сут};$$

$$m_{t_{\text{ст}}} = \bar{t}_{\text{ст}} = 15 \text{ сут},$$

$$\sigma_{t_{\text{ст}}} = \frac{15 - 1}{3} = 4,67 \text{ сут}.$$

Кроме того, рассмотрен случай определения  $P_{\text{ОБН}}$  без учета закона распределения, т.е. по формуле (6).

Результаты расчетов при некоторых дополнительных данных ( $P_0$  и  $\tau$ , сут) представлены в виде графических зависимостей (рис. 1-4):

$$P_{\text{ОБН}\tau} = f(\tau) \text{ и } P_{\text{ОБН}P_0} = f(P_0)$$

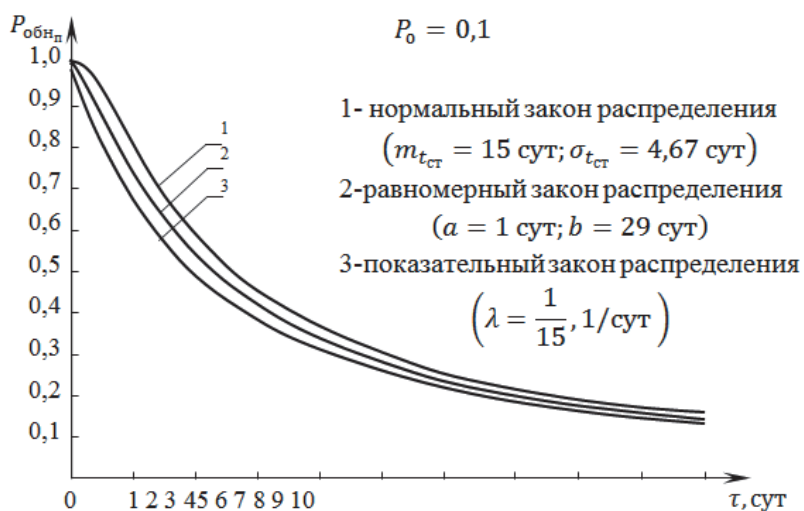


Рисунок 1 – График  $P_{обн_n} = f(\tau)$  при  $P_0 = 0,1$

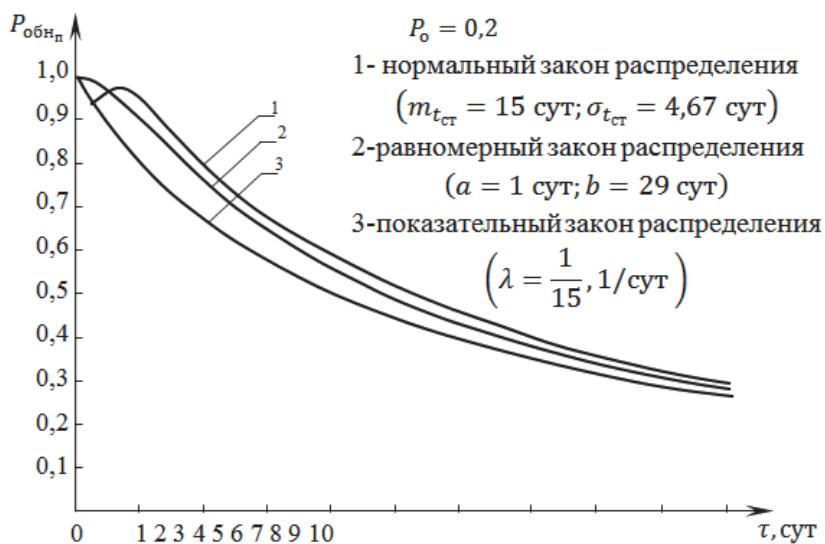


Рисунок 2 – График  $P_{обн_n} = f(\tau)$  при  $P_0 = 0,2$

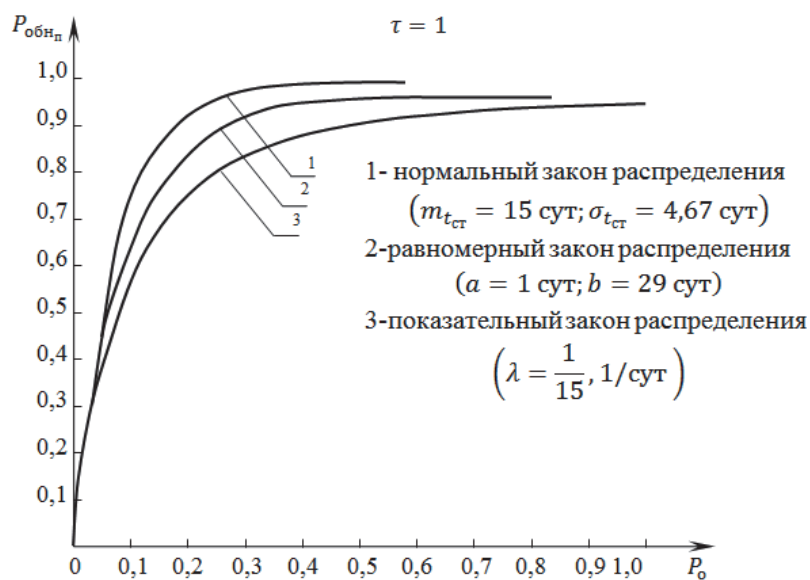


Рисунок 3 – График  $P_{обн_п} = f(P_0)$  при  $\tau = 1$

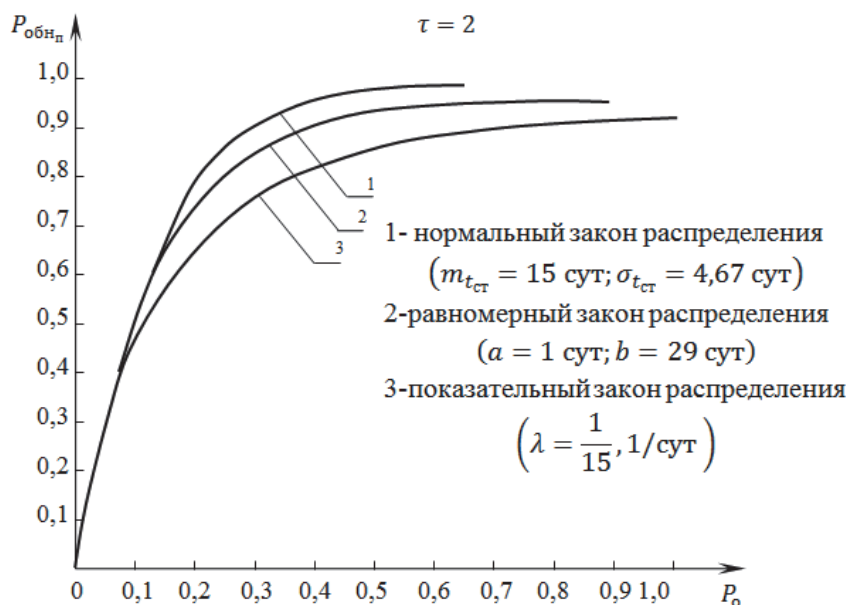


Рисунок 4 – График  $P_{обн_п} = f(P_0)$  при  $\tau = 2$

Анализ графиков позволяет сделать вывод: при любом значении  $\tau$  и различных  $P_0$  полная вероятность обнаружения СВТС на позиции  $P_{обн_п}$  будет наименьшей при экспоненциальном законе распределения времени стоянки СВТС на позиции на всех рассматриваемых диапазонах  $P_0$  и составляет на некоторых

диапазонах  $\tau$  и  $P_0$  уменьшение  $P_{\text{ОБНП}}$  на 15-20% по сравнению с самым «лучшим» до экспоненциального равномерным законом распределения.

Информация от космической разведки позволяет противнику вести прицельное нанесение ударов по обнаруженным объектам. Так как сторона  $X$  не знает, какие из СВТС противник (сторона  $Y$ ) обнаружил, а только может прогнозировать вероятность обнаружения СВТС, то существующие методы оценки эффективности стрельбы с учетом космической разведки предполагают вычисление вероятности поражения единичной СВТС по формуле [2,3]:

$$P_{\text{ПОР}_X} = P_{\text{ОБН}_X} P_{\text{Н}_Y} P_{\text{ПРО}_X} \left( 1 - e^{-\frac{R_{3Y}^2}{2\sigma_Y^2}} \right), \quad (11)$$

где  $P_{\text{Н}_Y}$  – надежность ракеты противника на старте и в полете;

$P_{\text{ПРО}_X}$  – вероятность преодоления стороной УПРО стороны  $X$ ;

$R_{3Y}$  и  $\sigma_Y$  – радиусы зоны поражения ГЧ противника и СКО точки падения ГЧ от точки прицеливания.

Анализ формулы (11) показывает, что при  $P_{\text{ОБН}_X} \approx 0$  вероятность поражения СВТС также близка к 0 и будет не более чем  $P_{\text{ОБН}_X}$ .

Однако это не совсем обосновано, ибо в «худшем» для себя случае (когда информация от КА отсутствует) противник может нанести по СВТС площадной удар, при котором [2]:

$$P_{\text{ПОР}_X} = P_{\text{Н}_Y} P_{\text{ПРО}_X} \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{ББ}}} S_{3i}}{S_{\text{ПР}}}, \quad (12)$$

где  $S_{3i}$  – площадь зоны поражения от  $i$ -го боевого блока (ББ);

$S_{\text{ПР}}$  – площадь ПР, по которому противник наносит удар.

Для исследования и правильной оценки  $P_{\text{ОБН}_X}$  – при прицельном и площадном ударах необходимо ввести событие:

$A$  – поражение единичной СВТС, а также гипотезы:

$H_1$  – СВТС обнаружен;

$H_2$  – СВТС не обнаружен.

Тогда вероятность поражения СВТС определится по формуле полной вероятности [1,2]:

$$P(A) = P(H_1)P(A/H_1) + P(H_2)P(A/H_2), \quad (13)$$

где  $P(A) = P_{\text{ПОР}_X}$ ;

$P(H_1) = P_{\text{ОБН}_X}$ ;

$P(H_2) = 1 - P_{\text{ОБН}_X}$ ;

$P(A/H_1)$  – вероятность поражения СВТС по формуле (11) без учета  $P_{\text{ОБН}_X}$ ;

$P(A/H_2)$  – вероятность поражения СВТС по формуле (12).

В связи с этим можно представить окончательную формулу для определения  $P_{\text{ПОР}_X}$  с учетом применения противником прицельного и площадного ударов по СВТС:

$$P_{\text{ПОР}_X} = P_{\text{ОБН}_X} P_{\text{НУ}} P_{\text{ПРО}_X} \left( 1 - e^{-\frac{R_{3y}^2}{2\sigma_y^2}} \right) + (1 - P_{\text{ОБН}_X}) P_{\text{НУ}} P_{\text{ПРО}_X} \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{ББ}}} S_{3i}}{S_{\text{ПР}}} \quad (14)$$

Таким образом, рассмотренная оценка живучести сложных военно-технических систем (СВТС) с учетом ведения противником космической разведки и рационального способа смены позиций, СВТС позволяет им реализовать поставленную задачу с требуемыми показателями поражения противника.

#### *Литература*

1. Абезгауз Г.Г., Тронь А.П., Копенкин Ю.Н., Коровина И.А. Справочник по вероятностным расчетам [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.studmed.ru/abezgauz-gg-i-dr-spravochnik-po-veroyatnostnym-raschetam\\_3b79d2935c1.html](https://www.studmed.ru/abezgauz-gg-i-dr-spravochnik-po-veroyatnostnym-raschetam_3b79d2935c1.html) (дата обращения: 28.11.2021).
2. Афонин В.П. Исследование процесса подготовки и проведения последующих пусков ракет РК с СПУ и разработка рекомендаций по его совершенствованию: дисс... канд. техн. наук. Болшево, МО СССР, 1985. 254 с.
3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 464 с.
4. Космическая разведка // Военный энциклопедический словарь ракетных войск стратегического назначения / Под ред. И.Д. Сергеева. М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. С. 246.
5. Методика оценки местности в дорожном отношении и планирование подготовки путей с использованием средств механизации: учебное пособие. М.: ВИА им. Куйбышева, 1980. 127 с.

УДК 629.635.017.1.004.58:006.354

## **Перспективные методы доказательства соответствия топливных систем требованиям Нормативной документации**

**С.В. Байков**, ведущий инженер,  
КБ Инженерного центра ПАО «Корпорация «Иркут», г. Москва,  
**А.И. Зинина**, техник,  
Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет),  
ФГБОУ ВО Московский Авиационный Институт  
(Научно-исследовательский университет), (МАИ), г. Москва

*В статье рассмотрены перспективные методы доказательства соответствия топливных систем требованиям Нормативной документации. Сертификация это одна из важнейших форм обеспечения качества создаваемых самолетов и вертолетов. Для успешной реализации процесса сертификации необходимо проведение большого количества как наземных, так и летных испытаний. В данной статье описаны методы математического моделирования, с помощью которых можно сократить как сроки, так и стоимость реализации не только топливной системы, но и вертолета в целом.*

Сертификация, математическая модель, топливная система, вертолет.

## **Promising methods of proving the compliance of fuel systems with the requirements of the Regulatory Documentation**

**S.V. Bajkov**, lead engineer, Design Bureau of the Engineering Center  
of PJSC «Corporation «Irkut», Moscow,  
**A.I. Zinina**, technician,  
Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI), Moscow

*The article considers promising methods of proving the compliance of fuel systems with the requirements of the Regulatory Documentation. Certification is one of the most important forms of quality assurance for aircraft and helicopters being built. For the successful implementation of the certification process, a large number of both ground and flight tests are required. This article describes the methods of mathematical modeling that can be used to reduce both the terms and the cost of implementing not only the fuel system, but also the helicopter as a whole.*

Certification, mathematical model, fuel system, helicopter.

### **1. Введение**

Одним из важных этапов создания современной авиационной техники является получение воздушным судном соответствующих сертификатов, позво-

ляющих перейти к его коммерческой эксплуатации.

В настоящее время сертификация является одной из наиболее эффективных форм обеспечения качества создаваемых самолетов и вертолетов, а также подтверждением возможности их эксплуатации на внутреннем и внешнем рынках [1].

Для успешной реализации процесса сертификации необходимо проведение большого количества как наземных, так и летных испытаний.

При этом необходимо учитывать, что при создании современного воздушного судна в целом, его систем и агрегатов в частности, все большую роль занимает процесс создания их цифровой модели [2].

Цифровая модель современных систем авиационной техники начинает создаваться на самых ранних этапах проектирования. Она совершенствуется с каждым этапом и по сути, сопровождает весь жизненный цикл изделия [3-5].

При этом также активно рассматривается вопрос замены натуральных испытаний на цифровые испытания. С помощью цифровых можно промоделировать как поведение всего самолета, так и его систем. Выявить первичные причины отказа, провести наблюдение за моделью в нештатной ситуации [6].

Одной из важнейших систем современного вертолета является топливная система. От ее безотказной и надежной работы зависит безопасная эксплуатация воздушного судна.

Соответственно, необходимо обеспечить процессы проектирования и сертификации таким образом, чтобы минимизировать вероятность ошибок и необходимость их исправления на этапе проведения наземных и летных испытаний.

Одним из способов добиться указанных выше результатов является создание математической модели системы в целом и ее отдельных узлов и агрегатов. Модель позволит симитировать полет во всем эксплуатационном диапазоне, в том числе и с учетом отказных ситуаций [7].

«Статья написана в рамках выполнения работы «Создание комплекса средств математического моделирования и испытательной установки для аварийной топливной системы вертолета», при реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Создание отечественной аварийной топливной системы с протектированными топливными баками для вертолетов». Финансирование реализуется за счет предоставления субсидий государственной поддержки в рамках реализации постановления Правительства РФ от 09.04.2010 N 218 (ред. от 21.07.2016), Соглашение Кристалл-Министерство науки и высшего образования РФ (от «30» ноября 2019 г. № 075-11-2019-043)».

Топливная система современного вертолета, помимо соответствия требованиям технического задания и отраслевых стандартов, должна отвечать требованиям соответствующих разделов авиационных правил (АП-27 (Нормы летной годности винтокрылых аппаратов нормальной категории) и АП-29 (Нормы летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории) [8, 9].

При сертификации вертолетов в Европе и Америке необходимо руково-



дствоваться соответствующими стандартами данных регионов: Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Small Rotorcraft CS-27, Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Rotorcraft CS-29, Авиационные правила (Нормы летной годности самолетов транспортной категории). Часть 25 и другие [10-13].

В настоящей работе рассматриваются возможные методы подтверждения соответствия требованиям сертификационного базиса, предлагаются пути снижения финансовых и временных затрат при сертификации топливной системы за счет использования методов математического моделирования.

## 2. Аналитический обзор

На топливную систему в соответствии с АП-27 и АП-29 распространяются требования разделов «Топливная система», «Агрегаты и элементы топливной системы», «Оборудование».

К наиболее существенным пунктам авиационных правил, влияющих на формирование облика топливной системы вертолета, относятся: 29.29 (a)(b), 29.301(a), 29.603 (a)(b)(c), 29.605 (a), 29.611 (a), 29.951 (a)(b)(c), 29.952(a)(b)(2)(c)(d)(f)(g), 29.953 (a), 29.955(a)(1)(2)(3)(5)(6)(c), 29.957 (a)(b), 29.959, 29.961, 29.963(a)(b)(d), 29.965(a)(c)(d), 29.967(a), 29.969, 29.971(a)(b)(c)(d), 29.973(a)(b), 29.975(a)(2)(3)(4)(5), 29.977(a)(2)(b)(c)(d), 29.979(a)(b)(c)(d), 29.991 (a)(b), 29.993 (a)(b)(c)(d), 29.995 (b), 29.997 (a)(b)(c)(d), 29.999 (a)(b), 29.1001 (a)(b)(c)(d)(e), 29.1183 (a), 29.1189 (a)(b)(c)(e)(f), 29.1301(a)(b)(c)(d)(a\*), 29.1309 (a)(b)(2)(c)(d)(e)(1)(2)(3)(i)(f)(g)(h), 29.1337 (b)(1), 29.1353 (a)(b), 29.1357 (a)(b)(c)(d)(e), 29.1431 (a), 29.1529, 29.1541, 29.1553, 29.1557 (c)(1) и т.д.

Данный список не является исчерпывающим и может дополняться и/или сокращаться в процессе проектирования и сертификации, в том числе и соответствующими пунктами Европейской и Американской нормативной документации (при ориентации продукции на рынки указанных регионов).

При доказательстве соответствия разрабатывается таблица соответствия требованиям сертификационного базиса с указанием так называемых МОС (методов определения соответствия).

Основными методами определения соответствия являются: инженерная оценка (коды МОС: 0-3), испытания (коды МОС: 4-8), опыт эксплуатации (коды МОС: 9).

В настоящей статье рассматривается возможность использования материалов по коду МОС «2» (моделирование) для уменьшения объема испытаний по кодам МОС «4», «5», «6» (стендовые, наземные и летные испытания, соответственно).

Получение доказательного материала по кодам МОС «5», «6» предполагает собой наземные и летные испытания штатной системы объекта.

Для топливной системы, стендовые испытания представляют собой испытания комплектующих изделий (по оценке работоспособности и по оценке на воздействующие факторы) с использованием полноразмерных стендов системы изделия, максимально приближенный к штатной схеме.

Соответствие схем стенда реальному объекту, является одной из важнейших задач при его создании.

Даже небольшие отклонения параметров трубопроводов, высотности установки, неточности в расположении агрегатов являются факторами, уменьшающими достоверность стендовых исследований. Также нужно отметить, что реальные нагрузки на систему и состояния работы (перегрузки, пространственные положения), практически невозможно реализовать в условиях стендовых испытаний.

Таким образом, необходимо понимать, что проведение максимального количества натурных (как стендовых, так и естественно наземных и летных испытаний) является весьма трудоемкой и ресурсозатратной задачей.

Согласование с сертификационными органами возможностей использования методов моделирования, при условии адекватности модели и ее корректной верификации и валидации, даст возможность сокращения натурных испытаний. Из этого следует, что возможно сократить как сроки, так и стоимость реализации не только топливной системы, но и вертолета в целом.

### **3. Инженерный анализ**

В рамках создания комплекса средств математического моделирования в совокупности с испытательной установкой, был проведен анализ требований, предъявляемых к топливной системе со стороны производителя вертолета. Также был проведен анализ требований нормативной документации, в частности Авиационных правил, который показал, что при создании точной математической модели агрегатов системы и соответственно модели самой системы в целом, а так же при валидации данных моделей с помощью минимально необходимого набора испытаний на испытательной установке, возможна подготовка материалов для вынесения их на рассмотрение экспертами сертификационных органов для частичной замены натурных испытаний на результаты моделирования.

Примером подобного подхода могут являться предложения по изменению МОС при закрытии пункта АП 29.951 (а). В данном примере вместо проведения натурных испытаний, доказывающих обеспеченность питания двигателей топливом, на различных режимах работы двигателя и переходных режимах, во всех ожидаемых условиях эксплуатации (при нормальном функционировании топливной системы; при неработающих насосах подкачки и т.п.) демонстрируется работоспособность на всех заявляемых режимах работы вертолета. Имитируемые режимы содержат все маневры, на которые запрашивается сертификат типа. Проводимое моделирование демонстрирует обеспеченность топливом двигателей (потребный расход) на всех допустимых режимах работы, с учетом ограничений, во всех пространственных положениях вертолета (крен, тангаж), чем подтверждается работоспособность системы в процессе установившихся маневров (постоянно действующие нормальная, продольная и боковая перегрузки, в отдельности и сочетания). Затем, совместно с экспертами сертификационных

властей выбирается ряд наиболее критичных случаев (существенно меньший чем полная летная программа), на которых демонстрируется адекватность и точность представленных моделей.

Аналогичным образом рассматривается возможность замены натуральных испытаний на математическое моделирование для пункта 29.951 (с) для которого создается модель учитывающая насыщение топлива водой и его использование в различных температурных диапазонах.

#### 4. Выводы

Использование такого метода подтверждения соответствия как моделирование, при сертификации, является перспективным в плане сокращения объема испытаний, объема средств на испытания, а также сроков проведения испытаний.

Известен опыт использования данных моделирования при сертификации авиационной техники, например Airbus-350XWB, Airbus-380, Boeing-787, SSJ-100 и ряда других проектов.

#### *Литература*

1. Ахметшин Т.Ф. «Сертификация авиационной техники». Vestnik UGATU. 2013. ISSN 2225-2789.
2. Smagin D.I., Savelev R.S. and Satin A.A., «Methods for the Design of Modern On-Board Systems of Advanced Aircraft», 2019 IEEE 10th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE), Brussels, Belgium, 2019. pp. 97-101. doi:10.1109/ICMAE.2019.8880986.
3. Strelets D.Y., Serebryanskii S.A., Shkurin M.V. «Approach to the life cycle control of aeronautical engineering products using digital technologies». «Management of Large-Scale System Development». Moscow, 2019. P 717-719 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41750004>.
4. Smagin D.I., Savelev R.S., Satin A.A., Starostin K.I., Suzdaltseva D.S., Serebryansky S.A. «The concept of creating a complex mathematical model of the aircraft, including the main onboard systems» Journal «Quality and life». Moscow, 4(20).
5. Коротков С.А. «О цифровой трансформации процесса создания авиационной техники» // Журнал «АвиаСоюз». Август 2019г. С. 12.
6. Smagin D.I., Savelev R.S., Satin A.A., Starostin K.I., Kobrinec T.A. «Применение программного комплекса Simintech для математического моделирования различных бортовых систем летательных аппаратов». Computational nanotechnology. 3-218. ISSN 2313-223X [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35367476>.
7. Межгосударственный авиационный комитет авиационные правила часть 27. Нормы летной годности винтокрылых аппаратов нормальной категории [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293795/4293795747.pdf>.

8. Межгосударственный авиационный комитет авиационные правила часть 29. Нормы летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://armakiac.org/upload/iblock/e48/%D0%90%D0%9F\\_29\\_iss\\_3\\_2018.pdf](https://armakiac.org/upload/iblock/e48/%D0%90%D0%9F_29_iss_3_2018.pdf).
9. Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Small Rotorcraft CS-27 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/cs-27\\_amendment\\_7.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/cs-27_amendment_7.pdf).
10. Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Rotorcraft CS-29 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/CS-29%20Amendment%208.pdf>.
11. Межгосударственный авиационный комитет авиационные правила часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. 2015 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://armakiac.org/upload/iblock/06a/ap25rev8.pdf>.
12. Руководство по предотвращению авиационных происшествий. ИКАО, 1984. 150 с.
13. Шумилов И.С. Применение авиационных правил АП25 при создании гидравлических систем управления стационарными и мобильными объектами // Инженерный вестник. 2014. УДК: 629.039.58 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ainjournal.ru/doc/747685.html>.

УДК 681.52.8

**Вероятностно-игровая модель процесса модернизации  
средств обеспечения безопасной эксплуатации технических систем**

**А.А. Белов**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой,

**Э.В. Шубин**, кандидат технических наук, начальник кафедры,

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого» Министерства обороны Российской Федерации в г. Серпухове (филиал ФГКВОУ ВО «ВА РВСН» в г. Серпухове)

*Специальные технические средства стратегических объектов, имеющиеся на балансе РВСН, позволяют не только вести оперативную разведку с автоматизированного наземного управляемого комплекса по обнаружению, распознаванию и селекции сложной баллистической цели, но и непрерывно обеспечивать своевременное планирование и ведение оперативных действий стратегических ядерных сил других родов войск. С возрастанием значимости таких технических средств и комплексов в системе военной и национальной безопасности страны по трем составляющим (предупреждению о ракетном нападении, противоракетной обороне, контролю космического пространства) встает вопрос о необходимом уровне качественного обеспечения безопасной эксплуатации технических систем в мирное время.*

*Статья посвящена разработке алгоритма нахождения наилучшего сочетания различных вариантов обеспечения безопасной эксплуатации технических систем в мирное время*

Принципы обеспечения технических систем, показатели эффективности технических решений, вид матрицы игры, варианты доработок вероятного развития аварийной ситуации.

**Probabilistic-game model of the process of modernization of means  
of ensuring the safe operation of technical systems**

**A.A. Belov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
head of the department,

**E.V. Shubin**, Candidate of Technical Sciences, head of the department,  
Federal State state-owned Military Educational Institution of Higher Education  
«Military Academy of Strategic Missile Forces named after Peter the Great»  
of the Ministry of Defense of the Russian Federation in Serpukhov  
(branch of FGKVOU VO «VA RVSН» in Serpukhov)

*Special technical means of strategic facilities available on the balance of the Strategic Missile Forces allow not only to conduct operational reconnaissance from an automated ground-based controlled complex for detecting, locating and selecting a*

*complex ballistic target, but also to continuously ensure timely planning and execution of operational actions of strategic nuclear forces of other branches of the armed forces. With the increasing importance of such technical means and complexes in the system of military and national security of the country in three components (warning of a missile attack, anti-missile defense, control of outer space), the question arises about the necessary level of quality assurance of safe operation of technical systems in peacetime.*

*The article is devoted to the development of an algorithm for finding the best combination of various options for ensuring safe operation of technical systems in peacetime*

Principles of providing technical systems, performance indicators of technical solutions, type of game matrix, options for improvements of the probable development of an emergency situation.

В настоящее время мировым сообществом выработаны общие универсальные принципы обеспечения безопасной эксплуатации технических систем, которые, в свою очередь, определяют создание и использование нескольких взаимодействующих друг с другом уровней мониторинга и защиты от предполагаемых отказов элементом объекта эксплуатации, а также обслуживающего его персонала.

Приоритетными в практике реализации концепции безопасности являются такие принципы, как:

- принцип универсальности и унификации, заключающийся в применении на наиболее ответственных системах проверенных и доказавших свою надежность технологий;
- анализ и учет как положительного, так и отрицательного опыта эксплуатации подобных систем и их элементов;
- поиск новых путей обеспечения надежности и безопасности эксплуатации объектов в случае возникновения аварийных ситуаций или предпосылок к ним;
- принятие управляющих воздействий на объекты эксплуатации на основе достоверной информации (прогноза) об их состоянии и его изменении.

Данное обстоятельство как нельзя лучше подходит для определения места вероятностного анализа в обосновании используемых средств обеспечения безопасной эксплуатации технических систем, в частности в РВСН.

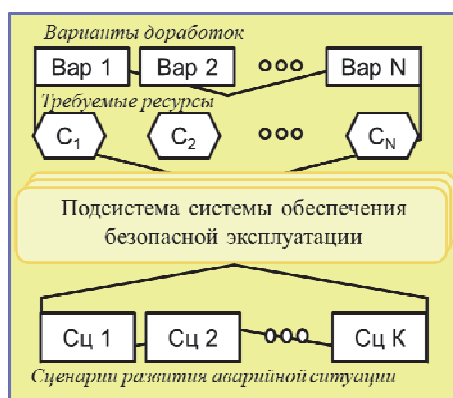
Следует отметить, что развитие технических систем на современном этапе происходит с превалированием технических целей над анализом аспектов обеспечения безопасности. Усложнение используемых технических решений, включаемых в существующую систему эксплуатации с целью повышения характеристик и показателей эффективности вместе с тем ведет к повышению потенциальных угроз, и, как следствие к возникновению предпосылок появления техногенных опасностей.

В связи со сказанным, в рамках существующих подходов к организации эксплуатации сложных технических систем не теряет своей актуальности задача

поиска и внедрения современных адаптивных методов, дающих возможность без радикального изменения общей стратегии эксплуатации объектов провести анализ и оценку как надежностных, так и экономических показателей с точки зрения их эффективности при реализации управляющих воздействий, одновременно, не снижая достигнутого уровня безопасности эксплуатации и не создавая новых предпосылок к возникновению аварий на объектах эксплуатации. Таким образом, требуется решить многокритериальную оптимизационную задачу, в которой часть определяющих показателей являются, по сути, антагонистическими характеристиками. С одной стороны, основополагающими, безусловно, являются требования документов, определяющих показатели безопасности эксплуатации технических систем, а с другой стороны – объективное состояние достигнутых технико-экономических показателей, которые определяются текущей конъюнктурой. Естественно предположить, что успешное решение задачи в данных условиях сопряжено с высокими финансовыми затратами, кроме того, уровень специалистов, осуществляющих управляющие воздействия и определяющих общие алгоритмы построения системы эксплуатации должен быть весьма высоким, причем на всех уровнях иерархической лестницы.

Вследствие большой разницы в тактико-технических требованиях экономически невыгодно реализовывать один единственный вариант доработок системы обеспечения безопасной эксплуатации для отдельной рассматриваемой группировки однотипных систем, который был бы эффективен во всех возможных случаях создания аварийных ситуаций. На некотором этапе планирования доработок средств системы обеспечения безопасной эксплуатации неодинаковые показатели однотипных характеристик состояния элементов систем требует рассмотреть оптимизационную задачу о, как минимум, рациональном сочетании нескольких вариантов модернизации систем. Другими словами, необходимо решить, на скольких единицах группировки однотипных технических систем должны быть реализованы доработки по определенному конкретному варианту.

Пусть система обеспечения безопасной эксплуатации на каждой единице из группировки однотипных систем может быть представлена в виде  $G$  подсистем (рис. 1).



**Рисунок 1 – Декомпозиция системы обеспечения безопасной эксплуатации группировки однотипных систем**

На каждой из подсистем может быть проведено несколько вариантов до-

работок. Обозначим для  $i$ -ой подсистемы,  $i = \overline{1, G}$ , количество возможных вариантов доработок как  $N^{\{i\}}$ .

Величина

$$p_{i,j} = P(B_{i,j}), \quad (1)$$

определяется как вероятность выбора для  $i$ -ой подсистемы  $j$ -го варианта проведения доработок.

Для каждой  $i$ -ой подсистемы системы обеспечения безопасной эксплуатации с применением модели развития нарушения, представляемой правосторонним дихотомическим «деревом событий» выделяется  $k^{\{i\}}$  сценариев развития аварийных ситуаций. Обозначим

$$q_{i,j,t} = P(A_i | B_{i,j} | \Pi_{i,t}), \quad (2)$$

как условную вероятность возникновения аварийной ситуации в системе, контролируемой  $i$ -ой подсистемой при условии выбора  $j$ -го варианта ее доработок и проявления  $t$ -го варианта сценария развития аварийной ситуации.

С учетом введенных обозначений на рисунке 2 представлен вид матрицы игры для каждой из рассматриваемых подсистем.

**Рисунок 2 – Матрица игры для рассматриваемых подсистем системы обеспечения безопасной эксплуатации**

Вероятность того, что развитие аварийной ситуации будет блокировано системой обеспечения безопасной эксплуатации тогда может быть представлена в виде произведения

$$P = \prod_{i=1}^G (1 - P(A_i)), \quad (3)$$

где  $P(A_i)$  – риск развития аварийной ситуации, определяемый по  $i$ -ой подсистеме.

С учетом рассматриваемых возможных вариантов проведения доработок и различных аварийных сценариев вероятность того, что развитие аварийной ситуации будет блокировано  $i$ -ой подсистемой можно представить, как

$$(1 - P(A_i)) = \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{t=1}^{k_i} (1 - P(A_i | B_{i,j} | \Pi_{i,t})) P(B_{i,j}) P(\Pi_{i,t}) \quad (4)$$

В свою очередь



$$\sum_{j=1}^{N_i} \sum_{t=1}^{k_i} (1 - P(A_i|B_{i,j}|\Pi_{i,t})) P(B_{i,j}) P(\Pi_{i,t}) = \\ = \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{t=1}^{k_i} (1 - q_{i,j,t}) p_{i,j} w_{i,t}, \quad (5)$$

где  $w_{i,t} = P(\Pi_{i,t})$  – вероятность проявления для  $i$ -ой подсистемы  $t$ -го сценария развития аварийной ситуации.

Тогда вероятность того, что развитие аварийной ситуации будет заблокировано системой обеспечения безопасной эксплуатации будет равна:

$$P = \prod_{i=1}^G [\sum_{j=1}^{N_i} \sum_{t=1}^{k_i} (1 - q_{i,j,t}) p_{i,j} w_{i,t}]. \quad (6)$$

Основную сложность при постановке задачи оптимизации выбора комплекса мероприятий доработок системы обеспечения безопасной эксплуатации технических систем представляет задание стоимостных ограничений. Ситуация складывается таким образом, что при различных видах реализации технологических эксплуатационных процессов даже на одной системе определенные последовательности доработок могут не просто пересекаться частично, но и полностью повторять друг друга. Таким образом, становится затруднительным осуществить формализацию реализуемых процессов и их оценку, а также заставляет дополнительно решать оптимизационную задачу выбора подходящего варианта, которая, в свою очередь, сводится к полному перебору вариантов, что, естественно, нежелательно даже в дискретном примере, а в случае непрерывного изменения вероятностей  $p_{i,j}$  – превращается в численно практически неразрешимую задачу. Данная трудность нивелируется вводом понятия удельной стоимости конкретного варианта доработок, что, в свою очередь, дает возможность получить добавочные ограничения стоимости доработки на системе.

Пусть  $C$  – затраты на конкретное реализуемое мероприятие по проведению доработок на подсистеме обеспечения безопасной эксплуатации, т.е. затраты на техническое переоснащение объекта, документирование, подготовку персонала и иные затраты, связанные с его подготовкой и реализацией.  $T$  – среднее время его выполнения, а  $t$  – предписанная или плановая периодичность проведения. Тогда удельную стоимость однократной реализации мероприятия по проведению доработок на подсистеме обеспечения безопасной эксплуатации можно оценить по формуле:

$$C_{уд} = \frac{C \cdot t}{T}. \quad (7)$$

Учитывая вероятности  $p_{i,j}$  выбора для  $i$ -ой подсистемы  $j$ -го варианта проведения доработок, получаем стоимость  $C_i$  выполнения для  $i$ -ой подсистемы доработок по возможным вариантам в соответствии с выбранными частотами их применения как математическое ожидание:

$$C_i = \sum_{j=1}^{N_i^{(i)}} c_{i,j} p_{i,j}. \quad (8)$$

Тогда итоговая стоимость определяется по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^G C_i = \sum_{i=1}^G \sum_{j=1}^{N_i} c_{i,j} p_{i,j}. \quad (9)$$

Отметим, что необходимые данные для вычисления удельной стоимости отдельного варианта доработок, как правило, содержатся в технико-

экономических обоснованиях и сметах расходов на рассматриваемые технологические эксплуатационные процессы.

Накладываются ограничения, естественные для вероятностей событий, образующих полную группу, то есть:

$$0 \leq w_{i,t} \leq 1, t = 1, \dots, k_i, \sum_{t=1}^{k_i} w_{i,t} = 1, \quad (10)$$

для любого  $i = 1, \dots, G$ .

Выбор значений величин  $p_{i,j}$ , т.е. частоты выбора из всех возможных  $j$ -го варианта доработок для  $i$ -ой подсистемы составляет в конечном итоге суть процесса оптимизации порядка выбора из возможных вариантов проведения доработок набора реализуемых. На них также следует наложить естественные ограничения:

$$0 \leq p_{i,j} \leq 1, j = 1, \dots, N^{(i)}, \sum_{j=1}^{N^{(i)}} p_{i,j} = 1, \quad (11)$$

для любого  $i = 1, \dots, G$ .

В качестве критерия эффективности при выборе сочетания выполняемых вариантов доработок целесообразно выбрать величину риска развития аварийной ситуации, или более очевидную, зависящую от нее – вероятность обеспечения безопасной эксплуатации. Обозначим через  $C_0$  максимально допустимую величину ресурсных затрат на выполнения всего комплекса мероприятий по проведению доработок системы обеспечения безопасной эксплуатации, определяемую из экономических возможностей. Тогда задача оптимизации будет иметь вид:

$$P \rightarrow \max, \quad \text{при } C \leq C_0. \quad (12)$$

Учитывая выражения (6) и (9), ограничения (10) и (11) оптимизационная задача (12) принимает вид:

$$P_{\max} = \max_{p_{i,j}} \min_{w_{i,t}} \prod_{i=1}^G \left[ \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{t=1}^{K_i} (1 - q_{i,j,t}) p_{i,j} w_{i,t} \right]_{\max},$$

$$\sum_{i=1}^G \sum_{j=1}^{N_i} c_{i,j} p_{i,j} \leq C_0,$$

$$\sum_{t=1}^{k_i} w_{i,t} = 1,$$

$$\sum_{j=1}^{N^{(i)}} p_{i,j} = 1. \quad (13)$$

Решение оптимизационной задачи в зависимости от наличия седловой точки в матрице игры может быть получено в чистых или смешанных стратегиях. На первом шаге необходимо провести декомпозицию системы обеспечения безопасной эксплуатации в соответствии с вариантами ее доработок. При этом рассматриваемая система разбивается на подсистемы, и для каждой из подсистем определяются возможные варианты ее доработки и соответствующие ресурсные затраты. Выбор оптимального варианта доработки подсистем системы обеспечения безопасной эксплуатации применяется к каждой из подсистем, в соответствии с той декомпозицией, которая была проведена. Решение подразумевает поэтапное выполнение следующих основных шагов.

1. Для рассматриваемой подсистемы системы обеспечения безопасной эксплуатации построить связный ациклический граф при этом принимая во внимание факт наличия причинно-следственных зависимостей между текущим техническим состоянием элементов, формирующих подсистему в дискретные мо-

менты времени и приводящие, в итоге объект эксплуатации к определенной совокупности конечных состояний. Определение совокупности возможных воздействующих аварийных факторов. Выделение в графе аварийных последовательностей и определение зависимостей для расчета условной вероятности возникновения аварийной ситуации, контролируемой рассматриваемой  $i$ -ой подсистемой при условии выбора  $j$ -го варианта ее доработок и проявления  $t$ -го варианта сценария развития аварийной ситуации.

2. Расчет и заполнение матрицы игры (условных вероятностей возникновения аварийной ситуации, контролируемой рассматриваемой  $i$ -ой подсистемой при условии выбора  $j$ -го варианта ее доработок и проявления  $t$ -го варианта сценария развития аварийной ситуации).

Пример матрицы представлен на рисунке 3. В левом столбце указываются возможные сценарии развития аварийных ситуаций, контролируемых рассматриваемой подсистемой системы обеспечения безопасной эксплуатации (в общем случае количество сценариев равно  $K^{(i)}$ ). В верхней строке матрицы указываются возможные варианты доработок, которые могут быть реализованы на рассматриваемой подсистеме (в общем случае количество вариантов равно  $N^{(i)}$ ). На пересечении  $t$ -ой строки и  $j$ -го столбца указываются рассчитанные условные вероятности возникновения аварийной ситуации, контролируемой рассматриваемой  $i$ -ой подсистемой при условии выбора  $j$ -го варианта ее доработок и проявления  $t$ -го варианта сценария развития аварийной ситуации. Так, например, на пересечении третьей строки (сценарий 2) и третьего столбца (вариант 2) указывается вероятность возникновения аварийной ситуации, контролируемой рассматриваемой  $i$ -ой подсистемой при условии ее доработки по второму варианту и воздействия аварийных факторов по второму сценарию. В введенных обозначениях это величина  $q_{i,2,2}$ .

Сценарии	Вар 1	Вар 2	...	Вар $N^{(i)}$
1	$q_{i,11}$	$q_{i,12}$	...	$q_{i,1N^{(i)}}$
2	$q_{i,21}$	$q_{i,22}$	...	$q_{i,2N^{(i)}}$
...	...	...	...	...
$K^{(i)}$	$q_{i,k}^{(i)}_1$	$q_{i,k}^{(i)}_2$	...	$q_{i,k}^{(i)}_{N^{(i)}}$

Рисунок 3 – Матрица игры для рассматриваемой подсистемы

3. Расчет вероятностей  $w_{i,t,t = \overline{1, K^{(i)}}}$  наихудшего сочетания проявления сценариев возникновения аварийной ситуации, контролируемых  $i$ -ой подсистемой и обеспечение минимального значения  $P(A_i)$  риска развития аварийной ситуации на основе симплекс метода. На данном шаге вводятся новые переменные:

$$x_1 = \frac{w_{i,1}}{\gamma}; x_2 = \frac{w_{i,2}}{\gamma}; \dots x_{K^{(i)}} = \frac{w_{i,K^{(i)}}}{\gamma}, \quad (14)$$

где  $\gamma$  – цена игры для матрицы игры, рассчитанной на шаге 2.

С учетом переменных (14) задача линейного программирования будет

иметь вид:

$$Z = x_1 + x_2 + \dots + x_{K^{(i)}} \Rightarrow \min, \quad (15)$$

$$\begin{cases} x_1 q_{i11} + x_2 q_{i21} + \dots + x_{K^{(i)}} q_{iK^{(i)}1} \leq 1; \\ \dots \\ x_1 q_{i1N^{(i)}} + x_2 q_{i2N^{(i)}} + \dots + x_{K^{(i)}} q_{iK^{(i)}N^{(i)}} \leq 1. \end{cases}$$

Решая задачу (15) симплекс методом, находим значения переменных  $x_1, x_2, \dots, x_{K^{(i)}}$ , и далее находим значения цены игры и вероятностей  $w_{i,t}$ ,  $t = \overline{1, K^{(i)}}$

$$\gamma = \frac{1}{Z}, \quad (16)$$

$$w_{i1} = x_1 \gamma, \quad w_{i2} = x_2 \gamma, \quad \dots, \quad w_{iK^{(i)}} = x_{K^{(i)}} \gamma.$$

Рассчитанные таким образом вероятности проявления для  $i$ -ой подсистемы соответствующих сценариев развития аварийной ситуации представляют собой «наихудший» случай, при котором риск развития аварийной ситуации  $P(A_i)^*$  будет максимальным из минимально возможных значений. При любом другом сочетании вероятностей проявления сценариев развития аварийной ситуации выполнится неравенство:

$$P(A_i) \leq P(A_i)^*, \quad (17)$$

что в свою очередь позволяет говорить о вероятности обеспечения безопасной эксплуатации объекта, контролируемого  $i$ -ой подсистемой системы, которая будет равна  $1 - P(A_i)^*$ .

4. Расчет оптимальных вероятностей (частот)  $p_{i,j}, j = \overline{1, N^{(i)}}$  применения вариантов доработок  $i$ -ой подсистемы системы обеспечения безопасной эксплуатации с учетом заданных ресурсных ограничений и минимально возможного риска развития аварийной ситуации.

На данном шаге, с учетом полученных на предыдущем шаге результатов, решается следующая задача линейного программирования

$$\begin{aligned} & (w_{i1} q_{i11} + w_{i2} q_{i21} + \dots + w_{iK^{(i)}} q_{iK^{(i)}1}) p_{i1} + \dots + (w_{i1} q_{i1N^{(i)}} + \\ & + w_{i2} q_{i2N^{(i)}} + \dots + w_{iK^{(i)}} q_{iK^{(i)}N^{(i)}}) p_{iN^{(i)}} \Rightarrow \min, \\ & C_{i1} p_{i1} + C_{i2} p_{i2} + \dots + C_{iN^{(i)}} p_{iN^{(i)}} \leq C_i, \\ & p_{i1} + p_{i2} + \dots + p_{iN^{(i)}} = 1 \end{aligned} \quad (18)$$

Задача (18) также решается симплекс-методом, решением задачи являются значения частот применения соответствующих вариантов. Так, например, значение  $p_{i,2} = 0,3$  интерпретируется как реализация для  $i$ -ой подсистемы системы обеспечения безопасной эксплуатации доработок по второму варианту на 30% группировки, т.е. если доработке подлежит 100 единиц однотипных технических систем, в которых имеются соответствующие подсистемы, то второй вариант на рассматриваемых подсистемах должен быть реализован случайным образом на любых 30 единицах, на остальных доработки должны проводиться в соответствии с рассчитанными вероятностями (частотами) других вариантов.

Предложенная вероятностно-игровая модель процесса модернизации средств обеспечения безопасной эксплуатации технических систем позволяет найти оптимальное сочетание частот применения вариантов проведения дорабо-

ток с учетом имеющихся ресурсных ограничений для каждой из рассматриваемых подсистем. Однако на практике, как правило, ресурсы выделяются не на подсистемы, а на доработку системы в целом, а декомпозиция системы проводится уже при проведении соответствующих расчетов. В виду этого, необходимо иметь дополнительный методический аппарат, который бы позволил распределить оптимальным способом выделенные на систему ресурсы между ее подсистемами, и уже для каждой из подсистем с учетом определенных для нее ресурсов рассчитать оптимальное сочетание частот применения вариантов проведения доработок.

Изменение ограничения  $C_i$  для подсистем в общем случае является непрерывным, что значительно усложняет задачу ресурсного распределения между подсистемами, так как данная задача при этом является крайне трудоемкой вычислительной процедурой.

Анализ изменения указанного ограничения показал, что на практике смысла в непрерывном изменении нет, особенно учитывая тот факт, что ресурсное исчисление тоже не является непрерывным и имеет дискретное исчисление. Например, финансовые показатели округляются до целых чисел, это является общеприемлемой практикой. Таким образом, чтобы добиться снижения вычислительных затрат имеет смысл регулировать ресурсное ограничение с определенным дискретом  $\delta_c$ . Используя указанный дискрет, исследуемое множество изменений  $C_i$  становится дискретным и конечным, что дает возможность применения для решения задачи регулирования ресурсов между подсистемами изученный и хорошо себя зарекомендовавший классический метод динамического программирования с использованием алгоритма Беллмана.

В данной ситуации нерешенным остается только вопрос предпочтения, по каким критериям выбирать  $\delta_c$ . Определение  $C_i$  с точностью 5-10 % является достаточно приемлемым для практических задач. Исходя из этого, в качестве дискрета изменения ресурсов допустимо применять величину:

$$\delta_c = 0,1C_0. \quad (19)$$

В таком случае оптимизация совместного применения вариантов доработок подсистем системы обеспечения безопасности эксплуатации будет подразумевать выполнение следующих основных этапов.

1. Дискретизация области изменения затратных ограничений с дискретом  $\delta_c$  (19) (рис. 4).

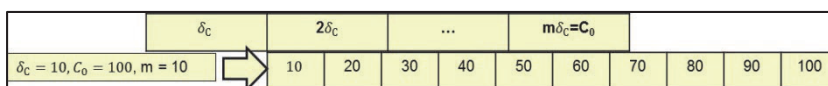


Рисунок 4 – Пример дискретизации ресурсных ограничений

2. Для каждого дискретного значения ресурсных ограничений по каждой подсистеме определение цены игры и оптимальных частот применения вариантов доработок подсистемы. На данном шаге для всех возможных значений выделяемых для подсистем ресурсов определяется на основе вышеописанных шагов цена игры, которая по своему физическому смыслу представляет собой макси-

мальное из минимально возможных значений риска развития аварийной ситуации, контролируемой соответствующей подсистемой.

Так, например, для подсистемы 1 рассчитывается цена игры для случая ресурсных ограничений, составляющих значения  $C_1 = \delta_C$ , найденное значение обозначим как  $\gamma_{1,1}$ . Далее принимаем  $C_1 = 2\delta_C$ , найденное значение цены игры обозначим как  $\gamma_{2,1}$ . Последовательно проводим расчеты, пока величина ресурсных ограничений не достигнет значения  $C_0$ , т.е.  $C_1 = m\delta_C = C_0$ , найденное значение цены игры при этом обозначим как  $\gamma_{m,1}$ .

Таким образом, в результате выполнения данного шага получаем результаты, которые можно свести в следующую таблицу значений (табл. 1).

**Таблица 1 – Цена игры для различных вариантов ресурсных ограничений**

Ресурс/подсист.	Подсист. 1	Подсист. 2	...	Подсист. G
$\delta_C$	$\gamma_{1,1}$	$\gamma_{1,2}$	...	$\gamma_{1,G}$
$2\delta_C$	$\gamma_{2,1}$	$\gamma_{2,2}$	...	$\gamma_{2,G}$
...	...	...	...	...
$m\delta_C=C_0$	$\gamma_{m,1}$	$\gamma_{m,2}$	...	$\gamma_{m,G}$

Соответственно для каждого значения цены игры имеются рассчитанные частоты применения вариантов доработок по каждой подсистеме.

Например, для подсистемы 1 рассчитанные частоты применения вариантов доработок будут равны

$$\begin{aligned} \gamma_{1,1} &\Rightarrow \{p_{1,1}^{\text{опт}}(\delta_C), \dots, p_{1,N\{1\}}^{\text{опт}}(\delta_C)\}, \\ \gamma_{2,1} &\Rightarrow \{p_{1,1}^{\text{опт}}(2\delta_C), \dots, p_{1,N\{1\}}^{\text{опт}}(2\delta_C)\}, \\ \gamma_{m,1} &\Rightarrow \{p_{1,1}^{\text{опт}}(C_0), \dots, p_{1,N\{1\}}^{\text{опт}}(C_0)\}. \end{aligned} \quad (20)$$

Для подсистемы G соответственно

$$\begin{aligned} \gamma_{1,G} &\Rightarrow \{p_{G,1}^{\text{опт}}(\delta_C), \dots, p_{G,N\{G\}}^{\text{опт}}(\delta_C)\}, \\ \gamma_{2,G} &\Rightarrow \{p_{G,1}^{\text{опт}}(2\delta_C), \dots, p_{G,N\{G\}}^{\text{опт}}(2\delta_C)\}, \\ \gamma_{m,G} &\Rightarrow \{p_{G,1}^{\text{опт}}(C_0), \dots, p_{G,N\{G\}}^{\text{опт}}(C_0)\} \end{aligned} \quad (21)$$

3. Оптимальное распределение ресурсов на доработку системы обеспечения безопасной эксплуатации между  $G_{\text{е}}$  подсистемами с помощью алгоритма Беллмана. На данном шаге поэтапно реализуется оптимальное распределение ресурсов на доработку системы обеспечения безопасной эксплуатации между первой и второй ее подсистемами, далее между первыми двумя и третьей ее подсистемами, и так далее.

Распределение ресурсов на доработку системы обеспечения безопасной эксплуатации между первой и второй ее подсистемами реализуется на основе

расчетов, сведенных в таблицу 2.

**Таблица 2 – расчет оптимального распределения ресурсов между первой и второй подсистемами**

Огр.	Подс.1	Подс.2	риск по ПС1	риск по ПС2	Вероятность безопасной эксплуатации	Опт. вариант
$\delta_c$	0	$\delta_c$	$\gamma_1$	$\gamma_{1,2}$	$(1-\gamma_1)(1-\gamma_{1,2})$	$Q^{(1,2)}(\delta_c)$
	$\delta_c$	0	$\gamma_{1,1}$	$\gamma_2$	$(1-\gamma_{1,1})(1-\gamma_2)$	
$2\delta_c$	0	$2\delta_c$	$\gamma_1$	$\gamma_{2,2}$	$(1-\gamma_1)(1-\gamma_{2,2})$	$Q^{(1,2)}(2\delta_c)$
	$\delta_c$	$\delta_c$	$\gamma_{1,1}$	$\gamma_{1,2}$	$(1-\gamma_{1,1})(1-\gamma_{1,2})$	
	$2\delta_c$	0	$\gamma_{2,1}$	$\gamma_2$	$(1-\gamma_{2,1})(1-\gamma_2)$	
...	...	...	...	...	...	...
$m\delta_c = C_0$	0	$m\delta_c$	$\gamma_1$	$\gamma_{m,2}$	$(1-\gamma_1)(1-\gamma_{m,2})$	$Q^{(1,2)}(m\delta_c)$
	$\delta_c$	$(m-1)\delta_c$	$\gamma_{1,1}$	$\gamma_{m-1,2}$	$(1-\gamma_{1,1})(1-\gamma_{m-1,2})$	
	...	...	...	...	...	
	$m\delta_c$	0	$\gamma_{m,1}$	$\gamma_2$	$(1-\gamma_{m,1})(1-\gamma_2)$	

Как видно из таблицы 2 для случая, когда на первую и вторую подсистемы выделяются ресурсы в размере величины  $\delta_c$ , есть два варианта распределения ресурсов между подсистемами:

-выделение на доработку первой подсистемы ресурсов в размере величины  $\delta_c$ , на второй подсистеме доработки не проводить по причине отсутствия ресурсов;

-выделение на доработку второй подсистемы ресурсов в размере величины  $\delta_c$ , на первой подсистеме доработки не проводить по причине отсутствия ресурсов.

Для каждого из вариантов распределения определяются вероятности безопасной эксплуатации по сценариям, за которые отвечают первая и вторая подсистемы, эта вероятность по своему физическому смыслу есть вероятность отсутствия развитий аварийных ситуаций в процессе эксплуатации и равна произведению вероятности отсутствия развития аварийной ситуации по сценариям, за который отвечает первая система на вероятность отсутствия развития аварийной ситуации по сценариям, за который отвечает вторая система (таблица 2 столбец б). На основе полученных значений из двух вариантов выбирается тот, для которого полученное значение вероятности безопасной эксплуатации по сценариям, за которые отвечают первая и вторая подсистемы будет выше.

Таким образом мы получаем оптимальное распределение ресурсов между

первой и второй подсистемами для случая, когда на них выделяются ресурсы в размере величины  $\delta_C$ .

Рассуждая аналогично, находим оптимальное распределение ресурсов между первой и второй подсистемами для случая, когда на них выделяются ресурсы в размере величины  $2\delta_C$ . Как видно из таблицы 2, в данном случае возможны три варианта распределения ресурсов между первой и второй подсистемами.

В конечном итоге мы имеем оптимальное распределение ресурсов между первой и второй подсистемами для случаев когда величина этих ресурсов будет составлять  $\delta_C, 2\delta_C, \dots, m\delta_C$ . Оптимальное распределение при этом обозначим как  $Q^{\{1,2\}}(\delta_C), Q^{\{1,2\}}(2\delta_C), \dots, Q^{\{1,2\}}(m\delta_C)$ .

Имея оптимальные распределения ресурсов между первой и второй подсистемами для различных значений величины ресурсов далее находим оптимальное распределение между первой, второй и третьей подсистемами (табл. 3).

**Таблица 3 – Расчет оптимального распределения ресурсов между 1,2 и 3 подсистемами**

Огр.	Пс. 1,2	Пс. 3	риск по ПС1,2	риск по ПС3	Вероятность безопасной эксплуатации	Опт. вариант
$\delta_C$	0	$\delta_C$	$1 - ((1-\gamma_1)(1-\gamma_2))$	$\gamma_{1,3}$	$(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)(1-\gamma_{1,3})$	$Q^{\{1,2,3\}}(\delta_C)$
	$\delta_C$	0	$1 - Q^{\{1,2\}}(\delta_C)$	$\gamma_3$	$Q^{\{1,2\}}(\delta_C)(1-\gamma_3)$	
$2\delta_C$	0	$2\delta_C$	$1 - ((1-\gamma_1)(1-\gamma_2))$	$\gamma_{2,3}$	$(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)(1-\gamma_{2,3})$	$Q^{\{1,2,3\}}(2\delta_C)$
	$\delta_C$	$\delta_C$	$1 - Q^{\{1,2\}}(\delta_C)$	$\gamma_{1,3}$	$Q^{\{1,2\}}(\delta_C)(1-\gamma_{1,3})$	
	$2\delta_C$	0	$1 - Q^{\{1,2\}}(2\delta_C)$	$\gamma_3$	$Q^{\{1,2\}}(2\delta_C)(1-\gamma_3)$	
...	...	...	...	...	...	...
$m\delta_C = C_0$	0	$m\delta_C$	$1 - ((1-\gamma_1)(1-\gamma_2))$	$\gamma_{m,3}$	$(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)(1-\gamma_{m,3})$	$Q^{\{1,2,3\}}(m\delta_C)$
	$\delta_C$	$(m-1)\delta_C$	$1 - Q^{\{1,2\}}(\delta_C)$	$\gamma_{m-1,3}$	$Q^{\{1,2\}}(\delta_C)(1-\gamma_{m-1,3})$	
	...	...	...	...	...	
	$m\delta_C$		$1 - Q^{\{1,2\}}(m\delta_C)$	$\gamma_3$	$Q^{\{1,2\}}(m\delta_C)(1-\gamma_3)$	

Также начинаем с рассмотрения ситуации, когда на первые три подсистемы выделяются ресурсы в размере величины  $\delta_C$ . Также, как и в предыдущем случае, есть два варианта распределения ресурсов между подсистемами:

- выделение на доработку первой и второй подсистем ресурсов в размере величины  $\delta_C$ , на третьей подсистеме доработки не проводить по причине отсутствия ресурсов;
- выделение на доработку третьей подсистемы ресурсов в размере вели-



чины  $\delta_C$ , на первой и второй подсистемах доработки не проводить по причине отсутствия ресурсов.

При этом оптимальное значение вероятности безопасной эксплуатации для первой и второй систем для случая, когда на них выделены ресурсы в размере величины  $\delta_C$  подсчитаны на предыдущем шаге –  $1 - Q^{\{1,2\}}(\delta_C)$  (таблица 3).

Рассуждая аналогично, мы имеем оптимальное распределение ресурсов между первой и второй и третьей подсистемами для случаев когда величина этих ресурсов будет составлять  $\delta_C, 2\delta_C, \dots, m\delta_C$ . Оптимальное распределение при этом обозначим как  $Q^{\{1,2,3\}}(\delta_C), Q^{\{1,2,3\}}(2\delta_C), \dots, Q^{\{1,2,3\}}(m\delta_C)$ .

На последнем шаге мы находим оптимальное распределение ресурсов между 1,2, ..., G-1 подсистемами и подсистемой G (табл. 4).

**Таблица 4 – Расчет оптимального распределения ресурсов между 1,2, ...,G-1 и G подсистемами**

Огр.	Пс.1, 2, ..., (G-1)	Пс.G	риск по ПС1,2,...G-1	риск по ПС G	Вероятность безопасной эксплуатации	Опт. вар.
$m\delta_C = C_0$	0	$m\delta_C$	$1 - ((1-\gamma_1)(1-\gamma_2) \dots (1-\gamma_{G-1}))$	$\gamma_{m,G}$	$(1-\gamma_1)(1-\gamma_2) \dots (1-\gamma_{G-1})(1-\gamma_{m,G})$	$Q^{\{1,2,3,\dots,G\}}$
	$\delta_C$	$(m-1)\delta_C$	$1 - Q^{\{1,2,\dots,G-1\}}(\delta_C)$	$\gamma_{m-1,G}$	$Q^{\{1,2,\dots,G-1\}}(\delta_C)(1-\gamma_{m-1,G})$	
	...	...	...	...	...	
	$m\delta_C$	0	$1 - Q^{\{1,2,\dots,G-1\}}(m\delta_C)$	$\gamma_G$	$Q^{\{1,2,\dots,G-1\}}(m\delta_C)(1-\gamma_G)$	

В конечном итоге мы получаем оптимальное распределение выделяемых на доработку системы обеспечения безопасной эксплуатации ресурсов в размере величины  $C_0$  между ее G подсистемами  $Q^{\{1,2,3,\dots,G\}}$ .

Оптимальное распределение средств между подсистемами можно записать как

$$m\delta_C: \{C_1(m\delta_C), C_2(m\delta_C), \dots, C_G(m\delta_C)\} \Rightarrow \quad (22)$$

$$\Rightarrow C_1(m\delta_C) + C_2(m\delta_C) + \dots + C_G(m\delta_C) = m\delta_C = C_0$$

Для каждой подсистемы на основе значения величины выделяемых для нее ресурсов выбираем соответствующие, уже рассчитанные на предыдущих шагах частоты применения вариантов ее доработок. Так например, если окажется, что для первой подсистемы  $C_1(m\delta_C) = 2\delta_C$ , то частоты применения вариантов доработок первой подсистемы будут соответствовать рассчитанной цене игры  $\gamma_{2,1}$  и равны  $\{p_{1,1}^{\text{опт}}(2\delta_C), \dots, p_{1,N\{1\}}^{\text{опт}}(2\delta_C)\}$ .

Вычислительная сложность предлагаемой методики асимптотически равна:

$$O((m+1)G). \quad (23)$$

Так, например, для случая, когда  $G = 14$  подсистем и  $m = 100$  трудоемкость одного перебора пропорциональна 1500, в то время как в случае прямого перебора вычислительная сложность асимптотически равна:

$$O((m+1)^G). \quad (24)$$

Т.е. для случая когда  $G = 14$  подсистем и  $m = 100$  трудоемкость одного перебора пропорциональна величине равной  $111^{14}$ .

*Литература*

1. Александровская Л.Н., Аронов И.З., Елизаров А.И. и другие. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем. М.: Логос, 2001.
2. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2003.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи. Принципы. Методология. М.: Наука, 1988.
4. Ветошкин А.Г., Таранцева К.Р. Техногенный риск и безопасность. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001.
5. Горелик В.А. Теория игр и исследование операций. М.: 1978.
6. Диксит А., Нейлбафф Б. Теория игр. Искусство стратегического мышления в бизнесе и жизни. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2015.
7. Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы. Саратов: СГТУ, 2002.

УДК 629.7

**Оценка надежности технологического оборудования  
ракетно-космического комплекса на ранних этапах его эксплуатации  
методом имитационного моделирования**

**Д.Г. Денискин**, первый заместитель генерального директора  
АО «ГКНПЦ, им. М.В. Хруничева» по производству, НИР, ОКР,  
**А.С. Бурцев**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
«НИИ КС им. А.А. Максимова» – филиал АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»,  
г. Королев, Московская область

*Оценивание надежности технологического оборудования ракетно-космического комплекса (РКК) на этапе его создания вызывает существенные затруднения вследствие недостаточного объема экспериментальных данных о характеристиках его надежности. В настоящей статье предлагается осуществлять оценивание надежности технологического оборудования РКК на основе таких характеристик как: характеристики надежности его элементов, конструктивно-съемных единиц (КСЕ) и составных частей и соответствующих структурная схем надежности, алгоритмов его функционирования в различные периоды его эксплуатации, значения показателей восстановления работоспособного состояния при возникновении отказа, полученные при экспериментальной отработке и в начальный период его эксплуатации и характеристики системы диагностики. Предлагаются способы имитационного моделирования, которые используют данные характеристики для расчета показателей надежности технологического оборудования РКК.*

Вероятность, время восстановления, конструктивно-съемные единицы, оборудование, оценка показателя надежности, показатель надежности, работоспособность, составные части, среднее квадратическое отклонение, элементы.

**Assessment of the reliability of the technological equipment of the rocket  
and space complex at the initial stage of its operation by  
simulation modeling**

**D.G. Deniskin**, First Deputy General Director of Khrunichev  
State Scientific Research Center Deputy Director for Production,  
Research and Development,  
**A.S. Burtsev**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher  
at the A.A. Maksimov Research Institute of Space Systems – a branch of,  
Korolev, Moscow region

*Evaluation of the reliability of the technological equipment of the rocket and space complex at the stage of its creation causes significant difficulties due to insufficient experimental data on the characteristics of its reliability. In this article, it is pro-*

*posed to evaluate the reliability of the technological equipment of the rocket and space complex on the basis of such characteristics as: reliability characteristics of its elements, constructively removable units and components and corresponding structural reliability schemes, algorithms of its functioning in various periods of its operation, values of indicators of restoration of operable condition in case of failure, obtained during experimental testing and in the initial period of its operation and characteristics of the diagnostic system. Simulation methods are proposed that use these characteristics to calculate the reliability indicators of the technological equipment of the rocket and space complex.*

Probability, recovery time, constructively removable units, equipment, reliability indicator assessment, reliability indicator, operability, components, mean square deviation, elements.

Технологическое оборудование РКК предназначено для проведения всех видов работ с ракетой космического назначения и с её составными частями на технических позициях и стартовой позиции.

Технологическое оборудование РКК в основном состоит из следующих видов:

- технологическое оборудование технического комплекса подготовки ракеты-носителя;
- технологическое оборудование технического комплекса подготовки космического аппарата;
- технологическое оборудование технического комплекса головной части космической ракеты;
- технологическое оборудование технического комплекса подготовки разгонного блока;
- технологическое оборудование технического комплекса подготовки ракеты космического назначения;
- технологическое оборудование стартового комплекса подготовки ракеты космического назначения к пуску;

В РКК при анализе технического состояния и оценке надёжности в качестве основных заданных функций для всех видов технологического оборудования обычно рассматривают:

- хранение;
- дежурство в установленной готовности;
- подготовка ракеты космического назначения и ее составных частей к пуску за заданное время.

Оценка надёжности оборудования комплекса в целом и его структурных элементов должна проводиться на ранних стадиях его эксплуатации. Этап эксплуатации для всех видов технологического оборудования (далее – оборудование) характеризуется следующими периодами:

- хранение  $\tau_{xp}$  – период времени с момента принятия оборудования эксплуатирующей организацией  $t_0$  до момента поступления команды на подготовку

к пуску объекта соответствующего вида (далее – объект)  $t_k$  или до конца установленного срока эксплуатации;

- дежурство в установленной готовности  $\tau_d$  – период времени от момента приведения в установленную готовность  $t_{пр}$  до момента поступления команды на подготовку к пуску объекта  $t_k$ ;

- подготовка к пуску  $\tau_{пск}$  – период времени от момента начала подготовки оборудованием к приему объекта подготовки к пуску  $t_{пп}$  до момента окончания подготовки к пуску  $t_п$ .

Каждый из указанных периодов эксплуатации характеризуется группой основных и вспомогательных показателей надежности, для расчёта которых, как правило, используются следующие исходные данные:

$n_i$  – количество неисправностей и отказов оборудования при проведении определенного вида работ (подготовка к применению, техническое обслуживание, применение по назначению и т.д.);

$\tau_{vi}$  – продолжительность устранения неисправности (отказа),

$\tau_{под}$  – продолжительность подготовки оборудования к применению по назначению;

$T_{рес}$  – расход ресурса оборудования (наработка оборудования в циклах, часах);

$k_j$  – категория оборудования;

$N_{ei}$  – количество обслуживающего персонала, участвующего в проведении работ по восстановлению исправного состояния оборудования;

$N_j$  – количество обслуживающего персонала, эксплуатирующего оборудование;

Наиболее значимым показателем надежности оборудования является *показатель надежности подготовки объекта к пуску за заданное время – оценка вероятности подготовки к пуску за заданное время и ее СКО*. Этот показатель может быть задан в ТТЗ (ТЗ) в виде вероятности выполнения заданных функций при подготовке объекта к пуску, либо в виде пары показателей – нижней границы доверительного интервала при заданной доверительной вероятности  $\gamma$ , либо парой показателей – точечной оценкой вероятности выполнения заданных функций и ее средним квадратическим отклонением (СКО).

На этапе эксплуатации наиболее характерным методом оценки надежности является экспериментальный метод. Точечная оценка данного показателя проводится с использованием соотношения:

$$\hat{P}(\tau_{пп}) = 1 - \frac{m}{n}, \quad (1)$$

где  $m$  – суммарное количество зачетных отказов оборудования при подготовке к пуску;

$n$  – суммарное количество подготовок к пуску на данном оборудовании;

$\tau_{пп}$  – требуемое время подготовки к пуску объекта на данном оборудовании.

Расчет СКО оценки надежности проводится по формуле:

$$\sigma_{\hat{P}(\tau_{\text{пп}})} = \sqrt{\frac{\hat{P}(\tau_{\text{пп}})[1-\hat{P}(\tau_{\text{пп}})]}{n-1}}. \quad (2)$$

При  $m = 0$  расчет значений  $\hat{P}(\tau_{\text{пп}})$  и  $\sigma_{\hat{P}(\tau_{\text{пп}})}$  проводится по формулам

$$\hat{P}(\tau_{\text{пп}}) = 1 - \frac{1}{2(n+2)}, \quad (3)$$

$$\sigma_{\hat{P}(\tau_{\text{пп}})} = \frac{1}{2(n+2)} \sqrt{\frac{5n+7}{n+3}}. \quad (4)$$

Интервальная оценка при отсутствии отказов определяется из следующего соотношения [1]:

$$P_n(\tau_{\text{пп}}) = (1 - \gamma)^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

Интервальная оценка при наличии отказов определяется из следующего соотношения [1]:

$$P_n(\tau_{\text{пп}}) = \exp\left[-a_{1-\gamma} \frac{m}{n}\right], \quad (6)$$

где  $a_{1-\gamma}$  – квантиль распределения Пуассона.

Здесь следует отметить, что отказом оборудования является событие невыполнения задачи по подготовку к пуску, которое не всегда совпадает с событием отказа оборудования. Оборудование является восстанавливаемым объектом, а потому при наличии резерва времени может быть осуществлено восстановление работоспособного состояния оборудования и продолжено выполнение задачи по подготовке к пуску с успешным исходом. Таким образом, время восстановления работоспособности является важной составляющей показателя надежности оборудования в период подготовки к пуску. Эта особенность функционирования оборудования лежит в основе построения имитационной модели его надежности.

Существует два подхода к построению имитационной модели:

- модель, в основе которой лежат времена восстановления работоспособности;
- модель, в основе которой лежит сетевая модель подготовки изделия к пуску на данном оборудовании и времена проведения отдельных операций.

Первая модель является более простой и универсальной и на ее выходе образуется результат по схеме «успех – отказ».

На выходе второй модели образуются функция и плотность распределения времени восстановления, по которым определяются оценки вероятности выполнения заданных функций, ее СКО, математической ожидание времени подготовки к пуску и его СКО.

Вторая модель является более сложной и ее построение может быть проблематично и даже не всегда возможно, так как представить процесс подготовки к пуску в виде множества последовательных и параллельных операций очень сложно и возможно не для всех видов оборудования. Поэтому в настоящей статье рассматривается первый вид модели.

В начальный период эксплуатации проведение расчетов оценок надежности по приведенным соотношениям будет не целесообразно, так как количество

статистической информации будет таково, что при расчетах показателей надежности на ее основе будут получены такие значения оценок, которые не соответствуют высоким требованиям по надежности, предъявляемым к оборудованию. Так, например, при 10 безотказных подготовках к пуску будет получено значение точечной оценки  $\hat{P}(\tau_{\text{пп}}) = 0,958$ ,  $\sigma_{\hat{P}(\tau_{\text{пп}})} = 0,087$ . А при 20 безотказных подготовках –  $\hat{P}(\tau_{\text{пп}}) = 0,978$ ,  $\sigma_{\hat{P}(\tau_{\text{пп}})} = 0,05$ . Этой информации может быть недостаточно, чтобы подтвердить высокие требования по надежности к оборудованию, заданные в ТТЗ (ТЗ).

Для решения задачи получения адекватных оценок надежности оборудования в условиях недостатка статистической информации применяют различные, научно обоснованные, методы, позволяющие получить адекватные оценки надежности с привлечением дополнительной информации. Одним из таких методов является метод имитационного моделирования, который позволяет многократно имитировать процесс подготовки к пуску, используя существующие характеристики надежности оборудования, его составных частей, КСЕ и элементов. Сущность метода сводится к получению статистической информации по признаку «успех – отказ» и на ее основе получение числа отказов при подготовках к пуску ( $m$ ) и общего числа подготовок к пуску ( $n$ ). Полученные значения подставляются в формулы (1) и (2) или (3) и (4). При этом число  $n$  (имитирующее число наблюдений) может быть сколь угодно большим.

Однако, как показывают формулы (1)-(6), при устремлении  $n$  к бесконечности оценка вероятности  $\hat{P}(\tau_{\text{пп}})$  устремится к своей вероятности, а оценка  $P_n(\tau_{\text{пп}})$ , устремится к единице. То есть доверительный интервал исчезает, а СКО устремится к нулю. То есть, показатели надежности становятся функциями от числа циклов моделирования, что в принципе противоречит физическим основам теории надежности. Кроме того, на практике получить такие значения оценок невозможно. Данный вариант имитационного моделирования целесообразно применять в том случае, когда показатель надежности задан в виде вероятности выполнения заданных функций при подготовке к пуску. При этом следует применять формулы (1)-(4).

Для случаев задания требований в виде нижней границы доверительного интервала при заданной доверительной вероятности  $\gamma$  и для точечной оценки вероятности и ее СКО такой вариант является неприемлемым, так как неизвестно количество испытаний (циклов моделирования) для получения адекватных оценок показателей надежности. И здесь встает вопрос: «а сколько же циклов моделирования должно быть, чтобы получить адекватную оценку надежности оборудования для периода подготовки к пуску». Иными словами, надо найти минимально необходимое число циклов моделирования, которое достаточно для получения адекватной оценки надежности оборудования и сравнения ее с требуемыми значениями показателей надежности. Необходимо найти критерий, по которому можно выбирать число циклов моделирования.

Таким критерием может быть число подготовок к пуску (испытаний), вычисленное на основании заданных в ТТЗ (ТЗ) показателей надежности с применение формул (1)-(6).

Например, для подтверждения требуемого значения показателя надежности равного 0,88 и при требуемой доверительной вероятности 0,9 минимально необходимое число безотказных подряд испытаний будет равно 18. Аналогичным образом можно определить необходимое число испытаний при одном, двух и т.д. отказах.

Переход от интервальных оценок к точечным осуществляется на основе зависимости:

$$\hat{P}(\tau_{\text{пп}}) = P_n(\tau_{\text{пп}}) + u_\gamma \sigma_{\hat{P}(\tau_{\text{пп}})} \quad (7)$$

где  $u_\gamma$  – квантиль распределения оценки надежности.

Обычно полагают, что оценка распределена по нормальному закону

Таким образом, выбранный критерий позволяет определять число циклов моделирования, которое достаточно для проведения оценивания надежности оборудования в период подготовки к пуску методом имитационного моделирования. При отсутствии отказов делается вывод о соответствии показателя надежности оборудования требуемым значениям.

При наличии хотя бы одного отказа (для безотказных испытаний), делается вывод о несоответствии надежности оборудования заданным требованиям, и принимаются меры по улучшению характеристик надежности оборудования, его составных частей и элементов. После проведения необходимых мероприятий и подтверждения их эффективности, производится уточнение характеристик надежности и производится новое имитационное моделирование с получением новых результатов.

Другими важными параметрами имитационной модели надежности оборудования на этапе подготовки к пуску являются параметры законов распределения наработок его элементов, КСЕ, составных частей и оборудования в целом. На основании этих параметров производится имитация функционирования оборудования и определяются результаты этого функционирования по признаку «успех – отказ». В основе моделирования лежит структурно-функциональная схема надежности (СФСН) оборудования. В зависимости от имеющейся информации о характеристиках надежности эта СФСН может быть построена до уровня комплектующих элементов (конструктивно неделимых элементов), на уровне КСЕ и на уровне составных частей оборудования. Главными характеристиками надежности являются виды и параметры законов распределения наработок элементов, КСЕ, составных частей. Для имитационного моделирования могут быть взяты вид закона распределения наработок и параметры закона распределения наработок оборудования в целом.

Имитационное моделирование на основе СФСН на уровне элементов характерно для этапа разработки оборудования, когда нет другой информации о характеристиках надежности, кроме данных, представленных в специальных таблицах, периодически выпускаемых специальными организациями. Однако, свойства любой системы не сводятся к сумме свойств ее элементов и поэтому оценка надежности, полученная на основе этих данных, является неполной и не



вполне адекватной. Кроме того, элементы имеют очень высокие показатели надежности и тогда для корректировки показателей надежности элементов в процессе эксплуатации требуются длительные наблюдения (годы, десятилетия и более) или большие числа однотипных элементов, входящих в состав оборудования. Ни того, ни другого в начале эксплуатации получить невозможно. Поэтому применение данной модели для оценки надежности оборудования в начале эксплуатации некорректно.

Имитационное моделирование на основе СФСН на уровне КСЕ является более приемлемым, так как позволяет получить необходимый минимум статистической информации для определения вида и параметров закона распределения с учетом информации о результатах экспериментальной отработки. Кроме того, восстановление работоспособности оборудования при его отказе производится, как правило, путем замены КСЕ, что позволяет определять время восстановления с наибольшей точностью. Однако, данный вид модели оценки более приемлем ближе к середине срока эксплуатации, поскольку КСЕ является довольно мелкой составляющей оборудования и поэтому каждая КСЕ отказывает редко, так как имеет значительную величину наработки на отказ и чтобы получить достаточно информации для оценки вида закона распределения и его параметров необходимо провести несколько лет наблюдений.

Имитационное моделирование на основе СФСН на уровне составных частей является наиболее приемлемым, так как позволяет получить объем статистической информации достаточный для уверенного определения вида и параметров закона распределения с учетом информации о результатах экспериментальной отработки. Недостатком этой модели является более высокая погрешность определения времени восстановления работоспособности оборудования при его отказе.

И, наконец, имитационное моделирование на уровне оборудования в целом является наиболее информативным с точки зрения статистической информации об отказах, с высокой погрешностью определения времени восстановления работоспособности оборудования при его отказе.

Наиболее приемлемым является моделирование на основе СФСН на уровне составных частей, так как позволяет установить наиболее слабые с точки зрения надежности составные части и принять меры по их улучшению.

Для выполнения моделирования необходимо знать законы распределения наработок элементов, КСЕ, составных частей или оборудования в целом и параметры этих законов распределения. на основании этих законов и их параметров производится имитация работы оборудования при подготовке к пуску и определяются моменты отказов. На практике используются три основных закона распределения: экспоненциальный, нормальный и Вейбулла.

Оценка показателей надежности составных частей, систем, подсистем (элементов) может быть вычислена на основании законов распределения наработок изделий. В настоящей статье рассматриваются три наиболее распространенных на практике закона распределения наработок: экспоненциальный, Вейбулла

и нормальный. Оценка параметра распределения для экспоненциального закона распределения наработок вычисляется по формуле:

$$\hat{\lambda} = \frac{r}{\sum_{i=1}^r t_i + \sum_{j=1}^n \tau_j}, \quad (8)$$

где  $t_i (i = \overline{1, r})$  – времена наработок при отказах оборудования или соответствующих составных частей, КСЕ;

$\tau_j (j = \overline{1, n})$  – времена наработок при отсутствии отказов.

$$\sigma_{\hat{\lambda}} = \frac{\hat{\lambda}}{\sqrt{r}}. \quad (9)$$

Значения оценок параметров распределения  $\hat{a}$  и  $\hat{b}$  распределения Вейбулла определяются следующим образом [2]. Определяется начальное приближение  $b_0$  по формуле:

$$b_0 = \frac{r+1}{\ln \frac{\prod_{i=1}^r t_i^{1/r}}{t_{(1)}} (0,23r+3,75)}, \quad r > 1, \quad (10)$$

где  $t_{(1)}$  – минимальное значение наработки на отказ.

Последующие приближения  $\hat{b}_k (k = 1, 2, \dots)$  находят по рекуррентной формуле

$$\hat{b}_k = \left( \frac{\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{b}_{k-1}} \ln t_i + \sum_{j=1}^n \tau_j^{\hat{b}_{k-1}} \ln \tau_j}{\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{b}_{k-1}} + \sum_{j=1}^n \tau_j^{\hat{b}_{k-1}}} - \frac{\sum_{i=1}^r \ln t_i}{r} \right)^{-1}. \quad (11)$$

Итерационный процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнута требуемая точность  $\varepsilon$ :

$$\left| \frac{\hat{b}_k - \hat{b}_{k-1}}{b_k} \right| \leq \varepsilon. \quad (12)$$

Значение  $\hat{b}_k$  в этом случае принимают за искомую оценку  $b$ .

$$\hat{a} = \left( \frac{\sum_{i=1}^r t_i^{\hat{b}} + \sum_{j=1}^n \tau_j^{\hat{b}}}{r} \right)^{1/\hat{b}}. \quad (13)$$

После нахождения значений параметров  $\hat{a}$  и  $\hat{b}$  необходимо проверить исходные данные на их принадлежность к закону распределения Вейбулла:

$$0,5 \leq \hat{b} \leq 4. \quad (14)$$

При выполнении этого условия исходные данные принадлежат закону распределения Вейбулла. В том случае, если значение параметра  $\hat{b}$  равно 1, принимается экспоненциальный закон распределения.

Значения оценок параметров распределения  $\bar{a}$  и  $\bar{\sigma}$  при нормальном законе распределения вычисляется по следующим формулам [2]:

$$\bar{a} = \hat{a} + k\hat{\sigma}, \quad (15)$$

$$\bar{\sigma} = \hat{\sigma} \sqrt{\left(1 - k^2 - k \frac{\hat{a}}{\hat{\sigma}}\right)}, \quad (16)$$

$$k = \frac{r}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\hat{a})^2}{2\hat{\sigma}^2}}. \quad (17)$$

Точечные оценки значений параметров нормального распределения вычисляются итерационным методом по следующим формулам:

$$\hat{\sigma}_k = \frac{E + E_{k-1} - A \left(\frac{D + \Delta_{k-1}}{B}\right) + \sqrt{\left(E + E_{k-1} - A \frac{D + \Delta_{k-1}}{B}\right)^2 + 4r \left(C - \frac{A^2}{B}\right)}}{2r}, \quad (18)$$

$$\hat{a}_k = \frac{A}{B} + \left(\frac{D + \Delta_{k-1}}{B}\right) \hat{\sigma}_k, \quad (19)$$

где  $k$  – индекс итерации,  $k = 0, 1, 2, \dots$

$A, B, C, D, E, \Delta_k, \Delta_{jk}, x_{jk}$  – эмпирические коэффициенты;

$\lambda_{jk}$  – интенсивности отказов для нормального распределения.

$$A = \sum_{i=1}^r t_i + 0,64 \sum_{j=1}^n \tau_j, \quad (20)$$

$$B = r + 0,64n, \quad (21)$$

$$C = \sum_{i=1}^r t_i^2 + 0,64 \sum_{j=1}^n \tau_j^2, \quad (22)$$

$$D = 0,8n, \quad (23)$$

$$E = 0,8 \sum_{j=1}^n \tau_j, \quad (24)$$

$$\Delta_k = \sum_{j=1}^n \Delta_{jk}, \Delta_0 = 0, \quad (25)$$

$$\Delta_{jk} = \lambda_{jk} - 0,8 - 0,64x_{jk}, \quad (26)$$

$$x_{jk} = \frac{\tau_j - \hat{a}_k}{\hat{\sigma}_k}. \quad (27)$$

Значения  $\lambda_{jk} = \lambda(x_{jk})$  определяют по таблицам интенсивностей отказов для нормального распределения или по формуле:

$$\lambda_{jk} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x_{jk}^2}{2}} / \left(1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_{jk}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt\right). \quad (28)$$

Итеративную процедуру поиска корней заканчивают, когда достигнута требуемая точность решения уравнений:

$$\left| \frac{\hat{\sigma}_k - \hat{\sigma}_{k-1}}{\hat{\sigma}_k} \right| \leq \varepsilon_1, \left| \frac{\hat{a}_k - \hat{a}_{k-1}}{\hat{a}_k} \right| \leq \varepsilon_2. \quad (29)$$

После нахождения значений параметров  $\hat{a}$  и  $\hat{\sigma}$  необходимо проверить принадлежность исходных данных на их принадлежность к нормальному закону по правилу трех сигм:

$$3\hat{\sigma} < \hat{a}. \quad (30)$$

При выполнении этого условия исходные данные принадлежат к нормальному закону распределения.

Если условия ((14) или (30) не выполняются, то принимается экспоненциальный закон распределения.

Ввиду громоздкости вычислений все выражения, которые определяют параметры распределений Вейбулла и нормального, должны быть запрограммированы и проведены расчеты параметров законов распределения.

Важной особенностью моделирования является учет влияния на время восстановления работоспособности системы диагностики оборудования.

Это время с учетом функционирования системы диагностики и вычисляется по формуле:

$$\tau_{\text{в}} = \sum_{r=0}^R p_r \left\{ \prod_{k=0}^{r-1} q_k \sum_{j=0}^r T_{\text{в}j} \right\}, \quad (31)$$

где  $p_r$  – вероятность правильного обнаружения отказавшей КСЕ системой диагностики с точностью до одной, двух, трех и т.д. КСЕ;

$q_k$  – вероятность ошибочного обнаружения отказавшей КСЕ системой диагностики с точностью до одной, двух, трех и т.д. КСЕ;

$T_{\text{в}j}$  – время восстановления работоспособности при точности определения отказавшей КСЕ до 1, 2 и т.д. КСЕ;

$R$  – количество ошибочных выявлений отказавшей КСЕ, когда вероятность правильного выявления отказавшей КСЕ стремится к единице.

Таким образом, математические зависимости (1)-(31) и описанные способы имитационного моделирования позволяют оценить показатели надежности оборудования РКК на ранних этапах его эксплуатации. Исходными данными для расчетов являются характеристики надежности его КСЕ, составных частей и оборудования в целом, СФСН, а так же требуемые значения показателей надежности, заданные в ТТЗ (ТЗ).

На основе представленного подхода к созданию имитационных моделей оценивания надежности технологического оборудования могут быть созданы имитационные модели для конкретных типов технологического оборудования (стартовых и технических комплексов РКК «Ангара», «Союз», «Рокот» и др.).

Предлагаемый подход к созданию имитационных моделей надежности является достаточно простым при реализации имитационных моделей конкретного технологического оборудования РКК на ПЭВМ. Он не требует высокой энергоемкости оборудования, повышенных требований к квалификации программистов и может быть осуществлен на самых простых языках программиро-

вания (например, VBA), что позволяет рекомендовать такие модели при создании типовых методик оценивания надежности технологического оборудования конкретных РКК.

Имитационные модели, создаваемые на основе данного подхода, целесообразно использовать в автоматизированных системах обеспечения надёжности и безопасности ракетно-космической техники и объектов наземной космической инфраструктуры космодромов России.

*Литература*

1. Волков Л.И. Управление эксплуатацией летательных аппаратов. М.: Высшая школа, 1981. 368 с.
2. Аронов И.З., Бурдасов Е.И. Оценка надежности по результатам сокращенных испытаний. М.: Издательство стандартов, 1987. 182 с.

УДК 534.28

**Применение модели шума в камере сгорания жидкостного ракетного двигателя к реальным данным**

**О.П. Мосалов**, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией интеллектуальных систем управления,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область,  
**Ю.В. Завьялова**, инженер,  
Федеральное казённое предприятие «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности», г. Пересвет, Сергиево-Посадский район, Московская область

*В статье рассматривается применение к реальным данным ранее разработанного алгоритма параметрического метода спектрального анализа. Рассмотрены особенности обработки результатов экспериментов. Продемонстрированы и проанализированы результаты для реальных сигналов.*

Обработка сигналов, анализ спектра, верификация алгоритма, авторегрессия.

**Application of the noise model in the combustion chamber of a liquid propellant engine to real data**

**O.P. Mosalov**, PhD., Head of the Laboratory of Intelligent Control Systems, State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region «Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region,  
**Yu.V. Zavyalova**, engineer,  
Federal state-owned enterprise «Scientific and testing center of the rocket and space industry», Peresvet, Sergiyev-Posad district, Moscow region

*In the work the application to real data of the previously designed algorithm for the parametric method of spectral analysis is considered. Specific features of experiment results processing are discussed. Result for real signals are shown and analyzed.*

Signal processing, spectrum analysis, algorithm verification, autoregression.

К настоящему времени математический аппарат обработки сигналов получил большое развитие, появились методы с повышенным спектральным разрешением, позволяющие более точно идентифицировать частотные составляющие

щие и рассчитывать ключевой показатель запаса устойчивости – декремент пульсаций давления в камере сгорания. Появление новых методов анализа, предъявляющих повышенные требования к средствам вычисления, стало возможным, в том числе, благодаря стремительному развитию компьютерной техники.

К таким методам относится параметрический спектральный анализ [1,5]. В его основе лежит предположение о возможности хорошей аппроксимации сигнала некоторой параметрической моделью, причем число параметров в несколько раз меньше числа отсчетов дискретизированного сигнала.

**Теоретическая постановка задачи.** Модель сигнала предполагает, что исследуемый сигнал является выходом некоторого фильтра, который реализует связь текущего отсчета случайного процесса с предыдущими отсчетами выходной и входной последовательности. Параметрами модели являются коэффициенты фильтра.

$$y_n = - \sum_{i=1}^{n-1} a_i y_{n-i} + \sum_{j=1}^{m-1} b_j x_{n-j} \quad (1)$$

где  $x$  – входная последовательность;

$y$  – выходная последовательность.

Входным случайным процессом выбирается широкополосный шум, близкий к «белому» шуму. Коэффициенты  $a_i$  и  $b_j$ , являющиеся параметрами модели, подбираются из условия максимального соответствия выходной последовательности фильтра анализируемому сигналу. Параметрическая модель сигнала имеет аналогию с физическим механизмом формирования спектра пульсаций давления в камере сгорания, в которой происходит усиление на резонансных частотах широкополосного шума, генерируемого гидродинамикой и горением.

Приведенная формула соответствует общей модели авторегрессии – скользящего среднего. Модель скользящего среднего плохо приспособлена для анализа острых пиков частотного спектра. Кроме того, вычисления коэффициентов  $b_j$  требует больших затрат на решение системы нелинейных уравнений, поэтому разрабатываемая методика строится на авторегрессионных моделях, в которых  $b_0 = 1$ ,  $b_j = 0$  для  $j > 0$ .

Спектральный метод дает возможность определения не только резонансной частоты и логарифмического декремента колебаний, но также и среднеквадратического значения параметра (пульсаций или вибраций). Часто используемые амплитудные характеристики параметров имеют большую погрешность, связанную с дискретным представлением сигнала [1]. При применении авторегрессионной модели [3] амплитуды подъемов зависят от порядка модели, поэтому не могут служить надежными показателями. Более стабильными являются среднеквадратические уровни сигнала. При этом для получения оценки среднеквадратического уровня для выбранного подъема необходимо проинтегрировать (просуммировать для дискретного представления) спектральную плотность мощности по всему подъему [5].

Методической основой определения показателей устойчивости по спек-

трам плотности мощности сигнала является амплитудно-частотная характеристика резонансного контура второго порядка.

В предыдущей работе [6] было рассмотрено исходное дифференциальное уравнение, описывающее колебательный контур, которое в обобщённом виде может быть записано так [6]:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2\delta \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 y = x(t) \quad (2)$$

где  $\delta$  – коэффициент затухания;

$\omega_0$  – частота собственных колебаний контура (для  $\delta \ll 1$ ).

Можем получить передаточную функцию аналогового фильтра, которая будет соответствовать левой части уравнения, если применим к уравнению (2) преобразование Лапласа [2,4]:

$$H(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{1}{p^2 + 2\delta p + \omega_0^2} \quad (3)$$

При подстановке  $p = i\omega$  последнее выражение (3) переходит в амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) резонатора (аналогового фильтра). После несложных преобразований можно записать выражение для амплитудно-частотной характеристики в форме, позволяющей непосредственно определять положение резонанса (максимума АЧХ) [6]:

$$H(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + 4\omega^2\omega_0^2\zeta^2}} = \quad (4)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2(1 - 2\zeta^2))^2 + 4\omega_0^2\zeta^2(1 - \zeta^2)}}$$

где  $\zeta = \delta/\omega_0$  – безразмерный коэффициент затухания.

Если  $\delta$  мало, то при нормальном случайном входе  $x(t)$  выход фильтра  $y(t)$  является узкополосным сигналом, спектр мощности которого совпадает с квадратом амплитудно-частотной характеристики фильтра с точностью до постоянного множителя. При значении  $\delta < 0,1$  допустимо приближение [6]:

$$H(\omega) = \frac{1/(2\omega_0)}{\sqrt{(\omega - \omega_0)^2 + \delta^2}} \quad (5)$$

тогда спектральная плотность мощности случайного процесса  $y(t)$  выражается так:

$$S_y(\omega) = \frac{\frac{S_x(\omega)}{(2\omega_0)^2}}{(\omega - \omega_0)^2 + \delta^2} \quad (6)$$

Максимум спектральной плотности мощности  $y(t)$  соответствует  $\omega_0$  (более точно частоте равной  $\omega_0(1-2\zeta^2)^{1/2}$ ) [6].

#### Специфика решаемой задачи

В предыдущей работе [6], о которой говорилось ранее, верификация разработанного алгоритма проводилась на модельных сигналах, генерируемых с использованием соотношения подпрограммой GetModel.sci [7]. Здесь же будут рассмотрены верификации, проведённые на реальных сигналах.

Представленный алгоритм позволяет найти по экспериментальным сиг-



налам пульсаций давления в камере сгорания и вибрациям элементов конструкции значения показателей устойчивости рабочего процесса по «шумам» (для «мягкого» возбуждения). Среднеквадратическое значение физической величины (пульсации или вибрации), соответствующее пику, находится суммированием спектральных отсчетов в обе стороны от центральной частоты до ближайших локальных минимумов или до границ интервала поиска с нормировкой по всей энергии сигнала во временной и частотной области при использовании соотношения Парсевала.

Как отмечалось, отдельные участки реальных сигналов и тем более разные сигналы могут иметь разные статистические характеристики, но для равномерности использования параметрического спектрального анализа обрабатываемый набор отсчетов сигнала должен принадлежать к стационарному широкополосному шуму, который прошел через систему узкополосных фильтров, сохраняя свойства авторегрессионного процесса. При этом из набора отсчетов сигнала должны быть предварительно удалены ненулевое среднее и тренд, иначе в спектре авторегрессионной модели [3] могут присутствовать паразитные составляющие низкой частоты.

Таким образом, параметрический спектральный анализ сигналов, полученных при огневом стендовом испытании жидкостного ракетного двигателя, с целью определения показателей устойчивости рабочего процесса в камерах сгорания коротко состоит из следующих операций:

1. Последовательность отсчетов сигнала разбивается на сегменты, соответствующие определенным временным интервалам (рекомендуемая статистической точностью длительность интервала не менее 0,2 сек);
2. Из сегмента данных удаляется тренд и ненулевое среднее значение;
3. Для каждого сегмента определяются коэффициенты модели;
4. По коэффициентам модели формируется спектральная плотность мощности для выбранного сегмента (количество точек быстрого преобразования Фурье должно быть больше порядка авторегрессионной модели не менее чем в 4 раза);
5. В заданных частотных интервалах поиска собственных мод выделяются наибольшие пики;
6. Выбранные пики аппроксимируются формой резонансной кривой колебательного контура второго порядка с определением резонансной частоты и логарифмического декремента колебаний;
7. Находится среднеквадратическое значение сигнала в полосе частот, соответствующих пику, найденное значение нормируется на средний квадрат сегмента данных, сформированных после п. 2.

#### **Результаты экспериментов**

#### ***Верификация методики на сигналах пульсаций давления в камере сгорания двигателя***

При переходе на горючее «нафтил» были проведены огневые стендовые испытания двух экземпляров двигателей с целью подтвердить достаточность запасов устойчивости рабочего процесса в камерах сгорания двигателя и газогене-

ратора. По результатам обработки пульсаций давления в полостях горючего форсуночных головок камер сгорания и вибраций корпусов было получены экспериментальные данные. С точки зрения выявления опасных частот в камерах двигателя рассматривались частоты  $\sim 3900$  Гц, соответствующие 1 тангенциальной – 1 продольной моде. Полученные с помощью вейвлет-преобразования автокорреляционной функции сигнала декременты находились в пределах от 0,04 до 0,06.

Через сопоставление – метода модифицированных периодограмм и метода модифицированных ковариаций спектров сигналов пульсаций давления установлено, что хорошее подобие основных пиков достигается при выборе порядка авторегрессионной модели не менее 650. В связи с этим для определения показателей устойчивости выбран порядок  $p = 700$ .

Для верификации выбраны сигналы, условно,  $d$  и  $p$  камеры сгорания двигателя, полученные в ходе испытания. В экспериментальных данных приведены следующие данные по показателям устойчивости, определенных по этим параметрам:

$d$  – резонансная частота  $3930 \pm 40$  Гц, декремент 0,06;

$p$  – резонансная частота  $3915 \pm 15$  Гц, декремент 0,06.

При анализе использовалось осреднение по временному интервалу 10 с.

Обработка записей  $d$  и  $p$  с использованием данной методики проводилась при следующих настройках:

- частота дискретизации – 40960 Гц;
- длина сегмента – 20480 отсчетов;
- длина преобразования Фурье – 4096;
- анализируемые частоты – 3930 Гц;
- полуинтервал поиска максимума – 60 Гц.

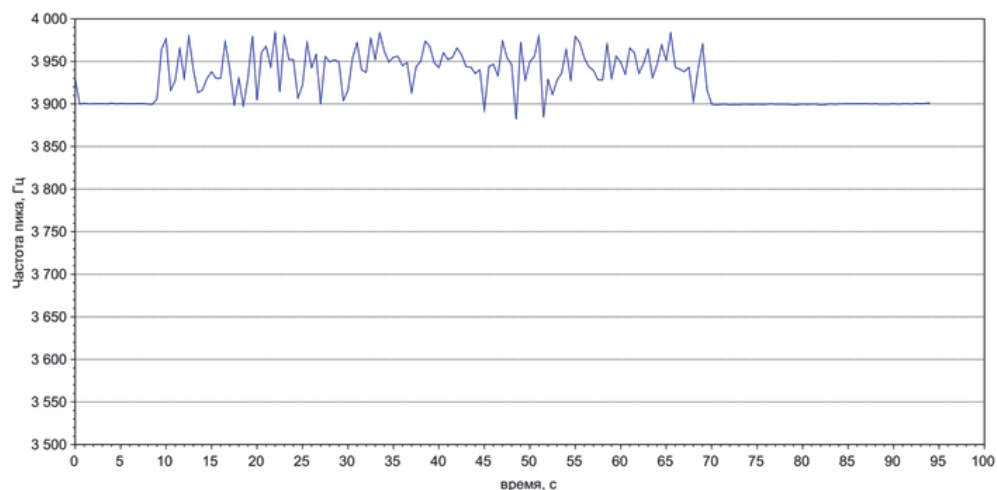
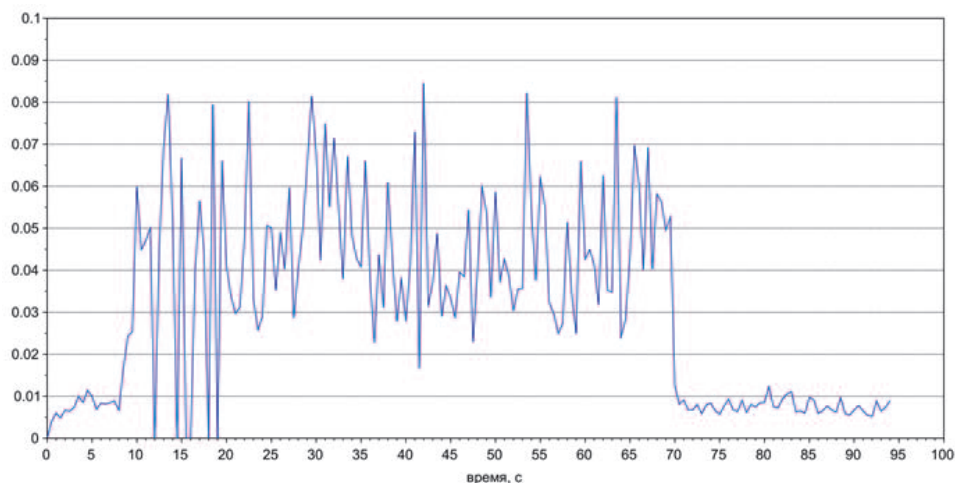
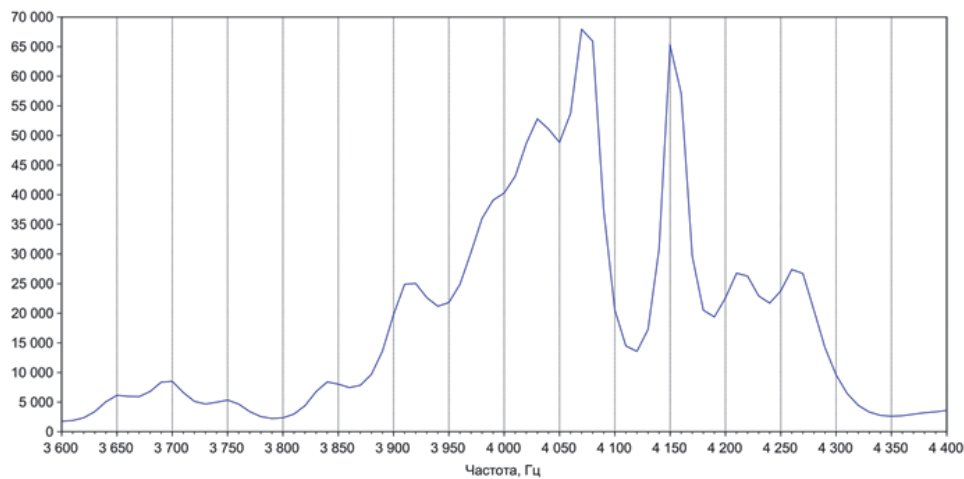


Рисунок 1 – Частота максимума спектра мощности  $d$  в диапазоне 3870...3990 Гц



**Рисунок 2 – Декремент колебаний на частоте максимума спектра мощности  $d$  в диапазоне 3870...3990 Гц**

Результаты обработки параметров  $d$  показаны в виде графиков по времени регистрации данных на рисунках 1 и 2.



**Рисунок 3 – Фрагмент спектра мощности  $d$  в диапазоне 3600...4400 Гц для 30-й с записи**

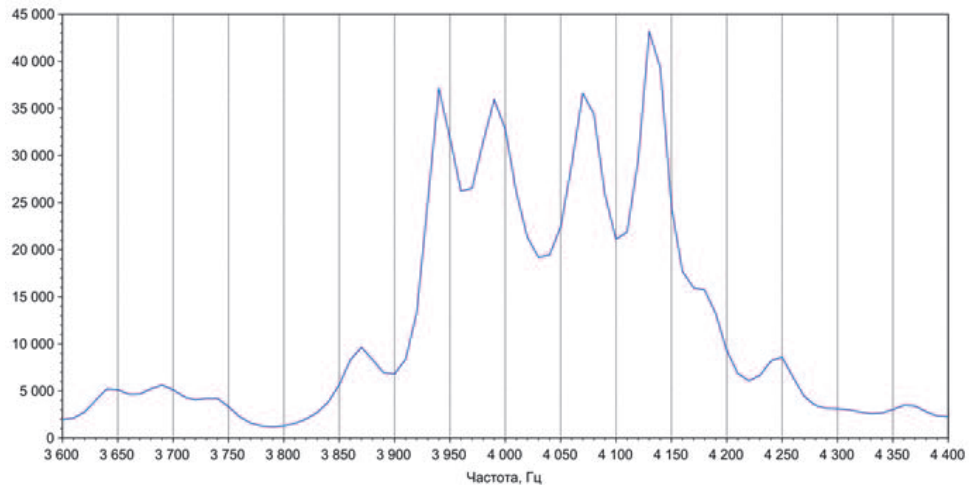


Рисунок 4 – Фрагмент спектра мощности  $d$  в диапазоне 3600...4400 Гц для 40-й с записи

Положение пика спектра мощности  $d$  в диапазоне 3870...3990 Гц соответствует экспериментальным данным.

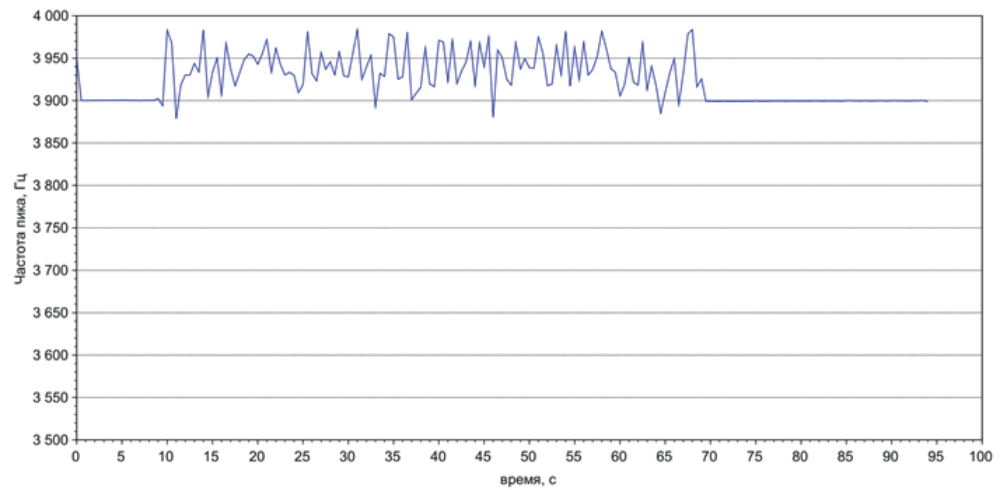
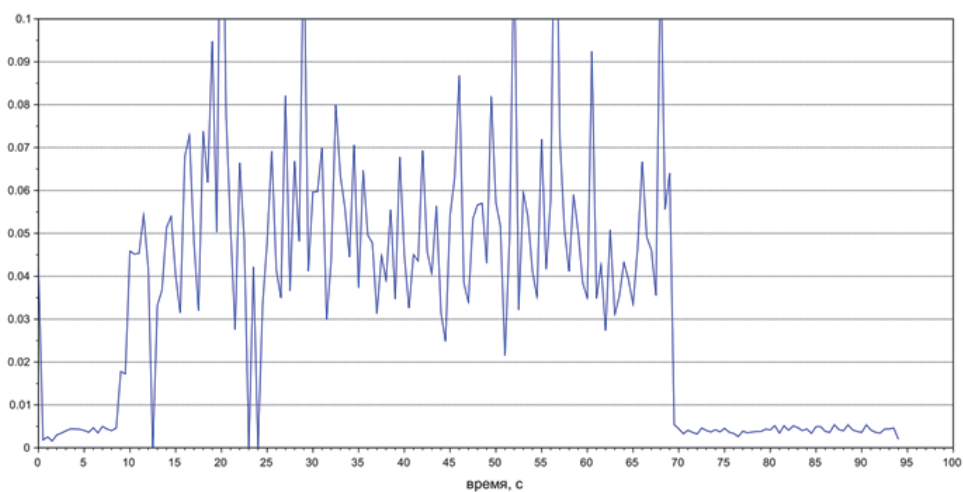
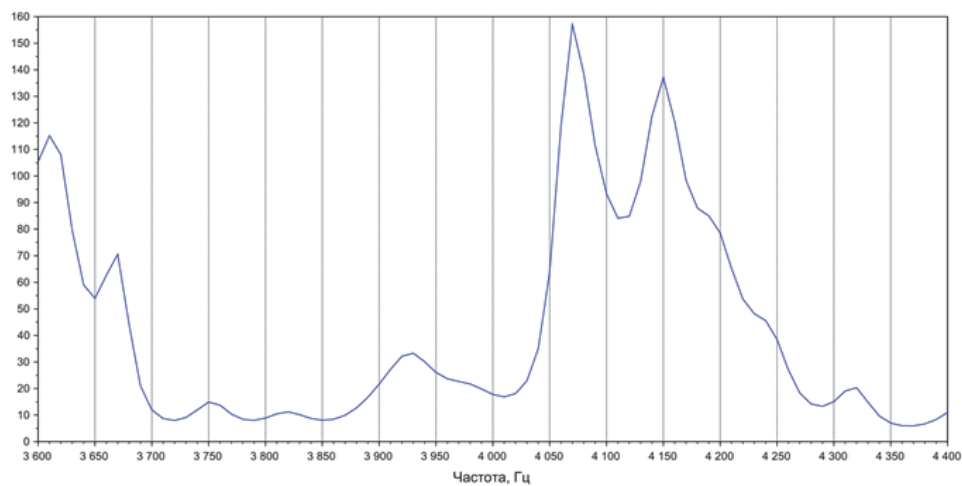


Рисунок 5 – Частота максимума спектра мощности  $p$  в диапазоне 3870...3990 Гц



**Рисунок 6 – Декремент колебаний на частоте максимума спектра мощности  $p$  в диапазоне 3870...3990 Гц**

Также, результаты обработки параметров  $p$  показаны в виде графиков по времени регистрации данных на рисунках 5 и 6.



**Рисунок 7 – Фрагмент спектра мощности  $p$  в диапазоне 3600...4400 Гц для 30-й с записи**

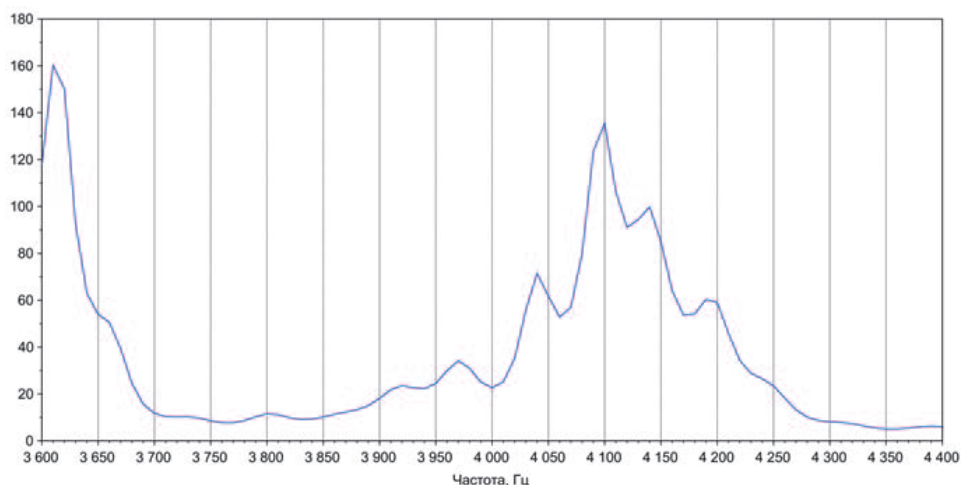


Рисунок 8 – Фрагмент спектра мощности  $p$  в диапазоне 3600...4400 Гц для 40-й с записи

Для параметра  $p$  пик, в целом, сдвинут в сторону высоких частот на 60 Гц. При этом для 30 с записи данных пик совпадает с частотой максимума экспериментальных данных. На рисунке 8 в спектре мощности  $p$  заметен дополнительный подъем на частоте 3970 Гц, который более выражен по сравнению с пиком 3930 Гц, поэтому первый идентифицирован как резонансный.

Декременты, на рисунках 2 и 6, демонстрируют значительный статистический разброс, связанный с короткой длиной сегмента с длительностью, равной 0,5 с. Видно, что декременты, полученные с помощью параметрической авторегрессионной модели, немного меньше экспериментальных данных. Отличие составляет около 10%. По-видимому, данный факт объясняется тем, что предлагаемая методика использует для анализа только верхнюю часть пика, где паразитное влияние соседних подъемов незначительное, в то время как корреляционные оценки учитывают не только сам подъем, но и соседние участки спектра. Нужно отметить, что без проведения специальных исследований с использованием аэроакустических генераторов шумовых сигналов с заданными характеристиками нельзя говорить о том, какие оценки более точно отражают реальные характеристики.

**Выводы.** Методика оценки показателей устойчивости рабочих процессов в камерах сгорания жидкостного ракетного двигателя, основанная на параметрическом спектральном анализе, предназначена для обработки и анализа быстроменяющихся параметров огневых испытаний жидкостного ракетного двигателя с целью определения их склонности к возникновению опасного режима – вибрационного горения. Для определения показателей устойчивости формируется авторегрессионная модель сигнала, которая отражает его основные характеристики.

В данной работе показано применение методики на реальных сигналах с заданными характеристиками.

Результаты обработки сигналов, полученных при огневом стендовом испытании жидкостного ракетного двигателя, подтвердили работоспособность и эффективности определения показателей устойчивости горения в камерах сгорания жидкостного ракетного двигателя с помощью разработанной методики.

*Литература*

1. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. М.: ИД «Вильямс», 2004. 992 с.
2. Владимиров В.С., Жаринов В.В. Уравнения математической физики. М.: Физматлит, 2004. 400 с.
3. Кармалита В.А., Фурлетов В.И. Авторегрессионный метод определения декремента и частоты собственных колебаний газа в камерах сгорания // Физика горения и взрыва. 1987. № 6. С. 33-40.
4. Корпусов М.О. Эллиптические уравнения. Лекция 1 «Оператор Лапласа» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://math.phys.msu.ru/data/366/elllec1.pdf> (дата обращения: 19.10.2021).
5. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990. 265 с.
6. Мосалов О.П., Завьялова Ю.В. Физическая модель шума в камере сгорания жидкостного ракетного двигателя // Информационно-технологический вестник. 2021. № 3(29). С. 42-50.
7. Microsoft. Документация .NET Framework 4.0 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.web.dynamicdata.metamodel.getmodel?view=netframework-4.0> (дата обращения: 01.08.2021).

УДК 517.9

**Математическая модель применения беспилотных летательных аппаратов по уничтожению противоборствующих сил противника**

**В.Г. Найденов**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник,

**К.А. Тарасенко**, научный сотрудник,

**В.А. Захаров**, научный сотрудник,

Федеральное государственное бюджетное учреждение

«46 Центральный научно-исследовательский институт»

Министерства обороны Российской Федерации, г. Москва

*В статье представлена математическая модель применения беспилотных летательных аппаратов по уничтожению противоборствующих сил противника. Разработанная модель позволяет описать ход действий группировки беспилотных летательных аппаратов по распределенной наземной цели, которая прикрывается средствами противовоздушной обороны, а также оценить динамику изменения потенциала группировки беспилотных летательных аппаратов в процессе их применения.*

Математическая модель, дифференциальные уравнения Ланчестера, группировка БПЛА, противовоздушная оборона.

**Mathematical model of the military actions of unmanned aerial vehicles for destruction of enemy opposing forces**

**V.G. Naydenov**, Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher,

**K.A. Tarasenko**, Researcher,

**V.A. Zakharov**, Research Associate,

Federal State Budgetary Institution «46 Central Research Institute»

of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow

*The mathematical model of military actions of unmanned aerial vehicles for destroying enemy opposing forces is presented in the article. This model allows to describe the course of action of an unmanned aerial vehicle group against a distributed ground target covered by air defense, as well as to assess the dynamics of changes in the military potential of the unmanned aerial vehicle group in the course of its combat use.*

Mathematical model, Lanchester differential equations, UAV group, air defense.

В современном мире значение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) трудно переоценить. В настоящее время для решения различных боевых задач большую значимость приобретает использование различных БПЛА, в том числе и БПЛА ударного типа. БПЛА на данном этапе своего развития признают-



ся одним из важнейших средств расширения спектра возможностей не только воинских частей, подразделений и соединений, но различных видов и родов войск, и их формирований.

В начале двадцать первого века концепция боевого применения БПЛА изменилась и стала иметь следующий вид: групповое применение больших количеств ударных беспилотных летательных аппаратов, которые должны обеспечить достижение следующих целей [3,5,6]:

- вывести из строя противовоздушную оборону (ПВО) важных объектов и войск;
- нанести критический урон инфраструктуре и жизненно важным объектам на территории противника;
- обеспечить снижение боевых потерь собственных войск.

В процессе планирования развития ударных беспилотных летательных аппаратов в качестве показателя эффективности группировки БПЛА, по которому могут приниматься решения по рациональному составу (типажу) таких средств, может выступать потенциал группировки БПЛА, который представляет собой интегральную оценку возможностей такой группировки.

Для оценки потенциала группировки БПЛА в процессе их применения необходимо иметь математическую модель применения одиночного или группы БПЛА по уничтожению противоборствующих сил противника. В качестве примера в статье была проведена разработка и исследование математической модели, описывающей динамику применения группировки ударных БПЛА по распределенной наземной цели, которая прикрывается средствами противовоздушной обороны.

Иллюстрация картины применения БПЛА приведена на рисунке 1. Из рисунка видно, что группировка БПЛА наносит основной удар по наземной цели противника, а также вспомогательный удар по наземным средствам ПВО, прикрывающих распределенную наземную цель противника. Сама же группировка БПЛА подвергается обстрелу средствами противовоздушной обороны. Таким образом, имеет место дуэльная ситуация между группировкой БПЛА и средствами ПВО, прикрывающими наземную распределенную цель.

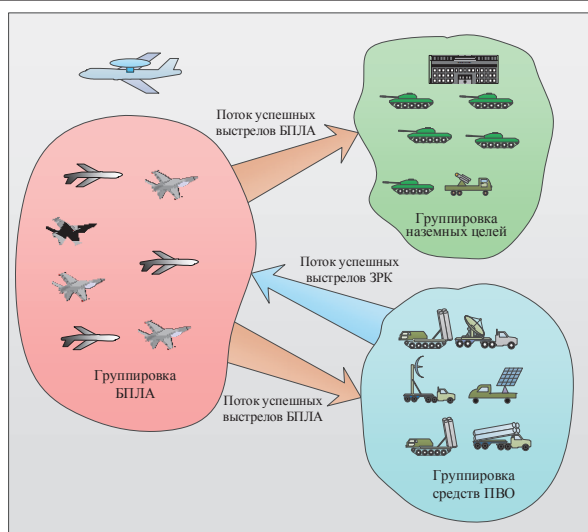


Рисунок 1 – Применение БПЛА по распределенной наземной цели

Группировка ударных БПЛА, состоящая из  $N_1$  единиц, каждый из которых может нести несколько ракет класса «воздух-поверхность» или авиационные бомбы, атакует наземный объект противника, состоящий из  $N_2$  малоразмерных целей. Поскольку объект прикрыт группировкой противовоздушной обороны, состоящей из  $N_3$  зенитных ракетных комплексов, каждый из которых имеет в запасе определенное количество ЗУР, группировка ударных БПЛА одновременно атакует и средства ПВО.

При построении математической модели применения группировки ударных БПЛА примем следующие допущения [1]:

1. Каждая единица со стороны группировки ударных БПЛА или противника до тех пор, пока она не поражена, производит случайный поток выстрелов (пусков ракет или сброс авиационных бомб) с некоторой средней скорострельностью, причем такой поток является пуассоновским.

2. Каждая единица может стрелять по любой единице противоборствующей стороны. Огонь является прицельным, т.е. направлен на поражение вполне определенной единицы противника. Одним пуском ракеты с БПЛА можно поразить более одного объекта распределенной наземной цели.

3. Если единица противника поражена, то огонь мгновенно переносится на другую.

4. Временем полета ракеты до цели можно пренебречь по сравнению с общей длительностью боя.

5. В любой момент времени суммарная мощность каждой противоборствующей группировки (средняя скорострельность всей группы сохранившихся единиц) пропорциональна математическому ожиданию случайного числа сохранившихся единиц.

При построении рассматриваемой математической модели введем следующие обозначения:

$m_1$  – среднее число БПЛА в группировке, сохранившихся непораженными к моменту времени  $t$ ;

$m_2, m_3$  – среднее число наземных объектов распределенной цели противника и среднее число ЗРК, сохранившихся непораженными к моменту времени  $t$  соответственно;

$\lambda_1, \lambda_2$  – средние скорострельности (число пусков ракет в единицу времени) для одного БПЛА или ЗРК соответственно;

$p_1, p_2$  – вероятности поражения одной ракетой наземных целей беспилотным летательным аппаратом, а также поражения БПЛА зенитным ракетным комплексом соответственно;

$k_1, k_2$  – коэффициенты, показывающих во сколько раз в среднем количество средств поражения соответственно в группировке БПЛА и ПВО больше числа ударных БПЛА и применяемых ЗРК.

Тогда при заданных допущениях каждый БПЛА осуществляет пуассоновский поток успешных пусков с плотностью  $\Lambda_1 = \lambda_1 \cdot p_1$ , а один ЗРК – с плотностью  $\Lambda_2 = \lambda_2 \cdot p_2$ .

Обозначим через  $\Delta m_1, \Delta m_2, \Delta m_3$  изменение соответственно величин  $m_1, m_2, m_3$  за малый промежуток времени  $\Delta t$ . За такой промежуток времени изменения величин  $\Delta m_1, \Delta m_2, \Delta m_3$  могут быть определены в соответствии со следующими выражениями:

$$\Delta m_1 = -\Lambda_3 \cdot m_3 \cdot \Delta t, \quad (1)$$

$$\Delta m_2 = -\Lambda_1 \cdot m_1 \cdot \alpha_1 \cdot \Delta t, \quad (2)$$

$$\Delta m_3 = -\Lambda_1 \cdot m_1 \cdot \alpha_2 \cdot \Delta t, \quad (3)$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – коэффициенты приоритета применения средств поражения БПЛА по наземному объекту противника и по обороняемым этот объект средствам ПВО соответственно.

Коэффициенты  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  связаны следующим соотношением  $\alpha_1 = 1 - \alpha_2$ .

На рисунке 2 показан граф взаимодействия противоборствующих сторон.

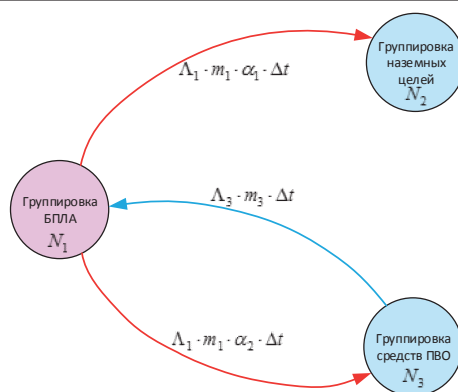


Рисунок 2 – Граф взаимодействия противоборствующих сторон

Для учета ограниченности боезапаса у группировок БПЛА и средств ПВО, необходимо рассчитать время ведения огня с заданной скорострельностью для группировки БПЛА  $\tau_1$  и для группировки ПВО  $\tau_2$ :

$$\tau_1 = \frac{k_1}{\lambda_1}, \quad \tau_2 = \frac{k_2}{\lambda_2}.$$

Значения коэффициентов  $k_1$  и  $k_2$  могут быть определены из следующих выражений:

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} n_i}{N_1}, \quad k_2 = \frac{\sum_{j=1}^{N_3} \bar{n}_j}{N_3}.$$

где  $n_i$  – количество ракет в боекомплекте одного  $i$ -го БПЛА,  $i = \overline{1, N_1}$ ;

$\bar{n}_j$  – количество ЗУР в боекомплекте одного  $j$ -го ЗРК,  $j = \overline{1, N_3}$ ;

Кроме того, в выражении (2) необходимо учесть наличие у БПЛА боеприпасов большой мощности, способных поразить не одну, а несколько распределенных наземных целей.

Обозначим через  $k_3$  среднее число соседних единиц наземных целей, которые могут быть поражены одной ракетой, запущенной с БПЛА. Тогда средняя убыль числа наземных целей  $\Delta m_2$  в единицу времени  $\Delta t$  будет состоять из двух слагаемых: среднего числа целей, поражаемых непосредственно по ним стрельбой ракетами с БПЛА и среднего числа соседних целей, поражаемых за счет большого радиуса поражения ракет. В этом случае в правую часть выражения (2) добавляется еще одно слагаемое, и это выражение переписывается в следующем виде:

$$\Delta m_2 = -\Lambda_1 \cdot m_1 \cdot \alpha_1 \cdot \Delta t \left( 1 + k_3 \frac{m_2}{N_2} \right),$$

где отношение  $m_2/N_2$  представляет собой вероятность того, что соседняя наземная цель не была заранее поражена.

Тогда деля обе части равенств (1), (2) и (3) на  $\Delta t$  и переходя к пределу  $\Delta t \rightarrow 0$ , получим следующую систему классических дифференциальных уравнений Ланчестера [1, 2] для первого участка времени:

$$\begin{aligned} \frac{dm_1(t)}{dt} &= -\Lambda_3 \cdot m_3(t), \\ \frac{dm_2(t)}{dt} &= -\Lambda_1 \cdot m_1(t) \cdot \alpha_1 \cdot \left( 1 + k_3 \frac{m_2(t)}{N_2} \right), \\ \frac{dm_3(t)}{dt} &= -\Lambda_1 \cdot m_1(t) \cdot \alpha_2, \end{aligned} \quad (4)$$

Эта система уравнений должна интегрироваться при следующих начальных условиях:  $m_1(0) = N_1, m_2(0) = N_2, m_3(0) = N_3, t = 0$ .

При достижении времени  $\tau_1$ , боезапас у группировки БПЛА будет потрачен. Тогда система дифференциальных уравнений примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{dm_1(t)}{dt} &= -\Lambda_3 \cdot m_3(t), \\ \frac{dm_2(t)}{dt} &= 0, \\ \frac{dm_3(t)}{dt} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Эта система уравнений должна интегрироваться при следующих начальных условиях:  $m_1(0) = m_1(\tau_1), m_2(0) = m_2(\tau_1), m_3(0) = m_3(\tau_1), t = \tau_1$ .

Граф взаимодействия противоборствующих сторон при отсутствии боезапаса у группировки БПЛА показан на рисунке 3(а).

При достижении времени  $\tau_2$ , боезапас у средств ПВО будет также потрачен. Тогда система дифференциальных уравнений примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{dm_1(t)}{dt} &= 0, \\ \frac{dm_2(t)}{dt} &= -\Lambda_1 \cdot m_1(t) \cdot \alpha_1 \cdot \left(1 + k_3 \frac{m_2(t)}{N_2}\right), \\ \frac{dm_3(t)}{dt} &= -\Lambda_1 \cdot m_1(t) \cdot \alpha_2. \end{aligned} \quad (6)$$

Эта система уравнений должна интегрироваться при следующих начальных условиях:  $m_1(0) = m_1(\tau_2)$ ,  $m_2(0) = m_2(\tau_2)$ ,  $m_3(0) = m_3(\tau_2)$ ,  $t = \tau_2$ .

Граф взаимодействия противоборствующих сторон при отсутствии боезапаса у средств ПВО показан на рисунке 3(б).

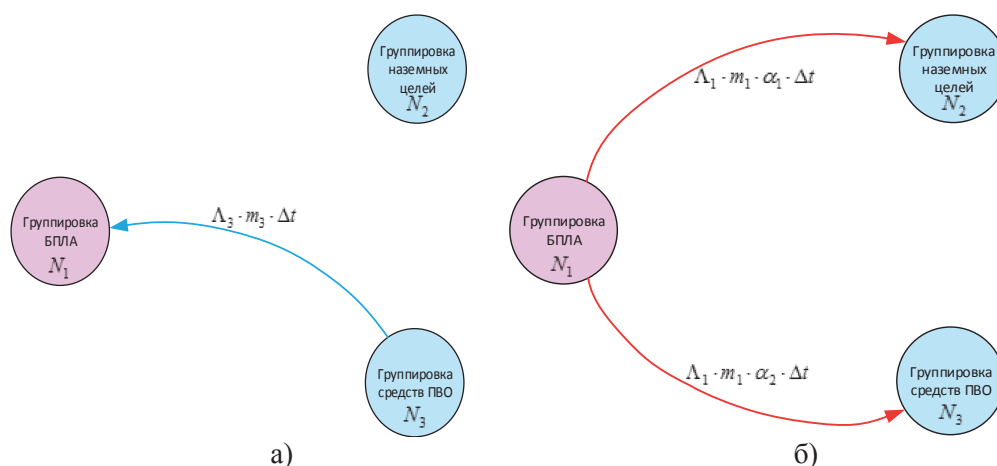


Рисунок 3 – Граф взаимодействия противоборствующих сторон при отсутствии боезапаса у группировки БПЛА (а) и средств ПВО (б)

Обобщенный алгоритм математической модели применения беспилотных летательных аппаратов по уничтожению противоборствующих сил противника представлен на рисунке 4.

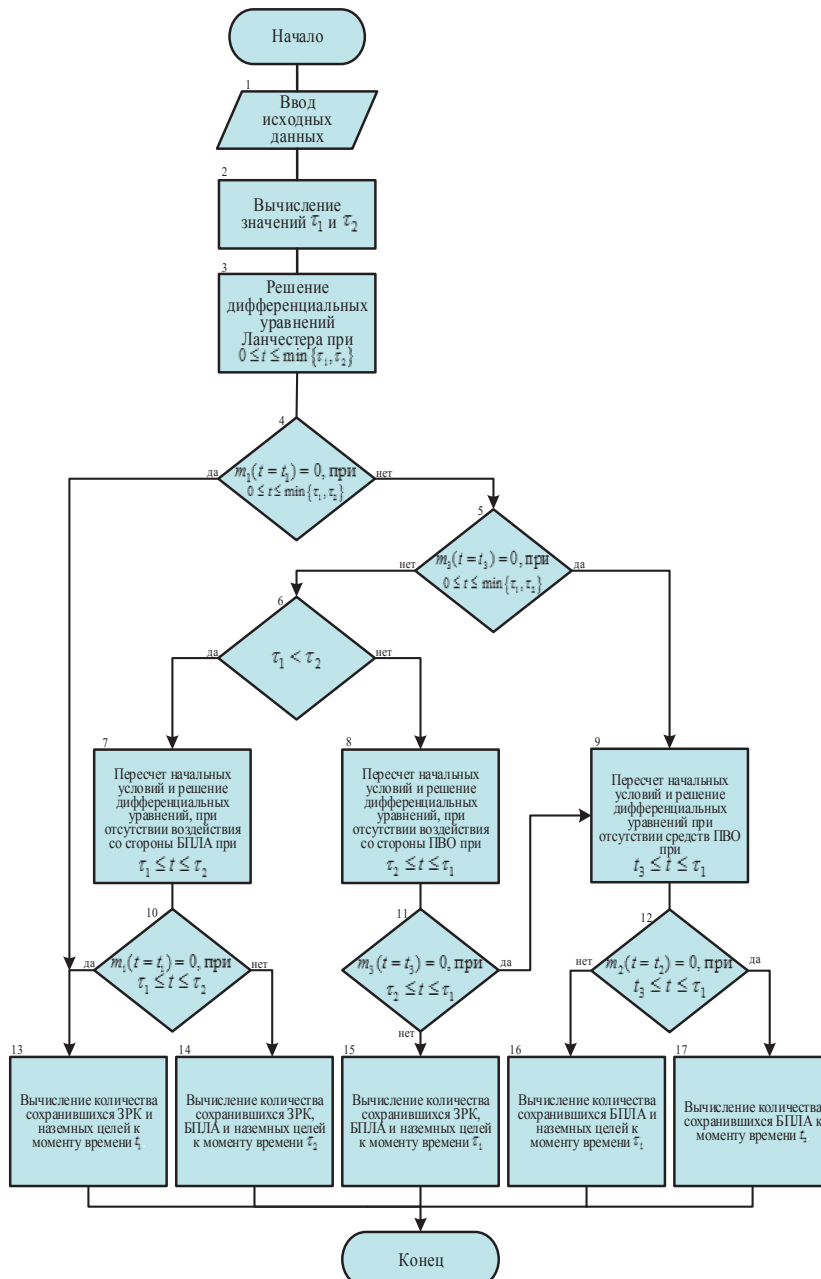


Рисунок 4 – Обобщенный алгоритм математической модели применения беспилотных летательных аппаратов по уничтожению противоборствующих сил противника

В блоке 1 проводится ввод исходных данных.

В блоке 2 проводится расчет времени ведения огня с заданной скоростью для группировки БПЛА  $\tau_1$  и группировки ПВО  $\tau_2$ .

В блоке 3 проводится составление и решение дифференциальных уравнений Ланчестера для первого участка времени (от начала боя  $\{t = 0\}$  до момента времени  $t = \min\{\tau_1, \tau_2\}$  окончания боезапаса у одной из противоборствующей стороны).

В блоке 4 проводится проверка условия уничтожения группировки БПЛА на первом участке времени. Если группировка БПЛА уничтожена (момент времени  $t_1$ ), то бой считается оконченным. В блоке 13 проводится вычисление количества сохранившихся ЗРК и наземных целей к моменту времени  $t_1$ . В противном случае в блоке 5 проводится проверка условия уничтожения группировки ПВО на первом участке времени. Если группировка ПВО уничтожена (момент времени  $t_3$ ), то проводится пересчет начальных условий на момент времени  $t_3$ , составление и решение дифференциальных уравнений на промежутке времени от момента уничтожения группировки ПВО  $t_3$  до момента времени  $\tau_1$  окончания боезапаса у группировки БПЛА (блок 9). Управление передается на блок 12. Если до момента времени  $\tau_1$  группировка БПЛА уничтожит распределенную наземную цель (момент времени  $t_2$ ), то в блоке 17 проводится вычисление количества сохранившихся БПЛА к моменту времени  $t_2$ . В противном случае в блоке 16 на момент времени  $\tau_1$  происходит вычисление количества сохранившихся БПЛА и наземных целей. Тогда бой считается оконченным.

В случае, если на первом участке времени ни одна из противоборствующих сторон полностью не уничтожена, действие алгоритма продолжается с переходом на блок 6.

В блоке 6 проводится сравнение времени ведения огня с заданной скорострельностью для группировки БПЛА  $\tau_1$  и группировки ПВО  $\tau_2$ .

Если у группировки БПЛА боезапас заканчивается раньше, чем у средств ПВО, то в блоке 7 проводится пересчет начальных условий к моменту времени  $\tau_1$  и осуществляется решение системы дифференциальных уравнений (5) при отсутствии на средства ПВО воздействия со стороны БПЛА.

В блоке 10 проводится проверка условия уничтожения группировки БПЛА средствами ПВО (момент времени  $t_1$ ) до момента времени  $\tau_2$  окончания боезапаса у средств ПВО. Если условие выполняется, то в блоке 13 проводится вычисление количества сохранившихся ЗРК и наземных целей к моменту времени  $t_1$ . В противном случае в блоке 14 к моменту времени  $\tau_2$  проводится вычисление количества сохранившихся ЗРК, БПЛА и наземных целей. Бой считается оконченным.

Если у группировки БПЛА боезапас заканчивается позже, чем у средств ПВО ( $\tau_1 > \tau_2$ ), то в блоке 8 проводится пересчет начальных условий к моменту времени  $\tau_2$  и осуществляется решение системы дифференциальных уравнений (6) при отсутствии воздействия со стороны средств ПВО.



В блоке 11 проводится проверка условия уничтожения средств ПВО группировкой БПЛА (момент времени  $t_3$ ) до момента времени  $\tau_1$  окончания боезапаса у БПЛА.

Если группировка ПВО уничтожена (момент времени  $t_3$ ), то управление передается на блок 9, а затем на блоки 12, 16 и 17, описание которых приведено выше. Если группировка ПВО к моменту времени  $\tau_1$  окончания боезапаса у БПЛА не уничтожена, в блоке 15 на момент времени  $\tau_1$  происходит вычисление количества сохранившихся ЗРК, БПЛА и наземных целей. Бой также считается оконченным.

Таким образом, представленный алгоритм позволяет учесть всевозможные исходы применения группировки БПЛА по уничтожению противоборствующих сил противника.

Апробация разработанного алгоритма была проведена с использованием комплекса прикладных программ Maple [4].

На рисунке 5 показаны графики изменения среднего числа БПЛА в группировке, наземных объектов распределенной цели противника и числа зенитных ракетных комплексов.

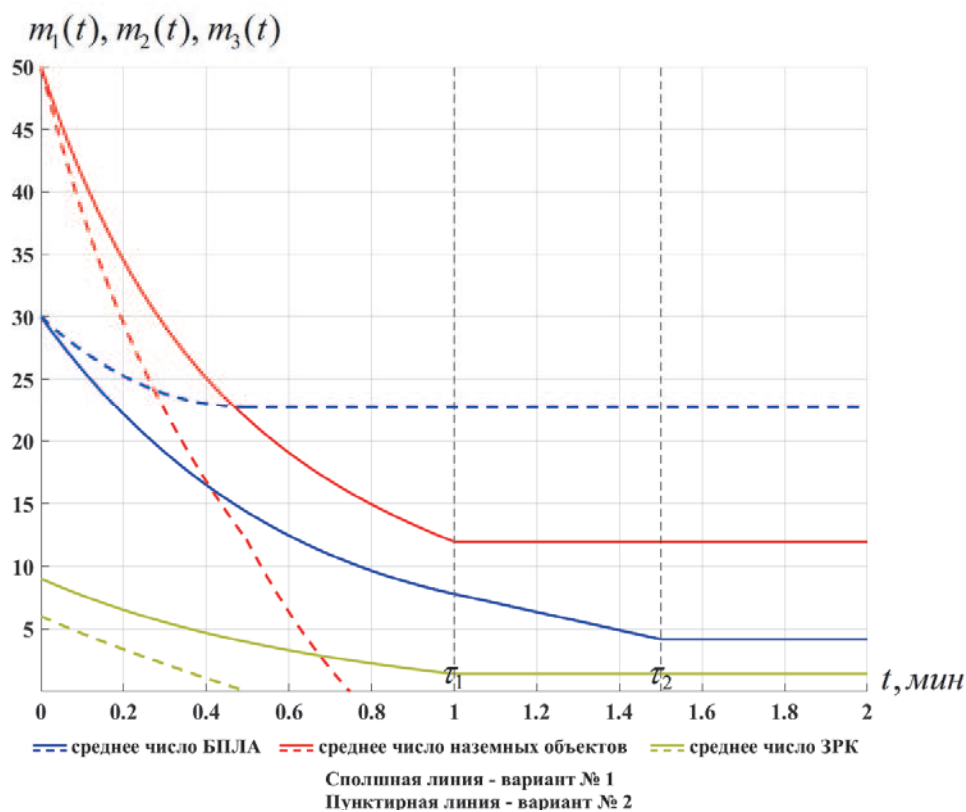


Рисунок 5 – Графики семейства зависимостей количества БПЛА, наземных объектов и ЗРК от времени

Для апробации разработанной модели были смоделированы две ситуации при различных вариантах условных исходных данных, приведенных в таблице 1.

**Таблица 1 – Варианты условных исходных данных для математической модели**

Наименование характеристики	Обозначение	Вариант №1	Вариант №2
Начальное число БПЛА	$N_1$	30	30
Начальное число наземных целей противника	$N_2$	50	50
Начальное число ЗРК	$N_3$	9	6
Средняя скорострельность для одного БПЛА в минуту	$\lambda_1$	2	2
Средняя скорострельность для одного ЗРК в минуту	$\lambda_2$	6	6
Вероятность поражения наземной цели огнем БПЛА	$p_1$	0,8	0,8
Вероятность поражения БПЛА одной ракетой зенитного ракетного комплекса	$p_2$	0,85	0,85
Коэффициент приоритета поражения наземной цели огнем с БПЛА	$\alpha_1$	0,7	0,7
Коэффициент приоритета поражения ЗРК огнем с БПЛА	$\alpha_2$	0,3	0,3
Количество средств поражения на одном БПЛА	$k_1$	2	2
Количество ЗУР в составе ЗРК	$k_2$	9	9
Среднее число соседних единиц наземных целей, поражаемых одним боеприпасом БПЛА	$k_3$	2	3

Анализ полученного семейства зависимостей, позволяет сделать следующие выводы:

- с уменьшением начального значения количества ЗРК, среднее число БПЛА в группировке, сохранившихся непораженными к моменту времени  $t$ , увеличивается;

- при увеличении среднего количества соседних единиц наземных целей, которые могут быть поражены одной ракетой, запущенной с БПЛА, среднее число наземных объектов распределенной цели противника, сохранившихся непораженными к моменту времени  $t$ , уменьшается;

- в варианте № 1 количество БПЛА, находящихся в группировке, позволяет к моменту времени ( $\tau_1 = 1 \text{ мин}$ ) окончания боезапаса у БПЛА уничто-

жить 76 % наземных целей противника и 83 % ЗРК, прикрывающих цели противника. К моменту времени ( $\tau_2 = 1,5 \text{ мин}$ ) окончания боезапаса у средств ПВО 87% БПЛА будут уничтожены.

– в варианте № 2, при уменьшении начального количества ЗРК, количество БПЛА, находящихся в группировке, позволяет за время, равное 30 секундам, уничтожить группировку ПВО. После чего коэффициент приоритета поражения наземной цели огнем с БПЛА  $\alpha_1$  станет равным 1. До момента времени ( $\tau_1 = 1 \text{ мин}$ ) окончания боезапаса у БПЛА все наземные цели будут уничтожены за время, равное 45 секунд. К моменту окончания остались не пораженными 77% БПЛА от их начального количества.

Таким образом, разработанная математическая модель достаточно адекватно описывает применение группировки БПЛА и средств противовоздушной обороны, а также позволяет оценить динамику изменения потенциала группировки БПЛА в процессе их применения. Представленная математическая модель может быть использована в составе методического аппарата обоснования рационального типажа ударных беспилотных летательных аппаратов.

#### *Литература*

1. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций. М.: Советское радио, 1964.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1988. 208 с.
3. Ерёмин Г.В., Гаврилов А.Д., Назарчук И.И. Малоразмерные беспилотники – новая проблема для ПВО [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://arsenal-otchestva.ru/component/content/> (дата обращения: 01.12.2021).
4. Мансон Б.М. Maple V Power Edition. М.: Информационный издательский дом «Филинь», 1998. 240 с.
5. Перспективы развития беспилотных вертолетов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://russiandrone.ru/publications/perspektivy-razvitiya-bespilotnykh-vertoletov/>. (дата обращения: 12.11.2021).
6. Применение беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://topwar.ru/> (дата обращения: 16.12.2021).

УДК 629.735.33

**Сравнительный анализ методов повышения термостойкости лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей**

**Н.Г. Серёгин**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры управления качеством и стандартизации,  
**И.А. Сигутин**, студент 3 курса,

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*Выполнен анализ методов повышения термостойкости лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей путём сравнения метода микродугового оксидирования лопаток турбин и метода нанесения на никелевую обложку слоя теплозащитного материала из керамики технологией EB-PVD.*

Газотурбинный авиационный двигатель, лопатка турбины теплозащитное покрытие.

**Comparative analysis of methods for increasing the thermal stability of turbine blades of aircraft gas turbine engines**

**N.G. Seregin**, Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department of Quality Management and Standardization,

**I.A. Sigutin**, 3rd year student,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*The analysis of methods for increasing the thermal stability of turbine blades of aircraft gas turbine engines by comparing the method of micro-arc oxidation of turbine blades and the method of applying a layer of heat-shielding ceramic material to the nickel cover using the EB-PVD technology.*

Gas turbine aircraft engine, turbine blade, heat-shielding coating.

**Предмет исследования**

На данный момент лопатки турбин авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) являются наиболее важными и дорогостоящими деталями в ГТД. Поэтому с целью повышения экономической эффективности и надежности газотурбинных двигателей необходимо совершенствовать методы изготовления лопаток ГТД, а именно, их стойкость к воздействию внешней среды и жаропрочность. В современных авиационных ГТД применяют лопатки из жаростойких материалов, которые подвергаются интенсивным термическим и механическим нагрузкам в

условиях воздействия на них внешней агрессивной среды обладающей, как правило, коррозионным эффектом. Надежность лопаток турбин определяет ресурс самих ГТД, а, следовательно, летно-технические и эксплуатационные характеристики летательных аппаратов [1], а также безопасность полетов.

Для обеспечения надежности лопаток турбин газотурбинных двигателей разработаны различные методы, в том числе методы улучшения их теплозащитного покрытия (ТЗП). ТЗП активно используются для защиты лопаток ГТД от чрезмерных температур и высокотемпературного окисления, а потому теплозащитные покрытия лопаток турбин – это один из наиболее эффективных способов повышения технических характеристик газотурбинных двигателей. На данный момент ТЗП изготовленные из керамики с низкой теплопроводностью, находят все более широкое применение в процессах производства ГТД, поскольку низкая теплопроводность позволяет данным покрытиям выполнять функцию теплозащитных покрытий.

Целью данной работы является анализ методов повышения термической стойкости лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей путём сравнения метода микродугового оксидирования (МДО) лопаток турбин и метода нанесения на никелевую обложку слоя теплозащитного материала из керамики EB-PVD для выявления наиболее перспективного метода покрытия лопаток турбин и дальнейшего совершенствования серийных методов по их обработке.

#### **Методы и средства**

**Метод микродугового оксидирования лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей.** Микродуговое оксидирование – это электрохимический процесс окисления, происходящий преимущественно на поверхности металлов вентильной группы (то есть металлов, на поверхности которых вырабатывается оксидная пленка), а также их сплавов, например, сплавов алюминия, титана, магния, тантала и других в плазме из электролита, который содержит щелочные растворы натрия, калия, различных фосфатов и прочих легирующих элементов, с целью получения оксидных покрытий. Покрытия, которые были получены при помощи данной технологии, обладают весьма широким спектром применения. Технология МДО позволяет наносить покрытие, как на новые изделия, так и для восстановления покрытий лопаток турбин после износа, также она сокращает время нанесения покрытия за счет наличия микродуговых разрядов, позволяет задействовать меньшее количество оборудования и экономит расход воды. Покрытия, полученные при использовании технологии нанесения ТЗП методом МДО, обладают разнообразными функциональными свойствами, которые представлены в таблице 1.

Благодаря такой универсальности и многофункциональности данных слоев, выполненных методом микродугового оксидирования, обеспечивает применение во многих промышленных отраслях. В основе процесса МДО располагается высокотемпературная электрохимическая реакция в виде микродуговых разрядов на поверхности деталей, которые помещены в электролит, после чего, в результате данной реакции начинает формироваться МДО-покрытие толщиной до 400 мкм, которое обладает высокой прочностью, твердостью, тепло- и электропроводностью, низкой химической активностью и прочими свойствами покрытий, полученных методом микродугового оксидирования. В процессе обра-

зования МДО-покрытия электрический режим обработки, а также состав электролита позволяют регулировать прочность сцепления подложки и покрытия (адгезия). Процесс оксидирования поверхности происходит под напряжением в 450-500 В, так как при таком напряжении активируется процесс микродугового оксидирования и на поверхности подложки возникают микродуговые разряды в точках пробоя барьерного слоя, но процесс формирования покрытия начинается еще до появления искр.

Таблица 1 – Функциональные свойства МДО-покрытий

1) сопротивляемость коррозии
2) жаростойкость
3) износостойкость
4) электроизоляционные
5) защитные
6) защитно-декоративные

Рассматривая процедуру образования МДО-покрытия, можно выделить то, что в области пробоя анодной плотной пленки резко повышаются давление и температура (вследствие перехода энергии электронов в тепловую энергию), а часть металла-основы переходит в раствор, где пребывает в виде ионов, в то время, пока другая часть металла, подвергшегося плавлению, взаимодействует с электролитом и, тем самым, образует МДО-покрытие. Адгезия покрытий микродугового оксидирования с обложкой обеспечивается именно данным слоем. На рисунке 1 представлено изображение МДО покрытия.

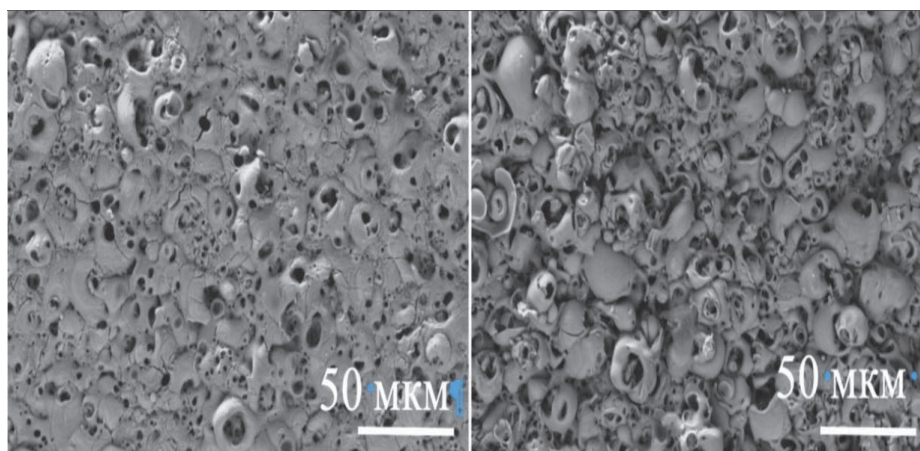


Рисунок 1 – Изображение МДО покрытия

На рисунке 2 представлена слоистая структура МДО-покрытия. МДО-покрытие состоит из трех слоев:

- 1) технологический (внешний) слой – рыхлый, наиболее пористый слой;
- 2) рабочий (внутренний) слой – плотный, имеет высокую микротвердость;
- 3) переходный слой – тонкий (от 0,01 до 0,1 мкм), располагается между слоем оксида и материалом подложки (основы), обозначенный цифрой 4 (см. рисунок 2).

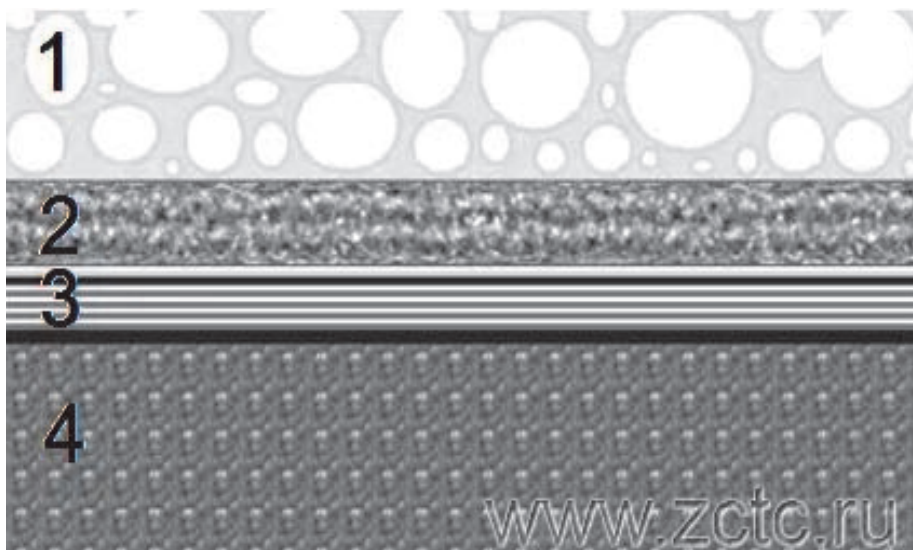


Рисунок 2 – Изображение слоистой структуры МДО-покрытий

Оборудование, используемое технологией микродугового оксидирования, является аналогичным оборудованием, применяемым при различных гальванических процессах. Аппаратурное обеспечение для, применяемое при процедуре микродугового оксидирования наиболее схоже с оборудованием, применяемым при анодировании алюминия (как и сама процедура). Принципиальные различия двух обозначенных выше процедур (МДО и анодирование) заключаются в применяемых источниках питания (при процессе МДО используется большее напряжение, которое вызывает микродуговые разряды в точках пробоя поверхности основы), электролитах, а также в скорости образования защитного покрытия.

Непосредственно в процессе обработки лопаток турбин ГТД технологией микродугового оксидирования на поверхности деталей образуется слой, который состоит из оксида металла подложки, следовательно, это приводит к образованию МДО-слоя, который способен обладать микротвердостью ~ 21 ГПа. Так как твердость поверхности имеет прямую корреляционную зависимость с ее износостойкостью, то, следовательно, МДО-покрытие может существенно повысить износостойкость лопаток газотурбинных двигателей. Также необходимо отме-

тить то, что при применении процедуры по постепенному нагреву деталей термостойкость МДО-покрытия ограничивается лишь температурой плавления металла, из которого состоит сама деталь, что дает возможность создавать детали с повышенной стойкостью к термоциклическим и термическим нагрузкам. Следовательно, модифицированный поверхностный слой, который обладает повышенной твердостью можно получить методом микродугового оксидирования на поверхности лопаток турбин ГТД из композиционного материала, в основе которого лежит Mg-V.

Главные преимущества микродуговых покрытий представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные преимущества МДО-покрытий

1) возможность производства сверхпрочных покрытий, которые уступают по прочности только алмазам
2) возможность получения покрытий различного цвета без дополнительной покраски
3) возможность нанесения покрытий как на внутренних, так и на внешних поверхностях изделий любой формы
4) повышенное сопротивление коррозионной усталости
5) отсутствие необходимости в предварительной обработке поверхности

Недостатки технологии МДО представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные недостатки МДО-покрытий

1) при образовании покрытия существенно возрастает шероховатость поверхности, но ее можно регулировать.
2) повышенный расход электроэнергии, из-за чего обработка крупногабаритных деталей существенно затрудняется.
3) использование специальных источников тока, которые будут обеспечивать высокое рабочее напряжение и плотность тока.

Свойства покрытий методом МДО приведены в таблице 4.



Таблица 4 – Основные свойства покрытий методом МДО

Свойства	Значения свойства покрытий, нанесенных методом МДО
Толщина, мкм	До 400
Адгезионная прочность, МПа	350
Микротвердость, ГПа	21
Пробойное напряжение, В	До 6000
Теплостойкость, °С	До 2500
Коррозионная стойкость	1-й балл по десятибалльной шкале (наивысший)
Пористость, %	От 2 до 50 (регулируемая)
Износостойкость	На уровне твердых сплавов
Теплопроводность, Вт/(м*К)	0,14-0,48

**Метод нанесения на никелевую обложку слоя теплозащитного материала из керамики EB-PVD.** Никелевая основа, на которую непосредственно наносят теплозащитное покрытие является весьма распространенной, так как рабочая температура обложки из данного материала на основании прочностных характеристик может достигать 1150°C [2-3]. Весьма широкое распространение среди керамики приобрела система типа ZrO<sub>2</sub> – 8%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (YSZ). Система YSZ имеет ряд свойств, приведенных в таблице 5, из-за которых данный материал является наилучшим [4-5].

Me<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> – покрытие, состоящее из керамики на основе цирконатов, которое является наиболее перспективной альтернативой YSZ-покрытия, однако необходимо отметить, что поиск других альтернатив покрытию системы YSZ все еще продолжается. Теплопроводность такого покрытия составляет около 1-1,5 Вт/(м·К) и не предрасположено спеканию при температурах до 1200-1400°C [6-9].

EB-PVD – это технология нанесения теплозащитных покрытий с внешним керамическим слоем, обладающих столбчатой структурой, а также вертикальными каналами, благодаря чему, данный метод применяется достаточно часто, так как наличие вертикальных каналов и столбчатой структуры делают ТЗП более устойчивым к деформации в направлении, перпендикулярном столбам, также такая структура ТЗП позволяет понизить коэффициент теплопроводности.

На рисунке 3 представлено изображение микроструктуры ТЗП, полученного методом EB-PVD в масштабе 100 мкм.

Таблица 5 – Основные свойства покрытия системы YSZ

1) коэффициент удельной теплопроводности данного состава является одним из наиболее низких среди всех керамических материалов при высокой температуре (свыше 1000°C) и измеряется в диапазоне 2,5-3 Вт/м*К
2) высокий температурный коэффициент линейного расширения
3) снижение температуры на поверхности жаростойкого соединительного слоя лопатки позволяет существенно (в 2 и более раз) повысить ее ресурс
4) ресурс теплозащитного покрытия зависит от состава жаростойкого соединительного слоя, конструкции и технологии нанесения теплозащитного покрытия
5) наличие керамического слоя при тепловых потоках $\sim (10^6 - 10^7)$ Вт/м <sup>2</sup> обеспечивает снижение температуры на поверхности лопатки турбины высокого давления на величину $\sim 100^\circ\text{C}$ при толщине керамического слоя $\sim 150$ мкм
6) при эксплуатации слоя YSZ при температуре свыше 1200°C наблюдается спекание кристаллитов покрытия

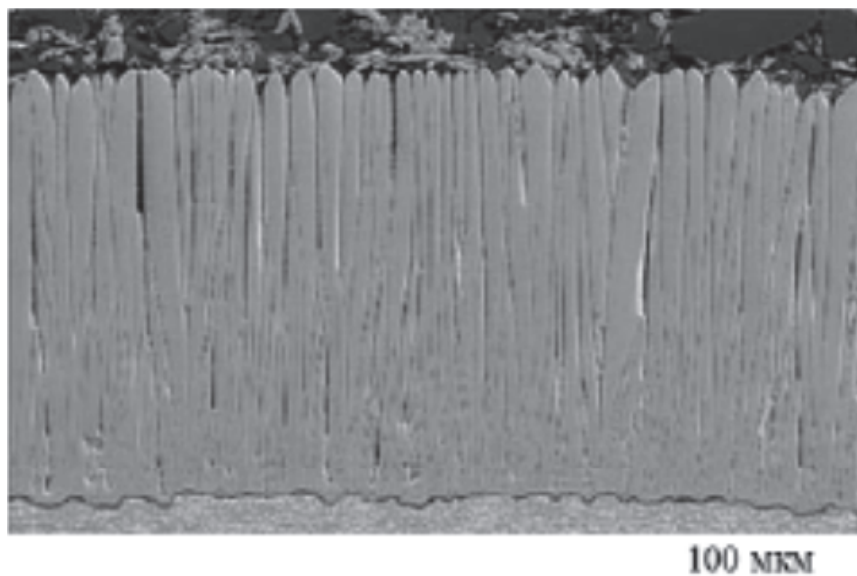
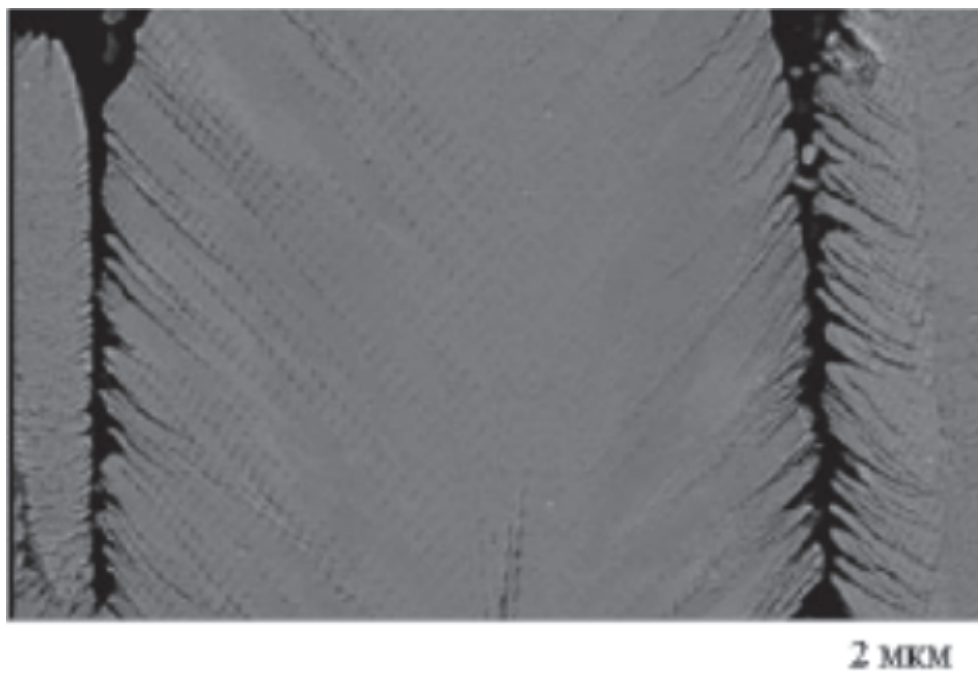


Рисунок 3 – Микроструктура теплозащитного покрытия, полученного методом EB-PVD в масштабе 100 мкм

На рисунке 4 представлено изображение микроструктуры теплозащитного покрытия, полученного методом EB-PVD в масштабе 2 мкм.



**Рисунок 4 – Микроструктура теплозащитного покрытия, полученного методом EB-PVD в масштабе 2 мкм**

Образование керамики, происходящее перпендикулярно (вертикально) к поверхности основы с образованием в покрытии вертикально расположенных каналов (в виде тонких кристаллитов) придает керамическому слою высокую термостойкость на поверхности металлической основы в условиях интенсивных теплосмен, которым подвергаются лопатки газотурбинных двигателей во время эксплуатации. Покрытие, полученное методом EB-PVD, обладает малой шероховатостью, что не препятствует обтеканию лопаток ГТД.

Недостатками метода нанесения покрытий EB-PVD являются высокая энергозатратность метода, громоздкость оборудования, высокая стоимость оборудования и технологии производства теплозащитных покрытий, а также сложность технологического процесса нанесения теплозащитного покрытия, так как для повышения адгезии необходима гладкая поверхность с шероховатостью 1-3 мкм. На таблице 6 представлены свойства покрытия методом: EB-PVD.

Таблица 6 – Основные свойства покрытий методами EB-PVD

Свойства	Значения свойств покрытий, нанесенных методом EB-PVD
Шероховатость, мкм	1,5
Адгезионная прочность, МПа	400
Модуль упругости, ГПа	90
Относительная скорость эрозии	1
Теплопроводность, Вт/(м*К)	1,5-1,9

На рисунке 5 представлено изображения поры EB-PVD-покрытия.

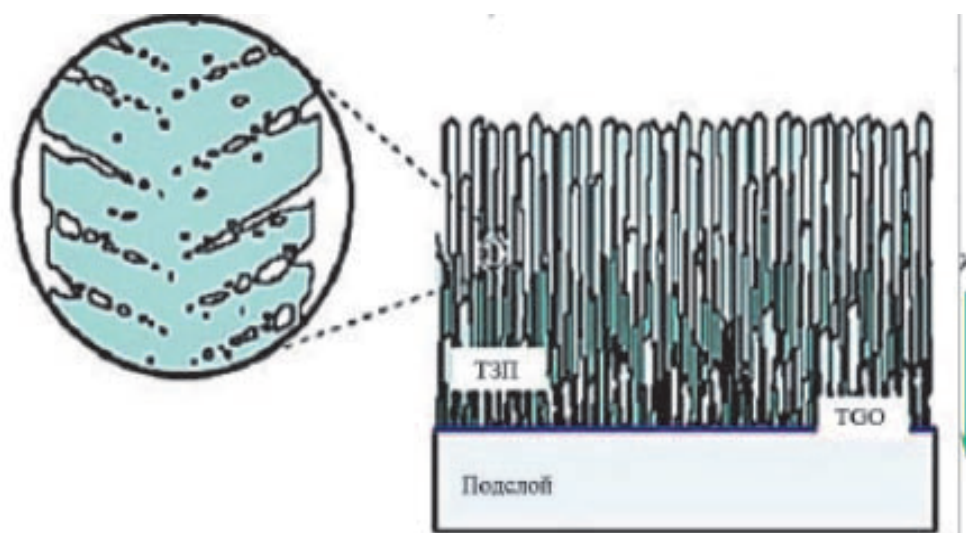


Рисунок 5 – Схематическое изображение морфологии поры EB-PVD-покрытия

#### Результаты исследования

В настоящее время существует множество различных методов нанесения теплозащитных покрытий на подложку лопаток газотурбинных двигателей, однако метод микродугового оксидирования является качественно новой ступенью на векторе совершенствования упрочняющей обработки поверхностей лопаток ГТД, в процессе которого оксидный слой формируется благодаря взаимодействию электрохимических и плазменных механизмов.

Подводя итоги сравнительного анализа методов повышения термостойкости лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей, наиболее перспективным методом, по мнению авторов, является технология МДО-покрытий по следующим причинам:

- экологичность процедуры, благодаря отсутствию сточных вод от подго-

товительных операций.

- повышенная износостойкость покрытий.
- пористость МДО-покрытий может быть существенно снижена путем проведения дополнительной обработки до 2-3%.
- низкая теплопроводность.
- отсутствие необходимости предварительной специальной подготовки поверхности подложки.
- возможность получения оптимальной толщины покрытия (400 мкм).

*Литература:*

1. Серёгин Н.Г., Пудовченко П.Ю. Формирование требований к летательным аппаратам // М.: Информационно-технологический вестник. 2020. № 3(25). С. 60-66.
2. Каблов Е.Н., Петрушин Н.В., Светлов И.Л., Демонис И.М. Никелевые литейные жаропрочные сплавы нового поколения // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 5. С. 36-52.
3. Чубаров Д.А., Матвеев П.В. Новые керамические материалы для теплозащитных покрытий рабочих лопаток ГТД // Авиационные материалы и технологии. 2013. № 4. С. 43-46.
4. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Вершков А.В. Редкие металлы и редкоземельные элементы – материалы современных и будущих высоких технологий // Труды ВИАМ: электронный Научно-технический журнал. 2013. № 2. С. 01.
5. Каблов Е.Н., Мубояджян С.А. Жаростойкие и теплозащитные покрытия для лопаток турбины высокого давления перспективных ГТД // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 5. С. 60-70.
6. Чубаров Д.А., Будиновский С.А., Выбор керамического материала для теплозащитных покрытий лопаток авиационных турбин на рабочие температуры до 1400 °С // Труды ВИАМ: электронный Научно-технический журнал. 2015. № 4. С. 07.
7. Чубаров Д.А., Матвеев П.В. Новые керамические материалы для теплозащитных покрытий рабочих лопаток ГТД // Авиационные материалы и технологии. 2013. № 4. С. 43-46.
8. Levi C.G. Emerging materials and processes for thermal barrier system // Current Opinion in Solid State and Materials Science. 2004. № 8. P. 77-91.
9. Clarke D.R., Phillpot S.R. Thermal barrier coating materials // Materialstoday. 2005. Vol. 8. Issue 6. P. 22-29.

УДК 004

**Проект информационно-управляющей системы стенда 1А ИС-101  
по трехканальной схеме для огневых испытаний  
двигательных установок**

**Ю.В. Стреналюк**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
доктор технических наук,  
профессор кафедры «Информационные технологии и управляющие системы»,  
**Е.В. Гунина**, магистр 1 курса,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*Основная цель статьи – показать состав технических и программных средств информационно-управляющих систем (ИУС) для холодных и огневых испытаний ступеней РН и ЖРД тягой до 250 тс на компонентах топлива АТ+НДМГ и отработки перспективных ДУ ракетных блоков тягой до 500 тс.*

Система управления изделием (СУИ), система управления стендом (СУС), контроля, диагностики и отображения параметров (СКДО), система управления электропитанием (СУЭП), трехканальная схема.

**The project of the information and control system of the stand 1A IS-101  
according to the three-channel scheme for firing tests  
of propulsion systems**

**Yu.V. Strenalyuk**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Doctor of  
Technical Sciences, Professor of the Department of Information  
Technologies and Control Systems,  
**E.V. Gunina**, 1st year masters student,  
State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*The main purpose of the article is to show the composition of the hardware and software of information and control systems (IMS) for cold and fire tests of stages of LV and LRE with a thrust of up to 250 tf on AT + UDMH fuel components and testing of promising remote control rocket blocks with a thrust of up to 500 tf.*

Product management system (PMS), bench control system (SMS), control, diagnostics and display of parameters (SKDO), power supply management system (SUEP), three-channel scheme.

### **Введение**

Информационно-управляющая система стенда ИС-101 включает:

- систему управления изделием (СУИ), обеспечивающую подачу компонентов топлива, газов и рабочих сред на борт стендового блока посредством управления элементами автоматики обвязки изделия;

- систему управления стендом (СУС), обеспечивающую управление отсеками и щитовыми и аварийную защиту стенда;

- систему контроля, диагностики и отображения параметров (СКДО), обеспечивающую формирование интегрированного информационного потока систем управления и измерения, обработку по заданным алгоритмам и отображение прямых и производных параметров на автоматизированных рабочих местах разработчиков изделия и ведущих испытание;

- систему управления электропитанием (СУЭП) аппаратурой ИУС и исполнительными элементами стендового оборудования стенда.

### **Основной раздел**

Рассмотрим каждую составляющую информационно-управляющей системы отдельно.

#### **Система управления стендом**

Система управления стендом предназначена для:

– управления в ручном и автоматическом режимах исполнительными элементами (ИЭ) типа электропневматических клапанов (ЭПК) и двигателей постоянного тока;

– искробезопасного приема сигналов с датчиков давления, температуры, углового положения и контактных датчиков;

– выдачи в стендовые системы команд синхронизации и обменных команд;

– оперативного ввода и проверки циклограмм и алгоритмов управления, а также – их корректировки при необходимости;

– выполнения заданных циклограмм и алгоритмов в автоматическом – режиме с тактом 10 мс;

– регистрации принимаемых с датчиков сигналов и выдаваемых на ИЭ – команд с частотой 100 Гц;

– отображения на экранах персональных электронно-вычислительных – машин (ПЭВМ) автоматизированных рабочих мест (АРМ) операторов и ведущих инженеров состояния элементов автоматики и значений измеряемых параметров стенда в виде мнемосхем, таблиц, графиков, индикаторов и т.д.;

– регистрации, оперативной обработки информации и представления – результатов в виде таблиц, графиков на экране монитора, в электронном и бумажном виде.

Структурная схема СУС представлена на рисунке 1.

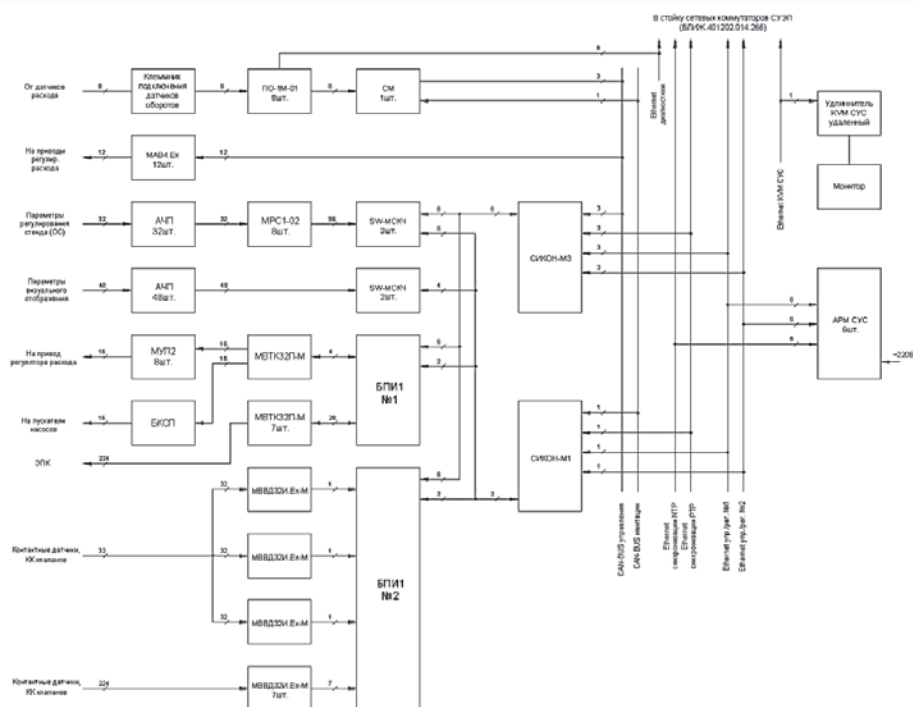


Рисунок 1 – Структурная схема СУС

СУС является двухуровневой распределенной системой. На самом нижнем уровне находятся контроллеры управления, а также устройства связи с объектом. Соответственно на уровне выше находятся места оператора с автоматизированной системой, операторов СУС, АРМ сервер СУС и устройства организации локальной вычислительной сети.

Аппаратура нижнего уровня СУС (контроллеры управления и устройства связи с объектом испытания) монтируется в двух приборных стойках (стойке СУС 1 и стойке СУС2) расположенных в помещении аппаратуры управления в бункере стэнда ИС-101.

АРМ СУС расположены в пультовой бункера стэнда ИС-101. Средства связи с сервером СУС смонтированы в стойке сетевых коммутаторов, расположенной в пультовой бункера стэнда ИС-101.

Связь между верхним и нижним уровнями осуществляется посредством линий высокоскоростной связи (ЛВС) «Ethernet».

СУС выполнена по трехканальной схеме. Центральными устройствами системы являются управляющий трехканальный СИКОН-М3 и регистрирующий одноканальный СИКОН-М1, которые:

- организуют работу аппаратуры системы;
- реализуют циклограммы испытания и алгоритмы управления исполнительными элементами стэнда;
- обеспечивают функции контроля, регистрации и имитации фактически-



го исполнения управляющих команд;

– обеспечивают прием ручных команд от оператора СУС и передачу телеметрии о текущем состоянии системы и стенда на АРМ СУС для отображения и регистрации.

Работа каждого контроллера обеспечивается управляющей программой, организующей цикличное выполнение задачи. Период времени, определяющий цикл работы контроллера называется тактом управляющей программы. Каждый такт контроллера состоит из фиксированной последовательности шагов: опроса входов, обработки рабочих программ и выдачи управляющих сигналов на исполнительные элементы. Длительность такта контроллеров СУС составляет 10 мс.

Контроллер СИКОН-М3 имеет три независимых канала. Аппаратной основой каждого канала являются: процессорный модуль МП530 и тыловой модуль ввода/вывода ТВВ, подключенные к общей для всех трех каналов генеральной плате.

Одноканальный контроллер СИКОН-М1 выполняет функции контроля, имитации и регистрации фактического исполнения команд управляющего контроллера. Аппаратной основой контроллера регистрации, как и контроллера управления, является процессорный модуль МП530 и тыловой модуль ввода/вывода ТВВ, объединенные генеральной монтажной платой. Процессорные модули управляющего и регистрирующего контроллеров одинаковы по аппаратному исполнению и отличаются в составе СУС лишь программным обеспечением, определяющим функциональные особенности модуля и его уникальный сетевой адрес, формируемом при определении конфигурации системы [1].

#### **Система управления изделием**

Система управления изделием предназначена для:

– управления в ручном и автоматическом режимах исполнительными элементами (ИЭ) типа электропневматических клапанов (ЭПК), пиропатронов (ПП), пироклапанов (ПК) и двигателей постоянного тока;

– искробезопасного приема сигналов с датчиков давления, температуры, углового положения и контактных датчиков;

– выдачи в стендовые системы команд синхронизации и обменных команд;

– оперативного ввода и проверки циклограмм и алгоритмов управления, а также – их корректировки при необходимости;

– выполнения заданных циклограмм и алгоритмов в автоматическом режиме с тактом 10 мс;

– регистрации принимаемых с датчиков сигналов и выдаваемых на ИЭ команд с частотой 100 Гц;

– отображения на экранах персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ) автоматизированных рабочих мест (АРМ) операторов и ведущих инженеров состояния элементов автоматики и значений измеряемых параметров стенда в виде мнемосхем, таблиц, графиков, индикаторов и т.д.;

– регистрации, оперативной обработки информации, и представления результатов в виде таблиц, графиков на экране монитора, в электронном и бумажном виде.

Структурная схема СУИ представлена на рисунке 2.

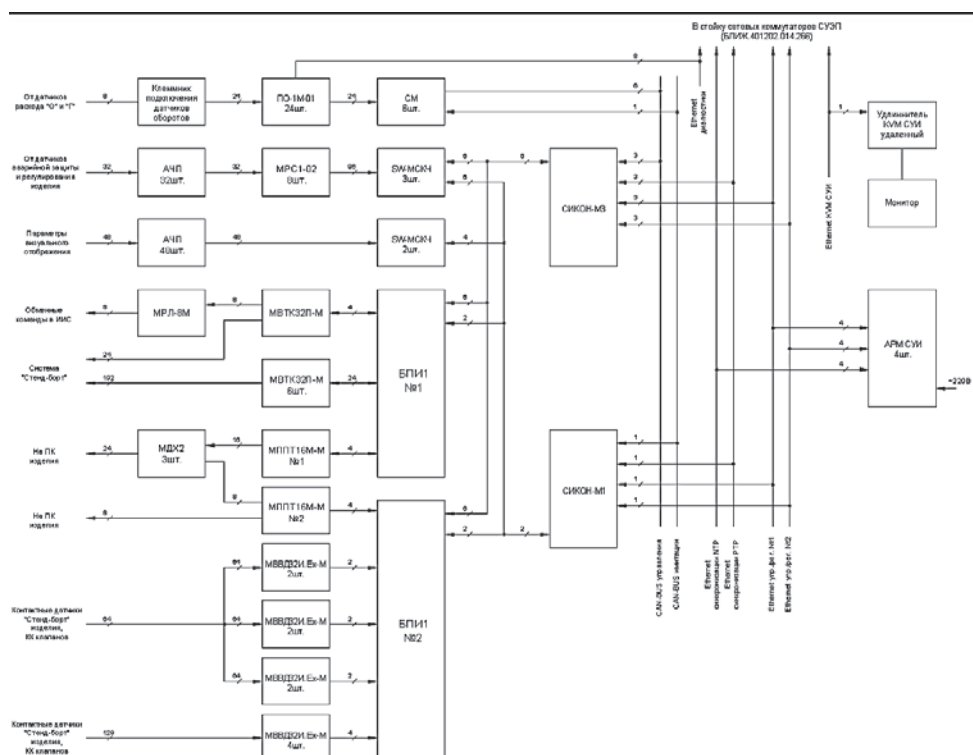


Рисунок 2 – Структурная схема СУИ

СУИ является двухуровневой распределенной системой. Нижний уровень состоит из контроллеров управления и устройств связи с объектом. Верхний уровень включает в себя АРМ операторов СУИ, АРМ сервер СУИ и устройства организации локальной вычислительной сети.

Аппаратура нижнего уровня СУИ (контроллеры управления и устройства связи с объектом испытания) монтируется в двух приборных стойках (стойке СУИ 1 и стойке СУИ 2) расположенных в помещении аппаратуры управления в бункере стенда ИС-101.

АРМ СУИ расположены в пультовой бункера стенда ИС-101. Средства связи с сервером СУИ смонтированы в стойке сетевых коммутаторов, расположенной в пультовой бункера стенда ИС-101.

Связь между верхним и нижним уровнями осуществляется посредством линий высокоскоростной связи (ЛВС) «Ethernet».

СУИ выполнена по трехканальной схеме, представленной на рисунке 3.

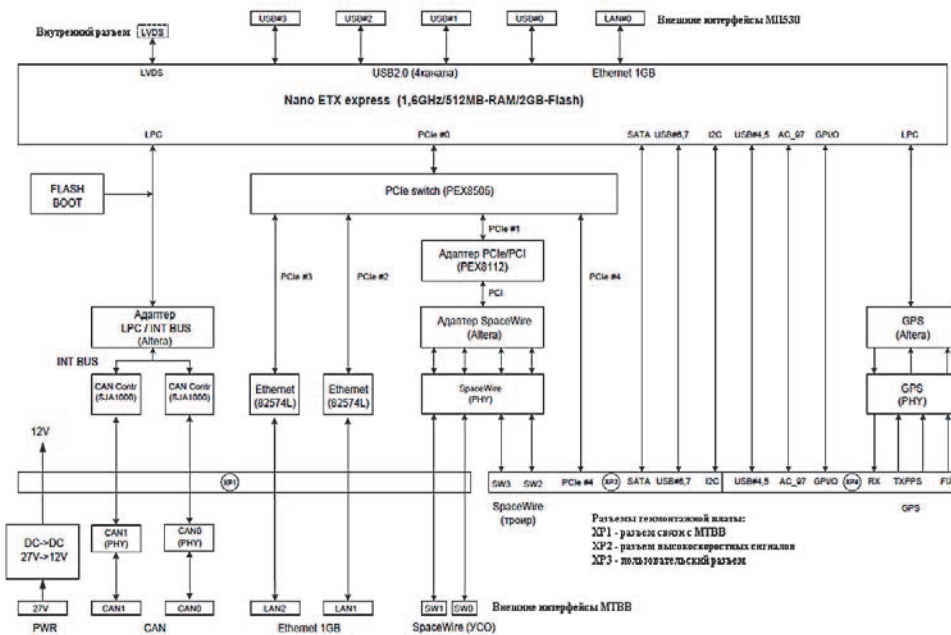


Рисунок 3 – Трехканальная схема СУИ

Центральными устройствами системы являются управляющий трехканальный СИКОН-М3 и регистрирующий одноканальный СИКОН-М1, которые:

- организуют работу аппаратуры системы;
- реализуют циклограммы испытания и алгоритмы управления исполнительными элементами стенда;
- обеспечивают функции контроля, регистрации и имитации фактического исполнения управляющих команд;
- обеспечивают прием ручных команд от оператора СУИ и передачу телеметрии о текущем состоянии системы и стенда на АРМ СУИ для отображения и регистрации.

СКДО предназначена для подготовки и проведения холодных и огневых стендовых испытаний агрегатов и двигательных установок I и II ступеней и огневых стендовых испытаний двигательной установки II ступени, включающих четыре и более жидкостных ракетных двигателей, на высококипящих компонентах ракетного топлива (несимметричный диметилгидразин в качестве горючего + азотный тетраоксид в качестве окислителя) в составе ракетных блоков в части системы управления [2].

#### Система контроля, диагностики и отображения параметров

Система контроля, диагностики и отображения параметров предназначена для:

- объединения информационных потоков стендовых систем;

–ведения, а также измерения показателей, обрабатывания и внешнего визуального отображения полученной информации о работоспособности стенда и изделия в удобной для восприятия форме;

–регистрации объединенного потока данных с частотой не выше 2 Гц;

–осреднения параметров СИ и СУ для обеспечения отображения их с заданной частотой обновления;

СКДО включает в себя одну ориентированную автономную систему, смонтированную в стойке. Центральным устройством системы является сервер-мост, который объединяет информационные потоки ИУС и СИ, усредняет и выдает в сеть СКДО поток информации на АРМ СКДО для отображения на визуальных формах. Схема СКДО представлена на рисунке 4.

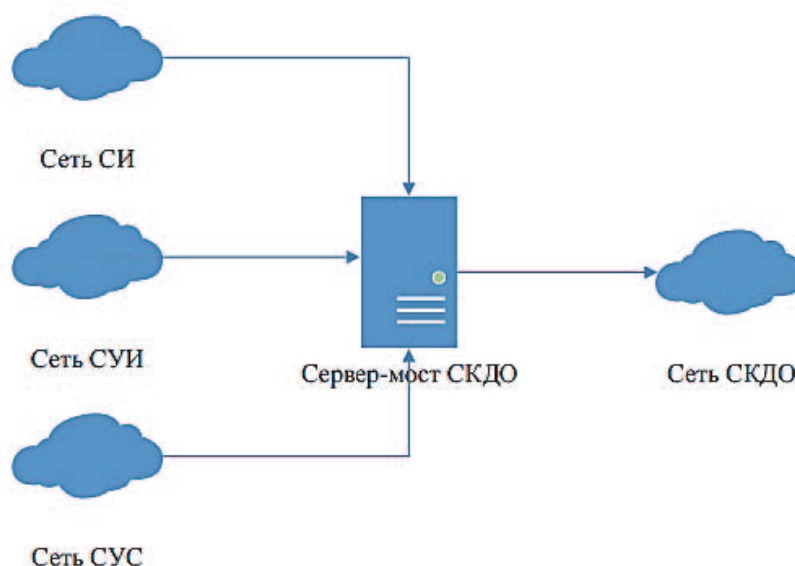


Рисунок 4 – Схема объединения информационных потоков

Сервер-мост СКДО представлен в виде сервера формата 1U, устанавливаемого в стойку сетевого оборудования – стойку приборную СО.

Визуальное отображение мнемосхем, таблиц и графиков на экранных формах с текущими значениями параметров стенда и изделия выполняется на базе ПЭВМ АРМ СКДО, подключенного к сети СКДО. К АРМ СКДО, в зависимости от расположения в бункере 1А, подключаются либо экраны СКДО, либо мониторы LCD.

Концентратором информационного потока сети СКДО является коммутатор СКДО. Коммутатор принимает поток от сервера-моста и раздает его 12-ти подключенным АРМ [3].

Система управления электропитанием предназначена для дистанционной коммутации цепей подачи электропитания.

### Система управления электропитанием

Система управления электропитанием обеспечивает непрерывный автоматизированный контроль параметров электропитания аппаратуры системы управления стендом, системы управления изделием и исполнительных элементов стендового оборудования стенда ИС-101 ФКП «НИЦ РКП».

Питание системы СУЭП осуществляется от двух стендовых независимых источников переменного напряжения: ~220В № 1 (далее ввод №1) и ~220В № 2 (далее ввод № 2).

Ввод №1 питает шкаф источника питания TIS 600-124 UDS (далее TIS) № 1, № 3 и № 5 через встроенные в них фильтры TDK-Lambda RSEN-2010 № 1, № 3 и № 5 соответственно. Ввод № 2 питает TIS № 2 и № 4 через фильтры RSEN-2010 № 2 и № 4 соответственно.

Выходы 24В TIS № 1, № 2 и TIS № 3, № 4 попарно объединенные через диодную развязку для обеспечения резервирования, заведены на клеммники «Uавт СУС вх» и «Uавт СУИ вх» соответственно. Вывод 24В TIS № 5 заведен напрямую на клеммник «Uавт СУЭП вх» и не резервирован.

Напряжения 24В Uавт с клеммников «Uавт СУС вх» и «Uавт СУИ вх», модулями коммутации питания МКПЗ-01 № 1 и № 2, коммутируются на клеммники «Uавт СУС вых» и «Uавт СУИ вых» соответственно, откуда доступны для использования СУС и СУИ.

Структурная схема СУЭП представлена на рисунке 5.

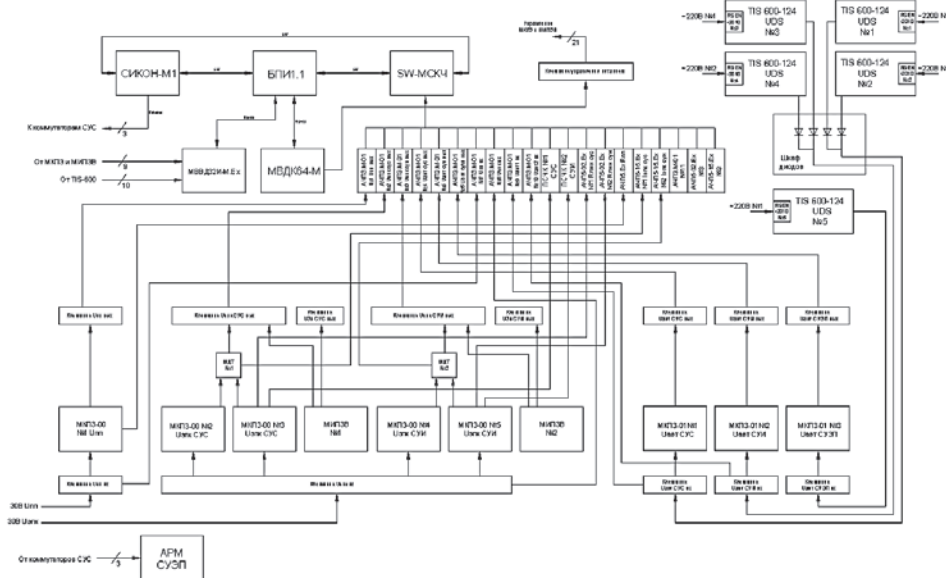


Рисунок 5 – Структурная схема СУЭП

Запуск СУЭП осуществляется при включении стойки СУЭП путем перевода, самовозвратного тумблера включения в положение «ВКЛ». При этом на-

пряжение  $U_{авт}$  с клеммника « $U_{авт}$  СУЭП вх» коммутируется МКП-01 № 3 на клеммник « $U_{авт}$  СУЭП вых», а с него питает все потребители СУЭП. (Выключение стойки СУЭП производится переводом самовозвратного тумблера в положение «ВЫКЛ»).

Безопасные 3-вольтовые напряжения  $U_{ЗВ}$ , используемые системами СУС и СУИ для проверок, преобразуются из 24В  $U_{авт}$  СУЭП и коммутируются модулями источника питания 3В МИПЗВ № 1 и № 2 на клеммники « $U_{эпк}$  СУС вых», « $U_{ЗВ}$  СУС вых» и « $U_{эпк}$  СУИ вых», « $U_{ЗВ}$  СУИ вых» соответственно.

Строгую последовательность коммутации питаний на выходные клеммники обеспечивают аппаратные блокировки, реализованные управляющими цепями МКПЗ-00, МКПЗ-01 и МИПЗВ СУЭП.

Текущее состояние электропитания СУЭП, подаваемое для информационноизмерительных систем и систем управления, определяется состоянием шкафов источника питания TIS 600-124 UDS, модулей МКПЗ-00, МКПЗ-01 и МИПЗВ посредством приема от них дискретных сигналов типа «сухой контакт», модулем искрозащитным дискретного ввода МВВД32И-М.Ех.

МВВД32И-М.Ех периодически опрашивается блоком преобразования интерфейсов БПИ1.1 по интерфейсу RS-485, на предмет изменения состояния дискретных сигналов. Текущие значения напряжений  $U_{авт}$ ,  $U_{эпк}$ ,  $U_{пп}$  и  $U_{ЗВ}$  на входных и выходных клеммниках СУЭП определяются аналого-частотными преобразователями АЧПЗ.М-01.

Текущие значения потребляемых исполнительными элементами СУС и СУИ токов преобразованные на шунтах модулей МДТ определяются АЧП5-15.Ех. Значения сопротивления линий ИЭ и целостности ПС СУС и СУИ при проверках определяются АЧП5-02.Ех и АЧП5.Ех соответственно. Значения сопротивлений изоляции ИЭ СУС и СУИ при проверках определяются преобразователем сопротивления в частоту-код ПСЧК. Перечисленные АЧП и ПСЧК преобразуют измеренные физические величины в частотные сигналы и отправляют их модулю связи с контроллером частотному SW-МСКЧ, который в свою очередь, определив частоту полученных сигналов, преобразует ее в цифровой код.

Информация о состоянии дискретных сигналов полученная модулем БПИ1.1, а также оцифрованная информация о значениях физических параметров полученная SW-МСКЧ, по высокоскоростной сети «SpaceWare» (SW) передается контроллеру СИКОН-М1, который использует ее в работе внутренних алгоритмов управления СУЭП и трансляции по дублированной сети Ethernet для регистрации и отображения на мониторе автоматизированного рабочего места АРМ оператора СУЭП в бункер управления.

Отображение текущего состояния СУЭП и выдачу команд управления, осуществляется средствами программы «Пульт СУЭП, запускаемой на АРМ оператора СУЭП в бункере управления. Команды оператора с АРМ СУЭП поступают по сети Ethernet контроллеру СИКОН-М1. Контроллер, получив команду оператора и выполнив проверку ее корректности и совместимости с текущим состоянием системы, передает ее по SW через БПИ1.1 модулю вывода дискретных команд МВДК64-М, который, в свою очередь, через клеммник управления пита-

нием воздействует на цепи управления модулей МКПЗ и МИПЗВ[4].

СУИ выполнена по трехканальной схеме. Центральными устройствами системы являются управляющий трехканальный СИКОН-МЗ.

Работа каждого контроллера обеспечивается управляющей программой, организующей цикличное выполнение задачи. Период времени, определяющий цикл работы контроллера называется тактом управляющей программы. Каждый такт контроллера состоит из фиксированной последовательности шагов: опроса входов, обработки рабочих программ и выдачи управляющих сигналов на исполнительные элементы. Длительность такта контроллеров СУИ составляет 10 мс. Контроллер СИКОН-МЗ имеет три независимых канала. Аппаратной основой каждого канала являются: процессорный модуль МП530 и тыловой модуль ввода/вывода ТВВ, подключенные к общей для всех трех каналов генмонтажной плате.

Каждый контроллер имеет еще два интерфейса SW, выведенные на разъемы генмонтажной платы, что позволяет соединять три контроллера крейта СИКОН-МЗ «в кольцо» для обмена и выравнивания информации между каналами. В результате управляющая программа в каждом из контроллеров выполняет операцию сравнения состояния регистров соседних каналов со своим и, в зависимости от результата, устанавливает признаки «ошибка слева», «ошибка справа» в соответствующих битах телеграммы запроса к блоку преобразования информации БПИ1, отправляемой по внешнему интерфейсу SW каждый такт.

Одним из устройств, включенных в «кольца» SW является блок преобразования информации БПИ1, являющийся «мостом» между интерфейсом SW и шиной RS-485. БПИ1 обеспечивает дискретный ввод/вывод контроллеров, выполняя трансляцию «канал в канал» управляющих команд модулям дискретного вывода МВТК32П-М, а также прием информации от модулей ввода дискретных сигналов МВВД32И-М.Ех. Кроме того, БПИ1 содержит модули переключения каналов, реализующие мажоритарную функцию «два из трех» при наличии признака «ошибка» одного из каналов в поступающих от контроллеров телеграммах, и выдачу выровненной командной информации в три канала модулей вывода дискретных сигналов.

Аппаратной основой каждого из четырех каналов БПИ1 являются объединенные общей генмонтажной платой модуль связи SW-IO интерфейса SW и модуль МПК485, предназначенный для обмена информацией по шине RS-485 с модулями ввода/вывода дискретных сигналов. Как и в контроллере управления, генмонтажная плата является общей для всех каналов, что позволяет реализовать мажоритарную функцию. Входной информацией для алгоритмов управления являются параметры стенда, характеризующие его текущее состояние и измеряемые датчиками, имеющими на выходе аналоговые сигналы (потенциометрические датчики, терморпары и термосопротивления, датчики напряжения), частотные (датчики расходов) и дискретные сигналы (контактные датчики давления, положения). Прием дискретных сигналов с контактных датчиков для троированного реализован с помощью 10 модулей искрозащищенных дискретного ввода

МВВД32И-М.Ех объединенных интерфейсами RS485.

Сигналы потенциометрических датчиков давления принимаются преобразователями АЧП2-06.Ех. Сигналы токовых датчиков (от 4 до 20 мА) принимаются преобразователями АЧП4-01.Ех. Сигналы датчиков сопротивления (от 0 до 100 Ом) принимаются преобразователями АЧП5-02.Ех. Напряжение постоянного тока (от 0 до 5 В) преобразуется в частоту посредством АЧП2-11.Ех. Выходные частотные сигналы с АЧП предназначенные для троированного контроллера размножаются с помощью 8 четырехканальных модулей распределения сигналов МРС1-02 на три направления и передаются в каждый канал контроллера управления через соответствующие модули связи с контроллером частотные SW-МСКЧ. SW-МСКЧ использует для связи с контроллерами кольцевую сеть SW.

Кольцевая сеть SW каждого канала трехканального контроллера включает только один соответствующий SW-МСКЧ. Каждый SW-МСКЧ рассчитан на прием 32-х частотных сигналов, и может обеспечить работу в режиме имитации входных частотных сигналов, значения которых задаются регистрирующим контроллером. Это дает возможность имитировать значения параметров стенда при отладке алгоритмов управления. В СУИ предусмотрено 24 ПО1-М-01 для обеспечения троированного ввода частотного сигнала от 8 датчиков оборотов.

Для связи ПО1-М-01 с контроллерами предназначен связной модуль СМ. СМ может передать в контроллер информацию от 8 ПО-1-М. СМ соединен с управляющим и регистрирующим контроллерами по соответствующему интерфейсу CAN. Интерфейс CAN предназначенный для регистрирующего контроллера, может использоваться им для имитации сигналов с датчиков оборотов при отладке алгоритмов управления. По завершении обработки входной информации с датчиков стенда в соответствии с заданными алгоритмами управления, реализованными специальным ПМО СУИ, в контроллере управления СИКОН-М3 вырабатываются управляющие сигналы на исполнительные элементы стенда.

Формирование силовых управляющих сигналов на ЭПК, двигатели приводов и реле осуществляется семью модулями вывода дискретными троированными силовыми МВТК32П-М, имеющими по 32 выходных канала управления. Троированные модули выполнены на бесконтактных ключах (коммутируемый ток до 4А), реализующих функцию аппаратного мажоритирования «два из трех» на основе команда, принимаемых от трех каналов контроллера управления через БПИ1.

Управление ПС реализовано на базе двух модулей полумостовых преобразователей троированных 16-ти канальных МППТ16М-М с бесконтактными силовыми ключами. Каждый МППТ16М-М обеспечивает двуполярную коммутацию (коммутацию обоих полюсов питания) команд управления по 32-м выходным каналам дублирующих нитей пиросредства (ПС) к выходным соединителям модуля МППТ16М-М. Модуль содержит диагностические цепи, обеспечивающие контроль наличия напряжения на ПС после срабатывания силовых ключей, что позволяет выполнять проверки циклограммы испытания без стыковки с ПС изделия.



### **Заключение**

Таким образом, за счет введения троированной архитектуры систем СУИ и СУС повышается надежность и точность управления приводами за счет автоматического переключения на исправный канал при управлении нерезервированной нагрузкой (резервированной дублированием) и уменьшается влияние дестабилизирующих факторов на точность управления. Но автоматическое переключение на исправный канал происходит не всегда, поэтому информация проходит по трем каналам одновременно и по результатам двух совпавших результатов информация считается истинной.

### *Литература*

1. Система управления стендом. Руководство по эксплуатации БЛИЖ.401202.012.266 РЭ. 2018 г.
2. Система управления изделием. Руководство по эксплуатации БЛИЖ.401202.011.266 РЭ. 2018 г.
3. Система контроля, диагностики и отображения параметров. Формуляр БЛИЖ.401202.013.266 ФО. 2018 г.
4. Система управления электропитанием. Руководство по эксплуатации БЛИЖ.401202.014.266 РЭ. 2018 г.

УДК 662.8.055.3

**Моделирование процесса вакуумного горячего прессования при создании металломатричных композиционных материалов**

**Т.Н. Антипова**, доктор технических наук, профессор кафедры управления качеством и стандартизации,

**Д.С. Бабкин**, аспирант кафедры управления качеством и стандартизации, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*В данной статье рассмотрен процесс вакуумного прессования при создании композиционных материалов Ti-Cf с применением углеродных высокопористых органоморфных каркасов, насыщаемых металлом. В результате проведенных экспериментов и их анализа выявлены зависимости усадки материала от параметров, заданных при прессовании.*

Металломатричный композиционный материал, горячее прессование, эксперимент, графические и математические зависимости.

**Modeling of the process of vacuum hot pressing in the creation of metal matrix composite materials**

**T.N. Antipova**, Doctor of Technical Sciences Professor of the Department of Quality Management and Standardization,

**D.S. Babkin**, postgraduate student, Department of Quality Management and Standardization, State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region «Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*This article discusses the process of vacuum pressing in the creation of composite materials Ti-Cf based on the use of carbon highly porous organomorphic frameworks saturated with metal. As a result of the experiments and their analysis, the dependence of material shrinkage on the parameters set during pressing was revealed.*

Metal matrix composite material, hot pressing, experiment, graphical and mathematical dependencies.

**Введение**

В настоящее время металломатричные композиционные материалы (МКМ) нашли широкое применение в авиационной, ракетно-космической технике, так же применяется для изделий военно-промышленного комплекса, а именно систем бронирования военной техники.

Горячее вакуумное прессование (ГВП) широко применяется при создании

различных композиционных материалов, с применением порошков и фольг различных металлов и неметаллов. Одна из технологических особенностей при создании высокотемпературных композиционных материалов состоит в необходимости применения установок горячего вакуумного прессования, обеспечивающих температурный режим до 2500 °С.

Применение титана и его сплавов в авиационной и ракетно-космической технике распространено в связи с приемлемым соотношением плотности и прочности. Однако при повышенных температурах титан имеет тенденцию к потере прочностных характеристик, а также геометрических характеристик при повышенных температурах.

Широко распространено применение армирования титановых сплавов различными типами волокон как металлическими, так и неметаллическими. Данный вид материалов выделяется в отдельный класс металломатричных композиционных материалов (МКМ). В данной работе рассматривается подкласс металломатричных композиционных материалов: Металлические волокнистые композиционные материалы (МВКМ).

Сравнение механических и эксплуатационных свойств композиционных материалов на основе титановой матрицы и свойств традиционных титановых сплавов показывает, что по ряду параметров МКМ существенно их превосходят, а именно: имеют повышенную жесткость, высокое сопротивление ползучести и усталостному разрушению, а также обладают высокой износостойкостью [3].

Одним из типичных представителей МКМ является Ti – C<sub>f</sub> композиционный материал, представляющий собой титановую матрицу, армированную углеродными волокнами с барьерными слоями фольги меди. Армирование высокотемпературными углеродными волокнами приведет к распределению и переносу на материал армирования части силовой нагрузки, что позволяет повысить механические характеристики, а именно прочность на растяжение и сопротивление ползучести.

Композиционные материалы на основе титановой матрицы изготавливают при довольно высоких температурах (800-1000 °С) [3]. Данный диапазон температур приводит к тому, что применение углеродного армирования без дополнительной подготовки становится нецелесообразным, так как химическое взаимодействие приводит к деструкции волокон и появлению хрупкой фазы карбида титана [4].

Для уменьшения влияния химического взаимодействия между углеродным наполнителем и титановой матрицей с сохранением приемлемой адгезии применяют нанесение защитных покрытий, интерфаз на армирующие волокна различными способами: гальваническим, химическим осаждением из газовой фазы и напылением [5].

Таким образом, применение ГВП является одним из способов защиты волокна от взаимодействия с внешней средой наряду с применением интерфазных покрытий и барьерных слоев фольг металлов на армирующих высокотемпературных волокнах.

В работе [1] было проведено исследование о возможности создания композиционных материалов Ti – C<sub>f</sub>, с рассмотрением различных способов его создания.

На основе ранее проведенных исследований был сделан вывод о перспек-

тивности послойного прессования (ГВП) металлических фольг и холстов углеродного армирующего [1].

Кроме того, был сделан вывод о предпочтительных вариантах выкладки и параметрах проведения процесса вакуумного горячего прессования при создании металломатричных композиционных материалов [2].

#### Методика исследований

Для создания композиционного материала Ti – C<sub>f</sub> был применен метод порошковой металлургии, а именно горячего вакуумного прессования (ГВП) пакетов из фольг титана и меди, а также гидросплетенных углеродных холстов.

Горячее вакуумное прессование пакета фольг производилось при вакууме 10<sup>-4</sup> Па, температурном интервале 1100-1800 °С и прилагаемой силе 7-9 кН. Прессование проводилось в горизонтальной вакуумной печи горячего прессования модели HVHP – 446S.

В горячем прессовании фольги были применены:

1. Фольга титана марки ВТ-1-0 толщиной 50 мкм.
2. Спрессованный гидросплетенный холст с карбидокремниевой интерфазой толщиной 10 мкм. Диаметр филамента 8 мкм.
3. Медная фольга толщиной 30 мкм марки М1.

Гидросплетенный холст из полиакрилонитрила прошел термостабилизацию в окислительной среде [6, 8, 10] и высокотемпературную обработку в инертной среде [7,11,12].

Одним из показателей качества материала Ti – C<sub>f</sub> является степень его усадки (мм;%), влияющая на геометрические характеристики и требуется для расчета количества материала для получения нужных габаритных параметров. Для изучения степени усадки материала при различных температурных режимах проводились экспериментальные исследования.

#### Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

Экспериментальные данные были получены на базе АО «Композит». Для определения влияния параметров процесса ГВП на геометрические характеристики была применена выкладка 100 слоев фольг схема послойной выкладки фольг представлены в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Схема послойной выкладки пакета фольг [2]

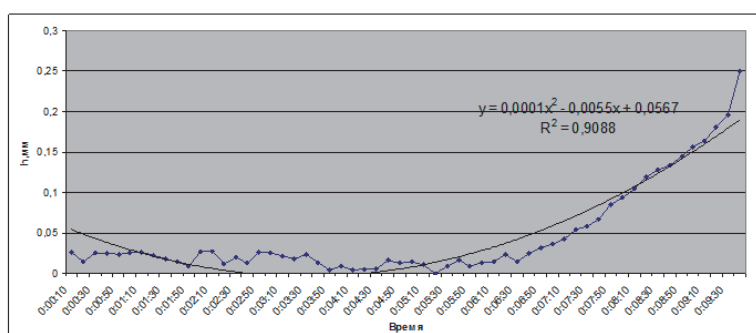
№	Слой	Толщина фольги, мкм
1	Cu	30
2	Ti	50
3	Cu	30
4	C-(SiC)	10
5	Cu	30
6	Ti	50
7	Cu	30
8	C-(SiC)	10
9	Cu	30
10	Ti	50
11	Cu	30
Суммарная толщина фольги, мкм		350

Состав прессуемого пакета фольг:

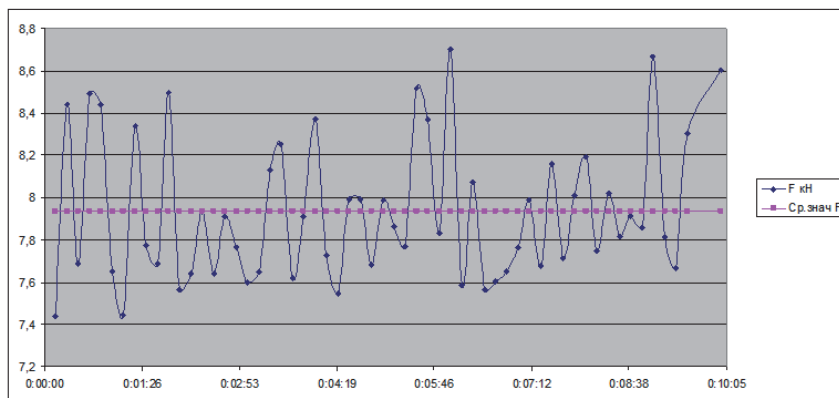
1. Cu-54 (h= 1620 мкм)
2. Ti-27 (h= 1350 мкм)
3. C-(SiC) -18 (h= 180 мкм)
4.  $h_{\Sigma} = 3151 \text{ мкм} = 3 \text{ мм}$

Таким образом, получены три одинаковых пакета, исходная толщина которых составляет 3 мм.

Для определения степени усадки во время прессования и степени усадки после получения материала была проведена серия экспериментов по изучению влияния температуры и времени прессования на степень усадки материала, графические результаты которых представлены на рисунках 1,2. По оси x представлено время ключевой фазы прессования, которое варьируется в интервале 10 секунд – 9 минут 30 секунд, по оси y представлена усадка материала, то есть величина разницы между исходной толщиной пакета и конечной на каждом временном интервале прессования.



а

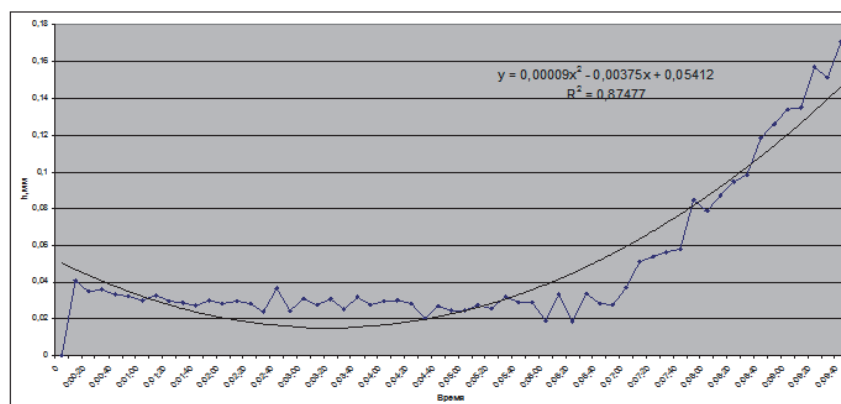


б

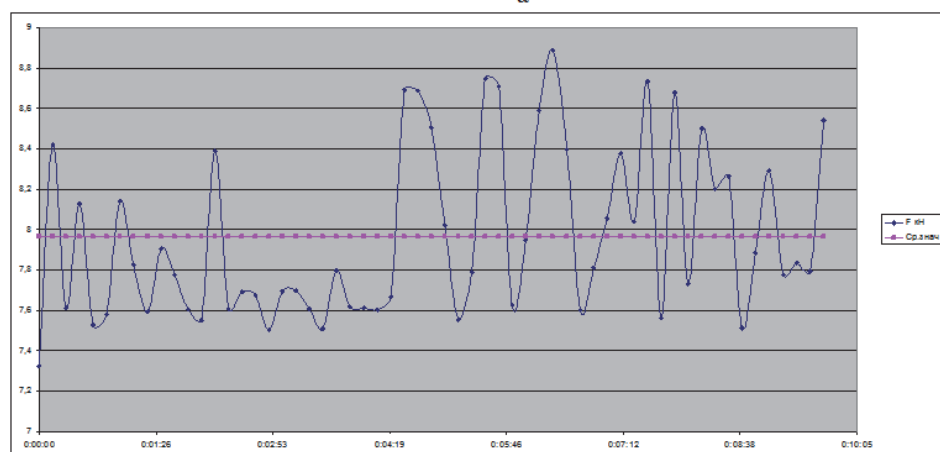
Рисунок 1 – а Усадка при прессовании при  $t=1400 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  
б Изменение усилия при прессовании при  $t=1400 \text{ }^\circ\text{C}$

На рисунке 1 показана математическая зависимость усадки материала

при его прессовке при  $t=1400\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $0,83 t_{\text{пл Ti}}$ ) которая описывается уравнением:  
 $y = 0,0001x^2 - 0,0055x + 0,0567$ , с величиной достоверной аппроксимации  $R^2 = 0,9088$ .



а



б

**Рисунок 2 – а Усадка при прессовании при  $t=1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
 б Изменение усилия при прессовании при  $t=1700\text{ }^{\circ}\text{C}$**

На рисунке 2 а показана математическая зависимость усадки материала при его прессовке при  $t=1700\text{ }^{\circ}\text{C}$  (превышает  $t_{\text{пл Ti}}$ ), которая описывается уравнением:

$y = 0,00009x^2 - 0,00375x + 0,05412$ , с величиной достоверной аппроксимации  $R^2 = 0,8748$

На основании полученных графических зависимостей (рис. 1,2) можно сделать вывод о том, что время прессования не оказывает существенного влияния на усадку при прессовании пакета фольг.

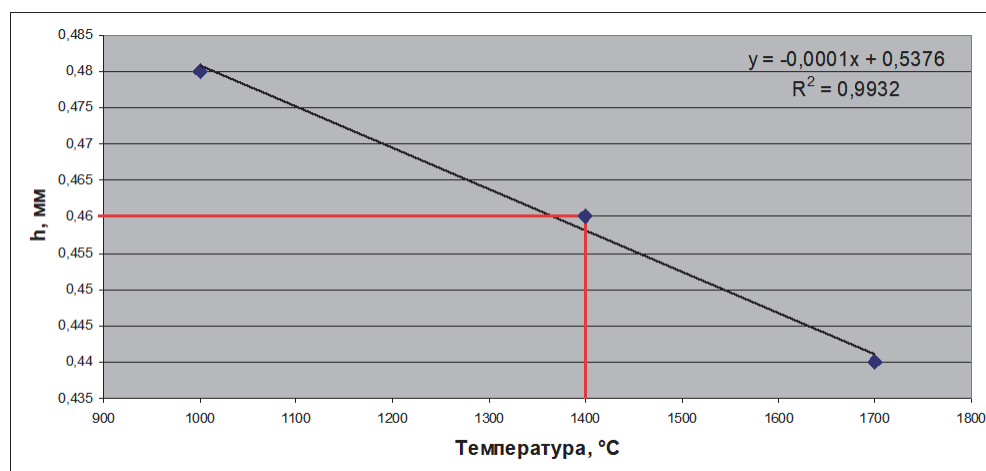
Был проведен сравнительный анализ изменения толщины материала в процессе прессовки и конечной толщины металлического волокнистого компо-

зиционного материала, результаты которого представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Полученные экспериментальные данные**

№	Температура, °С	Заданное усилие, кН	Исходная толщина, мм	Изменение толщины в процессе прессовки, мм	Конечная толщина, мм	Степень усадки, %
*	1000	8	3	-	0,48	84
1	1400	8	3	0,25	0,46	85
2	1700	8	3	0,18	0,44	86

Изменение толщины в процессе прессовки, показанное в таблице 2, связано как с увеличением температуры прессования, так и увеличением химического взаимодействия матрица – армирующие.



**Рисунок 3 – Изменение толщины конечной заготовки в зависимости от температуры**

На рисунке 3 представлены графическая и математические зависимости толщины конечной заготовки от температуры прессования, которая с высокой степенью достоверности ( $R^2 = 0,9932$ ) описывается линейной функцией:

$$y = -0,0001x + 0,5376$$

На основании данных, представленных в таблице 2 и рисунке 3, можно сделать вывод, что толщина конечного материала (H) зависит от температуры, так как увеличение температуры начала прессования, вплоть до температуры плавления титана, приводит к изменению пластичности матричного материала.

Для создания конкретных деталей из представленного МВКМ заказчик предоставил требования к толщине 0,46 мм. Следовательно, для получения композиционного материала, заданной толщины, требуется проводить процесс прессования при температуре 1400 °С.

**Выводы**

Проведенное исследование показало, что увеличение температуры прессования влияет на степень усадки и конечную толщину материала. Были получены математические зависимости изменения толщины конечного материала от температуры прессования.

$y = -0,0001x + 0,5376$  с величиной достоверной аппроксимации  $R_2 = 0,9932$ .

Данная зависимость позволяет определить необходимые параметры температуры прессования для выполнения требований заказчика по толщине конечного композиционного материала.

*Литература*

1. Бабкин Д.С. НАСЫЩЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ВЫСОКОПОРИСТЫХ ОРГАНОМОРФНЫХ КАРКАСОВ МЕТАЛЛОМ: сборник научных статей 5-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых (22-23 марта 2021 г.), в 4-х томах – Том 4 стр. 135., Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021.
2. Бабкин Д.С. Применение вакуумного горячего прессования при создании металломатричных композиционных материалов сборник статей по материалам участников XI Ежегодной научной конференции аспирантов «МГОТУ» (13 мая 2021 года, наукоград Королев). М.: Издательство «Научный консультант», 2021. 27. 34 с.
3. Изотова А.Ю., Гришина О.И., Шавнев А.А. Композиционные материалы на основе титана, армированные волокнами (обзор) // Труды ВИАМ. 2017. № 5(53).
4. Коржов В.П., Карпов М.И., Желтякова И.С. Изменение структуры и жаропрочность многослойного титан-алюминиевого композита, полученного диффузией в твердой фазе // SCIENTIFIC PROCEEDINGS XII INTERNATIONAL CONGRESS «MACHINES, TECHNOLOGIES, MATERIALS» VOLUME 2. P.P. 104-108. (2015).
5. Колесников Сергей Анатольевич, Бубненко Игорь Анатольевич, Кошелев Юрий Иванович, Меламед Анна Леонидовна, Проценко Анатолий Константинович, Корчинский Никита Андреевич. Разработка и исследование армированных углеродных материалов с керамической защитой от окисления в воздушных потоках // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2018. № 11.
6. Подкопаев С.А. Совершенствование и стабилизация технологии производства углеродных композиционных материалов // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Челябинск. 2000. 297 с.
7. Фиалков А.С. Углеграфитовые материалы. М: Энергия, 1979. 319 с.
8. Dalton S., Heatley F., Budd P. M. Thermal stabilization of polyacrylonitrile fibers // Polymer. P. 553-5543.
9. Elrefaey A. Solid state diffusion bonding of titanium to steel using a copper base alloy as interlayer / A. Elrefaey, W. Tillmann // Journal of materials processing technology. 2009. T. 209. No. 5. P. 2746-2752.



10. Fitzer E., Muller D.J. The influence of oxygen on the chemical reactions during stabilization of PAN as carbon fiber precursor // Carbon. 975. V 3. P. 63-69.
11. Fitzer E. PAN based carbon – present state and trend of the technology from the viewpoint of possibilities and limit to influence to control the fiber properties by the process parameter // Carbon. 989. V 27. 5. P. 62-645.
12. Rahaman M.S.A., Ismail A.F. and Mustafa A. (2007) A Review of Heat Treatment on Polyacrylonitrile Fiber. Polymer Degradation and Stability, 92, 1421-1432 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.03.023>.

УДК 67.03

### **Гибридный композиционный материал на основе нейтрализованного красного шлама**

**А.А. Баринкова**, аспирант II года обучения кафедры «Материаловедения и технологии художественных изделий»,  
**В.Ю. Пиирайнен**, доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедения и технологии художественных изделий»,  
Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург

*В статье освещаются проблемы экологического характера, связанные с увеличивающимися запасами отходов алюминиевого производства, описываются два метода создания гибридного композиционного материала, основанных на технологиях изготовления газо- и пенобетона, в состав которых в качестве наполнителя входит деактивированный красный шлам. Для определения основного компонента бетонов исследованы гидравлическое и магнезиальное вяжущие, выявлены их основные преимущества и недостатки. Проведён анализ известных способов изготовления бетонов и выбран наиболее подходящий для достижения цели текущей работы. На основе проведенного анализа разработана методика дальнейших экспериментальных исследований и описаны возможные области применения новых материалов.*

Красный шлам, композиционный материал, строительный материал, переработка.

### **Hybrid composite material based on neutralized red mud**

**A.A. Barinkova**, Ph.D. student of the department «Material Science and Technology»,  
**V.Yu. Piirainen**, doctor of Engineering Science, professor of the department «Material Science and Technology»,  
Saint-Petersburg Mining University, г. Saint-Petersburg

*The article highlights environmental problems associated with the increasing stocks of waste aluminum production. Describes two methods of creating a hybrid composite material based on the technology of manufacturing gas and foam concrete, which includes deactivated red mud as a filler. To determine the main component of concrete, hydraulic and magnesia binders have been investigated, their main advantages and disadvantages have been revealed. The analysis of known methods of making concrete has been carried out and the most suitable one has been selected to achieve the goal of the current work. On the basis of the analysis the methodology of further experimental studies has been developed and possible applications of new materials have been described.*

Red mud, composite material, construction materials, recycling.

**Введение.** 60-70-е гг. XX в. являются периодом, когда в мире начали формироваться и проявлять себя с полной явностью серьёзные проблемы человечества, которые к настоящему времени приобрели глобальный характер и угрожающие масштабы. Среди них: проблемы мира и разоружения; эпидемий и демографии; сырьевого и продовольственного обеспечения, экологии и энергетики. Особая роль в решении вышеперечисленных проблем отведена материаловедению, как науке, способной привнести свой вклад в противостоянии глобальным вызовам, и прежде всего, в вопросах экологии и рационального потребления сырья. Это заключается в создании новых материалов и технологий их производства на основе глубокой переработки сырья, практически исключая или уменьшающих (до экологически безопасного количества) образование утилизируемых отходов.

В нашей стране одними из наиболее опасных для окружающей среды производств, которые на сегодняшний день рекомендованы Правительством РФ к реконструкции, являются предприятия по добыче, подготовке и переработке руд цветных металлов [1]. Среди предприятий цветной металлургии особое внимание заслуживает алюминиевая промышленность, в которой образуется огромное количество отходов в виде: веществ загрязняющих атмосферу (фтористый водород, плохо растворимые фториды, сажа, диоксид серы, ксилол, толуол и др.); углекислого газа (исходящего от оборудования, плавильных печей и химических процессов при производстве глинозема и извлечении алюминия); и твердых отходов (красный шлам, анодные огарки, футеровка электролизеров и др.). Среди вышеупомянутых отходов самыми вредными и значительными по количеству образования являются красный шлам – побочный продукт глинозёмного производства (2 тонн на 1 тонну глинозема), а также углекислый газ (4 тонны на 1 тонну глинозема) [2], поступающий в атмосферу и способствующий формированию парникового эффекта на планете.

Что же касается красных шламов, то поскольку до настоящего времени оптимальных способов их переработки и использования не найдено, этот сырьевой продукт накапливается в огромных количествах и складывается в открытых хвостохранилищах, занимая значительные пространства, и неся угрозу экологических катастроф.

Данная проблема усугубляется растущим спросом на алюминий и всё увеличивающимися объёмами его производства (рис. 1) и, соответственно, количеством образующихся отходов.

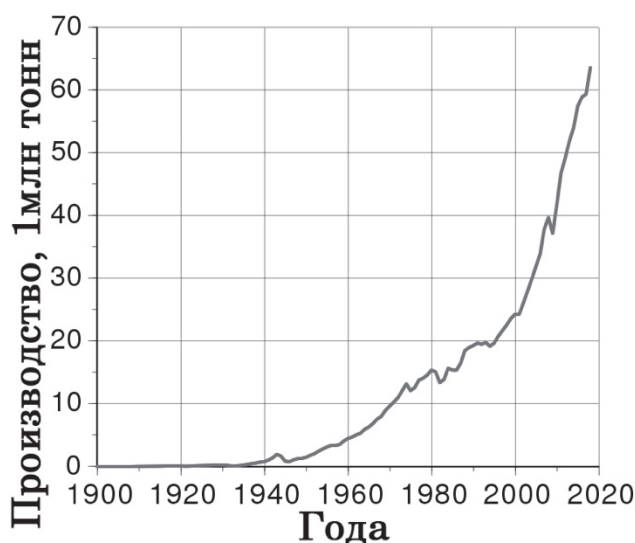


Рисунок 1 – Динамика мирового производства алюминия [3]

Одним из путей решения проблемы является создание строительных материалов, включающих в свой состав красные шламы, как в качестве основы, так и в качестве значимой их составляющей.

В связи с чем, усилия учёных-материаловедов должны быть направлены на поиск технических решений по созданию таких композиционных материалов, которые включали бы в свой состав отходы алюминиевого производства, а по свойствам и техническим характеристикам обеспечивали их широкое применение.

Для этого необходимо провести:

*на первом этапе*

- анализ возможных вариантов использования различных вяжущих, как основного компонента (матрицы) для изготовления композиционного материала;
- анализ существующих технологий производства бетонов, включая производство газо- и пенобетона;
- разработать методику экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров технологии производства составов композиционных материалов на основе красных шламов;
- определить возможные области применения новых материалов.

*на втором этапе*

- провести комплексные исследования по разработке новых материалов и технологии их производства по разработанной на первом этапе методике;
- разработать технологический регламент производства новых материалов;
- разработать рекомендации и орг. тех. мероприятия по широкому внедрению разработанных материалов и технологии.

Целью настоящей работы является решение задач первого этапа.

**Материалы и методы.** В качестве исходных материалов для создания

гибридного композита были выбраны гидравлическое или магнезиальное вяжущее и красный шлам в качестве наполнителя. Роль органической составляющей выполняет природный коллаген в виде желатина. Для деактивации красного шлама использовался углекислый газ, образующийся в результате химической реакции технологического процесса нейтрализации.

В работе использованы теоретический и экспериментальный методы исследования, основанные на сравнительном анализе математического моделирования и лабораторных прочностных испытаний.

**Обсуждение.** Идея создания именно гибридного композита заключается в том, чтобы улучшить физико-механические показатели, позволяющие расширить возможности применения такого материала. Например, при улучшении морозостойкости и прочности он становится изделием, который потенциально можно использовать в условиях Крайнего Севера.

Использование красного шлама в качестве одного из компонентов гибридного композита позволит решить проблему его утилизации, так как этот процесс является трудоёмким и дорогостоящим из-за сложности переработки и на сегодняшний день отход глиноземного производства складывается в специализированные отстойники [4]. На сегодняшний день количество накопленного шлама в шламохранилищах составляет около 4 млрд тонн [5, 6] и с каждым годом эта цифра растет, что говорит об актуальности исследований, посвященных поиску возможных альтернативных путей переработки и утилизации красного шлама [7], так как складирование не является безопасным (пример: авария в Венгрии, 2010 г. [8]; авария в Бразилии, 2019 г. [9]).

**Теоретические исследования. Подбор матрицы для основы гибридного композиционного материала.** Гибридный материал – композиционный материал, в которых происходит взаимодействие органических и неорганических компонентов. Гибридные материалы, в зависимости от того какой компонент является основным, подразделяются на неорганогранические (когда основным компонентом выступает органический материал, например: полимерная и др. структура) и органо-неорганические (когда основным компонентом выступает неорганический материал, например: цеолиты, глины, металлокаркасные структуры) [10]. Текущее исследование будет посвящено гибридным композитам органо-неорганического типа, так как основными компонентами создаваемого материала будут выступать гидравлическое или магнезиальное вяжущее и красный шлам.

Для определения наиболее подходящего вяжущего будут рассмотрены следующие их типы: гидравлическое (портландцемент) и магнезиальное (порошок магнезитовый каустический) вяжущие. Также будет проведен анализ технологии изготовления бетонов на основе портландцемента с традиционным наполнителем (тяжелый бетон), пенобетона и газобетона.

Типы вяжущих.

К группе гидравлических вяжущих относится портландцемент. Бетон, в состав которого входит портландцемент, получается путем смешения измельченного цементного клинкера с гипсом и минеральными добавками (по необходимости) и затворения подготовленной смеси водой. Для получения готового

продукта (бетона) производится обжиг до получения высокоосновных силикатов кальция [11] и после образцы классифицируются по ГОСТу, на марки М 400, М 500, М 550, М 600 (табл. 1) в зависимости от результатов прочностных испытаний [12].

**Таблица 1 – Требования к маркам портландцемента и его разновидностей**

Наименование цемента	Марка цемента	Предел прочности при изгибе, МПа (кГс/см <sup>2</sup> )	Предел прочности при сжатии, МПа (кГс/см <sup>2</sup> )
Портландцемент и портландцемент с минеральными добавками	400	4,4 (55)	39,2 (400)
	500	5,9 (60)	49,0 (500)
	550	6,1 (62)	53,9 (550)
	600	6,4 (65)	58,8 (600)

К группе магнезиальных вяжущих относится порошок магнезитовый каустический. Образование бетона происходит при затворении вяжущего водным раствором  $MgCl_2$  в воздушной среде. Магнезиальные вяжущие состоят из каустических магнезитов и доломитов, которые являются продуктами умеренного обжига соответствующих горных пород или другого магнезиального сырья, который содержит активный оксид магния [13]. Стоит отметить, что прочностные характеристики бетонов на основе магнезиального вяжущего намного выше, чем у традиционных портландцементов (табл. 2).

**Таблица 2 – Прочностные показатели образцов на основе магнезиального вяжущего в зависимости от содержания MgO**

MgO, %	Мелкий песок, %	Прочность при сжатии, МПа в возрасте			Прочность при растяжении, МПа в возрасте		
		3 сут	7 сут	28 сут	3 сут	7 сут	28 сут
60	-	29,8	40,1	51,5	4,6	6,1	7,1
50	10	28,5	35,2	47,6	3,9	4,4	6
40	20	26,1	31,3	47,1	3,2	3,8	5,4
30	30	25	28,9	39,9	2,8	3,7	5
20	40	16,5	22,2	29,1	2	3,1	4,3

Из представленных выше данных о бетонах на основе гидравлического и магнезиального вяжущих для проведения дальнейшего сравнительного анализа были выбраны следующие марки: портландцемент марки 400 и порошок магнезитовый каустический с содержанием 60% MgO. Выбор основан на достаточно высоких значениях прочности предложенных вариантов, а так же относительной простоты приготовления смесей. К преимуществам портландцемента, помимо перечисленного, относится так же химическая инертность, экологичность, водонепроницаемость и морозостойкость: магнезитового порошка – малые значения усадки при твердении, высокие адгезионные свойства, фунгицидность, биоцидность, радиационную стойкость. К недостаткам первого вяжущего относится –

плохое затворение смеси при низких температурах, а второго – низкая влагостойкость (разрушение при продолжительном контакте с водой).

На первом этапе настоящей работы были сопоставлены данные анализа бетонов с разными типами вяжущих с данными ранее выполненных экспериментальных исследований на прочность и влагостойкость бетонов, в состав которых входит портландцемент или магнезитовый порошок, а так же красный шлам в виде наполнителя (табл. 3).

**Таблица 3 – Сравнительная анализ прочностных показателей и показателей влагостойкости исследуемых бетонов**

№	Состав бетона	Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, МПа	Водопоглощение, %
1	Бетон на основе портландцемента ПЦ М400 (теор.)	39,2	Не рассматривалось
2	Бетон на основе портландцемента ПЦ М400 (эсп.)	39,2	0,3
3	Бетон на основе портландцемента ПЦ М400 с заполнителем в виде красного шлама (эсп.)	30,5	7,5
4	Бетон на основе магнезиального вяжущего ( $MgO = 60\%$ от общ. кол-ва) (теор.)	51,5	Не рассматривалось
5	Бетон на основе магнезиального вяжущего ( $MgO = 60\%$ от общ. кол-ва) (эсп.)	45,0	20,6
6	Бетон на основе магнезиального вяжущего ( $MgO = 60\%$ от общ. кол-ва) с заполнителем в виде красного шлама (эсп.)	40,5	11

Согласно данным таблицы 3 можно сделать следующие выводы, бетон на основе магнезиального вяжущего обладает большей прочностью относительно портландцемента. Наполнитель в виде красного шлама уменьшает прочностные характеристики и первого, и второго образца, но при этом такие значения являются допустимыми, что позволяет использовать отход, в качестве второго компонента композиционного материала. Бетон, в состав которого входит портландцемент, обладает большей влагостойкостью относительно бетона на основе магнезиального вяжущего, но добавление в эти составы отход глиноземного производства увеличивает водопоглощение и того, и другого композита.

Еще одной задачей исследования является анализ существующих технологий производства бетонов, поэтому ниже будут рассмотрены технологии изготовления ячеистых и тяжелых бетонов.

Газобетон. Газобетон – это цементно-песчаная смесь, относящаяся к разновидности ячеистого бетона. Газобетон бывает двух видов автоклавный (термически обработанное изделие) и неавтоклавный (изделие, затвердевшее без тер-

мической обработки). В качестве основных компонентов газобетона выступают портландцемент (около 20%), кремнезем, известь, песок, зола, шлак и алюминиевая пудра, которая является важным компонентом в технологии изготовления газобетона, так как порообразование происходит в результате ее взаимодействия с водой [14].

Преимущества газобетона заключаются в малом весе готового изделия (примерно в 3 легче керамического кирпича) и низкой плотности. Так же материал легко поддается обработке, что позволяет получать изделия разной конфигурации [15], является теплоизоляционным [16], фунгицидным [17], огнестойким, морозостойким (100-150 циклов замораживания-размораживания) и обладает низкой гигроскопичностью. В качестве недостатков выступают невысокие прочностные значения ( $\sigma = 2,5-3,5$  МПа, при  $\rho = 700$  кг/м<sup>3</sup> [18]).

Пенобетон. Пенобетон, как и газобетон, относится к категории ячеистых бетонов. Основное отличие от предыдущего типа заключается в способе образования пор, поэтому в качестве основных компонентов пенобетона помимо цемента, песка, кремния и воды еще является и пенообразователь. Разновидности пенобетона зависят от того, где он будет применяться, назначения, условий твердения, вида вяжущего и кремнеземистых компонентов [19].

Преимущества пенобетона сходны с достоинствами газобетона, а именно достаточная прочность на сжатие (2,5-5 МПа при  $\rho = \sim 850$  кг/м<sup>3</sup>) и влагостойкость, морозостойкость, устойчивость к гниению, экологичность, легкость относительно традиционных бетонов, низкая себестоимость. Так же к преимуществам относится возможность замены кремнеземистого компонента на отход алюминиевого производства, описанная в аналогичных исследованиях, где для получения сухого состава пенобетона использовали смесь портландцемента с хвостами обогащения сурьмяных руд и глинистого песка [20]. Основным недостатком пенобетона выступает невысокая скорость затвердевания изделия и возможное образование дополнительных пустот, что впоследствии может быть причиной усадки [21].

Тяжелые бетоны. К тяжелым бетонам относятся бетоны, имеющие объемную массу от 1800 до 2500 кг/м<sup>3</sup> и плотность 2000 до 2500 кг/м<sup>3</sup> [22]. Составляющими таких бетонов являются – вяжущий компонент (чаще всего портландцемент), крупный и мелкий заполнители (чаще всего песок, кремнезем, известь), вода и пластифицирующие добавки.

Преимущества тяжелых бетонов это большая прочность на изгиб, чем у ячеистых бетонов (около 7,5-15 МПа), высокие значения твердости, морозостойкости, меньшая усадка, долговечность. Минусы это более высокая стоимость такого материала, а так же постоянный набор прочности, что в следствии ведет к нарушению целостности конструкции.

По результатам проведенного анализа существующих технологий производства бетонов была составлена сводная таблица (табл. 4) и сделаны следующие выводы: наибольшей прочностью среди бетонов обладает материал, изготовленный по технологии тяжелого бетона, но из-за своей плотной структуры представляется наименее возможным для создания гибридного материала. Перспективными технологиями для данного исследования являются технологии изготовления пено- и газо-бетона, так как готовое изделие имеет достаточную прочность, поры, в которые в последствии можно ввести добавки для увеличения



прочности, малый вес, что делает его более транспортабельным относительно тяжелого бетона и возможность использовать в качестве наполнителя красный шлам.

**Таблица 4 – Сравнительная таблица прочностных показателей тяжелых бетонов и ячеистых бетонов**

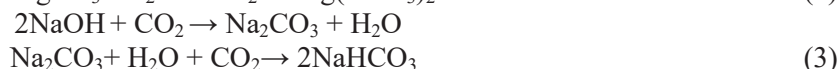
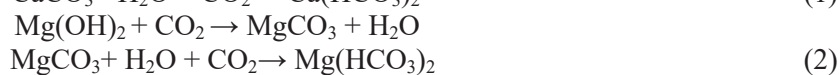
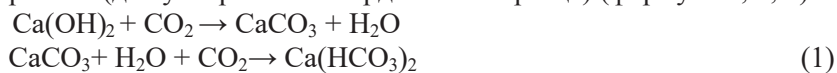
№	Состав бетона	Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	Неавтоклавный газобетон [18]	2,5-3,5	700
2	Неавтоклавный пенобетон [21]	2,5-5	850
3	Тяжелый бетон (на основе ПЦ М400 с традиционным наполнителем) [22]	7,5-15	2000-2500

#### **Разработка методики для проведения экспериментальных исследований.**

Как было отмечено выше, для достижения поставленной цели требуется разработать методику экспериментальных исследований по определению оптимальных параметрам технологии производства составов композиционных материалов на основе красных шламов.

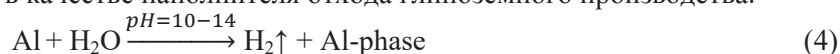
В настоящей работе разработаны две методики исследований для проведения будущих экспериментов, каждая из которых будет проходить в 3 этапа. В первой методике первым этапом будет выступать нейтрализация красного шлама, вторым – изготовление материала с применением технологии производства газобетона, третьим – пропитка затвердевшего материала коллагеном с целью улучшения физико-механических свойств. Вторая методика будет аналогична первой, за исключением второго этапа, так как предлагается заменить технологию производства газобетона на технологию производства пенобетона.

Для первого этапа в качестве деактивация красного шлама будет использован ранее разработанный метод, основанный на применении углекислого газа путем его ввода в красный шлам. В лабораторных условиях вместо углекислого газа предполагается использование жидкого стекла (для образования углекислого газа) и этиленкарбонат (для ускорения затвердевания образца) (формула 1, 2, 3).



Для второго этапа получения газобетонного блока необходимо произвести смешение цемента (26-32% от общ. массы), наполнителя (25-35% от общ. массы), алюминиевой пудры (0,5-0,7% от общ. массы) и воды (25-30% от общ. массы) с последующей заливкой в форму для отверждения в течение 28 суток. В качестве наполнителя предлагается использовать для одной серии образцов смесь из красного шлама и песка (в равных пропорциях), для второй серии только красный шлам для выявления зависимости влияния отхода на физико-

механические свойства материала. Как было описано выше алюминиевая пудра в данной технологии выступает источником газообразования и образования пор при вступлении в реакцию с водой (формула 4). Важным фактором протекания реакции является наличие щелочной среды, которую возможно обеспечить при использовании в качестве наполнителя отхода глиноземного производства.



Для второго этапа получения пенобетонного блока необходимо смешать следующие компоненты: портландцемент, наполнитель (как и в случае с изготовлением газобетонного бетона, предлагается для одной серии использовать смесь красного шлама и песка, а для второй только красный шлам), пенообразователь и воду [23].

И третьим этапом для создания гибридного материала выступает пропитка образцов, созданных по технологиям изготовления газобетона и пенобетона, так как с ее помощью можно улучшить физико-механические свойства изделия. В качестве пропитки предлагается использовать органический материал, так как в отличие от неорганического он имеет большую глубину проникновения (до ~ 10 мм, в то время как неорганическая пропитка ~ 5 мм) [24]. Методика экспериментальных исследований для третьего этапа включает в себя то, что первым органическим веществом для пропитки будет выступать желатин, как более доступный и простой в подготовке. Так же о возможности применения органической добавки в виде желатина для увеличения прочности было описано в патенте RU2483043 C2 [25]. Описанный в патенте метод позволяет достигнуть прочностных показателей на сжатие до 70 МПа, что является желаемым результатом для нынешнего исследования, посвященному созданию гибридного материала с улучшенными физико-механическими свойствами. После проведения первого блока опытов пропитывания образцов желатиновой пропиткой и записи результатов, будут так же опробованы и другие пропитки, в том числе и неорганические (силикатные пропитки, пропитки на основе ПВХ смол, полимерные акриловые пропитки и пр.) с целью проведения сравнительного анализа и выявления наиболее подходящего вещества для создания гибридного композита.

Полученные образцы, обработанные разными пропитками при разных режимах, испытываются на прочность, водопоглощение и морозостойкость. Далее на основании полученных результатов разрабатывается технологический регламент производства новых материалов и рекомендации по широкому внедрению разработанных материалов и технологии.

#### **Возможные области применения**

Реализация результатов проведенных работ позволит получить легкий, прочный, фунгицидный, влагостойкий и морозостойкий материал, производство которого возможно осуществлять на самом глиноземном заводе, адаптировав старое или построив новое помещение для этой цели. Малый вес изделия позволяет легко его транспортировать, а фунгицидность, морозостойкость и влагостойкость композита предоставляют потенциальную возможность его использовать в тяжелых климатических условиях, таких как, например, на территориях Крайнего Севера.

Нахождение в гибридном композите красного шлама является возможным и допустимым. Примером успешного применения этого отхода являются технологии, описанные зарубежными коллегами, позволяющие его использовать в дорожном строительстве [26]. Перспективным направлением может быть использование такого изделия в качестве теплоизоляционного материала для строительства промышленных зданий.

**Заключение.** Разработка гибридного композиционного материала, способного работать в тяжелых условиях, является перспективным направлением, так как решает несколько проблем, одной из которых является утилизация отходов глиноземного производства. Так же благодаря проведенному сравнительному анализу относительно выбора гидравлического и магнезиального вяжущих и технологий изготовления бетона были предложены две методики, позволяющие создать гибридный материал. В основу первой вошла технологий приготовления газобетона, а в основу второй – пенобетона. Методы имеют разную природу порообразования, но их основное преимущество – это получение более легкого и транспортабельного материала, а так же возможность его упрочнения за счет пропитки изделия.

Работа в этом направлении требует продолжения для экспериментального подтверждения проведенного теоретического исследования, уточнения компонентов наполнителя и их концентраций и состава пропитки и режимов обработки ею гибридного материала, а так же на основе полученных данных разработка рекомендаций по производству нового материала и внедрения технологии.

#### *Литература*

1. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий: постановление Правительства РФ от 31.12.20 г. № 2398.
2. Машенцева И.А., Власова О.С. Анализ негативного воздействия на окружающую среду предприятий по производству алюминия // Инженерный вестник Дона. Волгоград. 2017. № 1. С. 1-13.
3. Leye, Aluminium - world production trend [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Aluminium\\_-\\_world\\_production\\_trend.svg](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Aluminium_-_world_production_trend.svg) (дата обращения: 01.11.2021).
4. Brichkin, Vyacheslav, Kurtenkov, Roman. Dealkylation of alumina production red mud on the basis of hydro chemical processing, 2015. vol. 40. pp. 189-194.
5. Огородникова Е.Н., Николаева С.К. Красный шлам вопрос хранения и использования // Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения: мат-лы науч. практич. конф. Москва. 2017. с. 284-288.
6. Kaussen F., Friedrich B. Reductive smelting of red mud for iron recovery // Chemie Ingenieur Technik. 2015. vol. 87. №. 11. pp. 1535-1542.
7. Трушко В.Л., Утков В.А., Бажин В.Ю. Актуальность и возможности полной переработки красных шламов глиноземного производства // Записки Горного университета. Санкт-Петербург: 2017. Т. 227. С. 547-553.

8. BigPicture.ru: новости в фотографиях, 2009-2021 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bigpicture.ru/krupnaya-texnogennaya-katastrofa-v-vengrii/> (Дата обращения: 02.11.2021).
9. Eric Marmo. IDF aid mission lands in Brazil, 2019 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IDF\\_aid\\_mission\\_lands\\_in\\_Brazil\\_%2832182656707%29.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IDF_aid_mission_lands_in_Brazil_%2832182656707%29.jpg) (Дата обращения: 02.11.2021).
10. Сипкина Е.И. Гибридные композиты на основе азотсодержащих гетероциклических низко- и высокомолекулярных соединений и диоксида кремния: специальность 02.00.06 «Высокомолекулярные соединения»: диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. Иваново. 2017. 133 с.
11. Кузьменков М.И., Куницкая Т.С. Вяжущие вещества и технология производства изделий на их основе: уч. пособие для студентов по спец. «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» высших учебных заведений. Минск: БГТУ, 2003. 212 с.
12. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент: технические условия. введ. с 01.01.1987. Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2005. 8 с.
13. Дворкин Л.И. Дворкин О.Л. Строительные минеральные вяжущие материалы. Москва: Инфра-Инженерия, 2013. 544 с.
14. Кладиева П.В. Газобетон как перспективный строительный материал // Наука молодых – будущее России: Сборник научных статей 4-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 8-ми томах, Курск, 10-11 декабря 2019 года. Курск: ЮЗГУ, 2019. С. 209-212.
15. Наумов А.Е., Жариков И.С., Давиденко П.В. Количественное влияние качества производства бетонных работ на прочностные характеристики монолитного железобетона // В сборнике: Актуальные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения материалы VII очной Международной научнопрактической конференции. СГАУ имени Н.И. Вавилова, 2018. С. 193-200.
16. Давиденко П.В., Кладиев Н.Н., Наумов А.Е., Жариков И.С., Ерижокова Е.С. Совершенствование методики прогнозирования деформаций строительных конструкций объектов незавершенного строительства при проведении строительно-технических экспертиз // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 5. С. 90-98.
17. Сулейманова Л.А., Марушко М.В. Оптимизация формирования структур в технологии газобетона на основе дисперсных систем // В сборнике: Наука и инновации в строительстве Сборник докладов III Международной научно-практической конференции к 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019. С. 341-347.
18. Щукина Ю.В., Кулиш К.С. Неавтоклавный золосодержащий газобетон, твердеющий на морозе // Ползуновский вестник. 2011. № 1. С. 269-272.
19. ГОСТ 25485-2019. Бетоны ячеистые: общие технические условия. – Введ. с 01.01.2020. Москва: Стандартинформ, 2019. 19 с.

20. Асаналиева Ж.Д. Неавтоклавный пенобетон на основе наполнителей из вторичных материалов и промышленных отходов // Academy, 2019. № 10(49). С. 20-25.
21. Леонович С.Н., Свиридов Д.В., Щукин Г.Л. И др. Сухая смесь для получения пенобетона // Наука и техника. 2015. № 6. С. 24-29.
22. Попов К.Н. Бетон // Большая российская энциклопедия. Том 3. Москва. 2005. стр. 435-436.
23. Марчик Е.В., Плышевский С.В., Кузьменков М.И. Получение неавтоклавного пенобетона на основе магнезиального цемента // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 3. Химия и технология неорганических веществ. 2009. Т. 1. № 3. С. 45-48.
24. Belyakov Nikita Andreevich. Influence of ways of microfiber introduction on the properties of fresh and hardened concrete // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. issue 13. vol. 9. pp. 1223-1228.
25. Патент № 2483043 С2 Российская Федерация, МПК С04В 35/119, С04В 38/06. Способ получения пористой структуры керамического материала: № 2011119067/03: заявл. 12.05.2011; опубл. 27.05.2013 / И.В. Шемякина, М.Н. Кирьякова, А.М. Аронов, О.В. Медведко; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «НЭВЗ-Н», Холдинговая компания «Новосибирский Электровакуумный Завод – Союз» в форме открытого акционерного общества.
26. Mukiza E., Zhang L., Liu X., & Zhang N. Utilization of red mud in road base and subgrade materials: A review // Resources, Conservation and Recycling. 2019. 141. 187-199. doi:10.1016/j.resconrec.2018.10.031.

УДК 666.3.032.5

**Исследование зависимости влияния технологических параметров на прочность керамических карбонитридокремниевых волокон**

**К.А. Князев**, аспирант четвертого года обучения,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
лётчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*В статье приведен краткий обзор мирового опыта изготовления керамических карбонитридокремниевых волокон с указанием эксплуатационных свойств. С применением инструментов качества выявлены факторы, оказывающие влияние на прочность карбонитридокремниевых волокон, определена степень влияния факторов и составлена математическая модель зависимости прочности карбонитридокремниевых волокон от технологических параметров его получения.*

Керамические волокна, карбонитрид кремния, метод экспертных оценок, уравнение регрессии.

**Study of the dependence of the influence of technological parameters on the strength of ceramic silicon carbonitride fibers**

**K.A. Knyazev**, graduate fourth year,  
State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*The article provides a brief overview of the world experience in the manufacture of ceramic silicon carbonitride fibers with an indication of performance properties. With the use of quality tools, the factors influencing the strength of silicon carbonitride fibers were identified, the degree of influence of the factors was determined, and a mathematical model of the dependence of the strength of silicon carbonitride fibers on the technological parameters of its production was compiled.*

Ceramic fibers, silicon carbonitride, the method of expert evaluations, regression equation.

**Введение**

С развитием энергетического машиностроения возросла доля разработок и производства композиционных материалов, армированных высокотемпературными керамическими волокнами.

Лидером в этой области являются бескержаные волокна из карбида кремния (SiC). Данные волокна обладают высокими механическими свойствами, яв-

ляются пригодными для текстильной переработки и работоспособны при температурах выше 1000 °С. Существует несколько поколений карбидокремниевых волокон. Главное их отличие поколений заключается в элементном составе, а именно стехиометрическом соотношении Si/C и содержании кислорода.

Главным недостатком SiC волокон является высокая стоимость, что ограничивает возможность их широкого применения. В качестве такой альтернативы рассматриваются керамические волокна структуры SiCN. Их производство предполагает сходную карбидокремниевым волокнам технологию получения, однако при синтезе прекурсора (полисилазана) используются более дешевые реагенты. Стоимость полисилазановых прекурсоров ориентировочно в два раза дешевле поликарбосилана, применяемого при изготовлении волокон карбида кремния. Кроме того, стадия отверждения полисилазановых волокон протекает в несколько раз быстрее, что также снижает стоимость волокна.

Первоначальные усилия на создание волокон состава SiNC были направлены ученым W. Verbeek, который в 1972 году синтезировал поликарбосилазановую смолу, приняв за базу взаимодействие дихлор / трихлорметилсилана с метиламином и дальнейшей полимеризацией вплоть до температуры 650 °С. На основе разработанного состава были получены керамические волокна малого диаметра [10,14]. В дальнейшем, было показано множество результатов, касающихся как прекурсоров полиорганосилазанов, так и самих карбонитридокремниевых волокон.

Публикации Dow Corning и Rhone Poulenc Chimie описывают разработку содержащих азот керамических волокон HPZ и волокон Fibergamic соответственно. Опираясь на патент от Dow Corning, Wacker Chemie AG синтезировал полисилазан, который при температурах до 150 °С расплавляют и вытягивают в полимерные волокна с диаметром 10-20 мкм. Далее волокна сшивают на воздухе, а затем проводят высокотемпературную обработку с температурой 1100 °С, что позволяет получить волокна SiCN(O) с керамическим выходом в 65% [1].

В трудах Наэлайна и сотрудников Laboratoire des Composites Thermostructuraux (Бордо, Франция) предложен метод изготовления керамических волокон SiCN(O) экструзией расплава прекурсора PCSZ. После формования полимерных волокон из PCSZ их термообработывают при 1200 °С в инертной атмосфере. Таким образом получают керамические волокна SiCN(O) с диаметром 25 мкм [2-4].

Из литературы известны также модификации SiCN волокон, например, соединениями бора с синтезом состава SiCBN, который имеет большую термическую устойчивость вплоть до 1800 °С в инертной среде. Связано это с тем, что керамика является аморфной. Miele из Университета Монпелье (Франция) и Aldinger из Института Макса Планка (Германия) синтезировали модифицированный, полиборокарбосилазан и переработал их в аморфные керамические волокна SiBCN диаметром около 23 мкм и пределом прочности при растяжении 1,3 ГПа [9,11,12].

Институт керамических материалов Университета Байройта (Германия) в сотрудничестве с Институтом текстильной химии и химических волокон (ДЭКТФ) (Денкендорф, Германия) были разработаны расплав полимера с вязко-

упругими свойствами, необходимыми для устойчивого процесса формирования и получения эластичных полимерных волокон с последующим пиролизом отвержденных волокон при температуре 1100 °С. Волокна SiCN имеют регулируемый диаметр от 15 до 120 мкм, прочность на растяжение до 1,2 ГПа и стабильность окисления [5-8,13].

Анализ мирового опыта показывает эксплуатационные характеристики SiCN-волокон, а также факторы, влияющие на эти свойства. Однако при исследовании литературы не было найдено данных, обобщающих эти факторы, а также не установлена степень влияния факторов на качество волокон.

В данной статье рассматривается применение инструментов качества для оценки степени влияния технологических факторов на такую важную эксплуатационную характеристику волокон, как прочность на разрыв.

### Исследование

Одним из наиболее распространенных инструментов контроля качества является причинно-следственная диаграмма Исикавы. С ее помощью были определены основные технологические параметры, влияющие на прочность керамических SiCN-волокон.



Рисунок 1 – Диаграмма Исикавы для определения технологических параметров, влияющих на качество прочность SiCN-волокон

Для анализа вклада каждого фактора в качество получаемых материалов была построена диаграмма Парето (таблица 1, рисунок 2).



Таблица 1 – Факторы, влияющие на качество керамических SiCN-волокон

Влияющий фактор	Номер фактора	Влияющий фактор	Номер фактора
Диаметр волокна	1	Температурный градиент	7
Температура расплава	2	Установка формования	8
Температура пиролиза	3	Параметры фильеры	9
Молекулярная масса прекурсора	4	Методика измерения диаметра и прочностных характеристик волокон	10
Модифицирующие добавки / пластификаторы	5	Уровень навыков специалистов	11
Натяжение нити	6	Режим отверждения	12

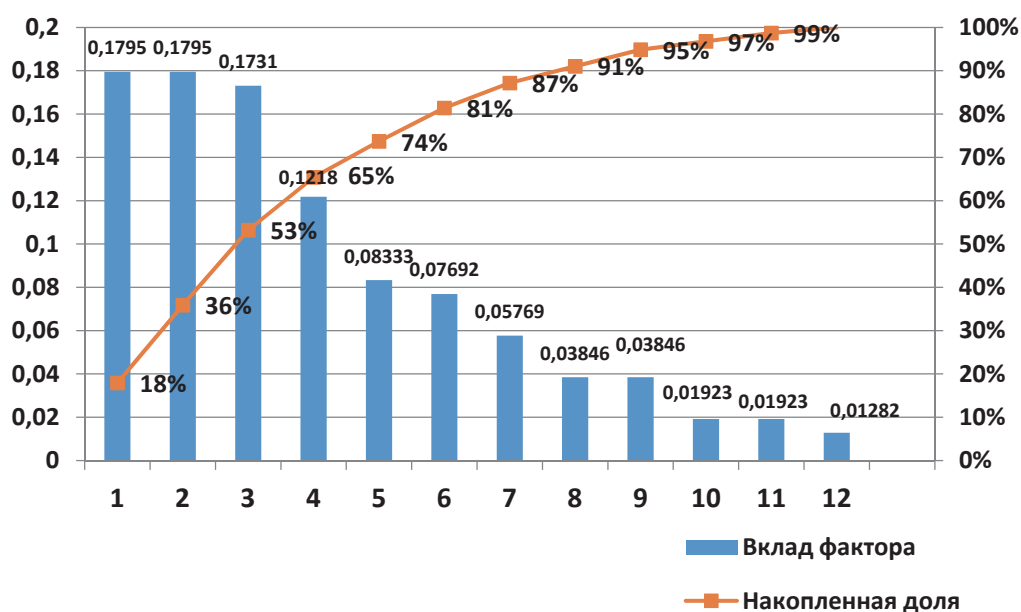


Рисунок 2 – Диаграмма Парето по факторам, влияющим на прочность керамических SiCN-волокон

Выявление модели зависимости прочности SiCN-волокон от технологических параметров их получения возможно составлением уравнения регрессии.

Представить уравнение регрессии можно с помощью формулы:

$$Y = f(\beta, X) + \varepsilon,$$

где  $X = [X_1, X_2, \dots, X_m]$  – независимая переменная;  $\beta$  – параметры поиска;  $\varepsilon$  – случайная ошибка (отклонение);  $Y$  – зависимая переменная. В результате уравнение регрессии может быть представлено следующим образом:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon,$$

где  $\beta_0$  – параметр, определяющий значение  $Y$ , при условии, что перемен-

ные  $X_j$  равны 0.

Для нахождения коэффициентов регрессии необходимо произвести расчет вектора  $s$  по следующей формуле:  $s = (X^T X)^{-1} X^T Y$ . К матрице с переменными  $X_j$  добавляем единичный столбец.

**Таблица 2 – Матрица ключевых факторов, влияющих на прочность SiCN-волокон и ее транспонирование**

Матрица $X_j$				Матрица $Y$	Матрица $X^T$							
1	15	100	1100	1250	1	1	1	1	1	1	1	1
1	20	100	1100	1000	15	20	15	20	15	20	15	20
1	15	80	1100	1100	100	100	80	80	100	100	80	80
1	20	80	1100	900	1100	1100	1100	1100	1200	1200	1200	1200
1	15	100	1200	1300								
1	20	100	1200	1200								
1	15	80	1200	1270								
1	20	80	1200	1050								

Перемножение транспонированной и обычной матриц производится в таблице 3.

**Таблица 3 – Матрица  $(X^T X)$**

8	140	720	9200
140	2500	12600	161000
720	12600	65600	828000
9200	161000	828000	10600000

В матрице  $(X^T X)$  число 8, лежащее на пересечении 1-й строки и 1-го столбца, получено как сумма произведений элементов 1-й строки матрицы  $X^T$  и 1-го столбца матрицы  $X$ . Далее умножаем транспонированную матрицу с матрицей  $Y$  ( $X^T Y$ ) и находим обратную матрицу  $X^T X$  (таблица 4).

Таблица 4 – Матрица  $(X^T Y)$  и  $(X^T X)^{-1}$ 

Матрица $X^T Y$	Матрица $(X^T X)^{-1}$			
9070	82,5	-0,35	-0,113	-0,0575
156800	-0,35	0,02	0	0
820600	-0,113		0,00125	0
10459000	-0,0575	0	0	5,0E-5

Таблица 5 – Расчет вектора оценок коэффициентов регрессии

$Y(X) =$	82,5	-0,35	-0,113	-0,0575	*	9070	-315
	-0,35	0,02	0	0		156800	-38,5
	-0,113	0	0,00125	0		820600	5,375
	-0,0575	0	0	5,0E-5		10459000	1,425

В результате расчетов были получены необходимые параметры поиска для составления уравнения множественной регрессии:

$$Y = -315 - 38.5X_1 + 5.375X_2 + 1.425X_3$$

Характеристика уравнения: рост  $X_1$  на 1 целевой показатель приводит к снижению  $Y$  в среднем на 38.5 единиц; аналогичное увеличение  $X_2$  на 1 целевой показатель приводит к увеличению  $Y$  в среднем на 5.375 единиц, а увеличение  $X_3$  на 1 приводит к увеличению  $Y$  в среднем на 1.425 единиц. В связи с тем, что максимальный коэффициент получен при факторе  $X_3$  ( $\beta_3=0.53$ ), наибольший вклад в результат параметра  $Y$  оказывает фактор  $X_3$ .

#### Заключение

На основе анализа мирового опыта впервые проведено обобщение технологических факторов, оказывающих влияние на качество керамических SiCN-волокон, с применением таких инструментов качества как Диаграмма Исикавы и Парето произведена оценка влияния каждого фактора на прочность SiCN-волокон выявлены наиболее значимые факторы, получена математическая модель зависимости прочности карбонитридокремниевых волокон от ключевых факторов их производства.

#### Литература

1. A. Rengstl, EU Patent 0 255 132 A2. 1988.

2. D. Mocaer, R. Pailler, R. Naslain, C. Richard, J. P. Pillot, J. Dunogues, C. Darnez, M. Chambon, M. Lahaye, *J. Mater. Sci.* 1993. 28. 3049.
3. D. Mocaer, R. Pailler, R. Naslain, C. Richard, J. P. Pillot, J. Dunogues, C. Gerardin, F. Taulelle, *J. Mater. Sci.* 1993. 28. 2615.
4. D. Mocaer, R. Pailler, R. Naslain, C. Richard, J. P. Pillot, J. Dunogues, *J. Mater. Sci.* 1993. 28. 2632.
5. G. Motz, *Adv. Sci. Technol.* 2006. 50. 24.
6. G. Motz, J. Hacker, G. Ziegler, D. Schawaller, B. Clauss, *Ceram. Eng. Sci. Proc.* 2002. 23. 255.
7. G. Motz, J. Hacker, G. Ziegler, B. Clauss, D. Schawaller, in *Advanced Inorganic Structural Fiber Composites IV* (Eds: P. Vincenzini, C. Badini), Techna, Faenza 2002. 47.
8. J. Hacker, G. Motz, G. Ziegler, in *High Temperature Ceramic Matrix Composites* (Eds: W. Krenkel, R. Naslain, H. Schneider), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, FRG 2001. p. 52.
9. L. Gottardo, S. Bernard, C. Gervais, K. Inzenhofer, G. Motz, M. Weinmann, C. Balan, P. Miele, *J. Mater. Chem.* 2012. 22. 7739.
10. M. Mansmann, W. Verbeek, G. Winter, DE Patent 2 243 527. 1974.
11. S. Bernard, M. Weinmann, P. Gerstel, P. Miele, F. Aldinger, *J. Mater. Chem.* 2005. 15. 289.
12. S. Bernard, S. Duperrier, D. Cornu, P. Miele, M. Weinmann, C. Balan, F. Aldinger, *J. Optoelectron. Adv. Mater.* 2006. 8. 648.
13. S. Kokott, G. Motz, *Soft Mater.* 2007. 4. 165.
14. W. Verbeek, NARI Seedl. Fund-Final Tech. Rep. 1973.

УДК 691.32

**Особенности и виды механических, физических и комплексных  
неразрушающих методов определения прочности бетона  
и анализ их применения**

**В.Д. Петухов**, кандидат экономических наук, доцент кафедры Экономики,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область,

**С.В. Рябчиков**, аспирант, ведущий инженер,  
Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Научно-исследовательский институт строительной физики  
Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН),  
г. Москва

*В статье рассмотрены существующие неразрушающие методы, применяемые для определения и анализа прочности бетона и конструкций из него. Представлены результаты сравнительного анализа различных методов, проведенных авторами на различных объектах промышленного и гражданского строительства. Доказано эмпирическим путем с использованием комплексного подхода, что мнимая простота косвенных методов неразрушающего контроля (с использованием молотков Физделя, Кашкарова и других) усложняется построением и расчётом градуировочной зависимости и учетом влияния факторов, искажающих результат. Это вызывает большой разброс данных, снижающих эффективность исследования. Проведенный анализ показал, что оптимальным по большинству параметров является метод определения прочности бетона путем отрыва со скалыванием.*

Обследование зданий и сооружений, прочность бетона, конструкции, неразрушающие методы контроля, косвенные неразрушающие методы, прямые (стандартные) неразрушающие методы, отрыв, отрыв со скалыванием, скалывание ребра, упругий отскок, тарировочные кривые, метод пластической деформации, ударный импульс, метод отрыва связи напряжения, оборудование для определения прочности бетона, неразрушающий контроль.

**Various of Methods that could be used in non-destructive purpose  
for expecting and analysis of the strength of concrete and its subsequent  
application**

**V.D. Petukhov**, PhD, Department of Economics,  
State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region,

S.V. Rabchicov, graduate, leading engineer,

Federal State budgetary organization Scientific research institute for construction physics of the Russian Architecture Academy and Building Sciences (NIISF RAASN), Moscow

*The article discusses the existing non-destructive methods for determining the strength of concrete. The results of a comparative analysis of various methods carried out by the authors at various objects of industrial and civil construction are presented. It is proved empirically using an integrated approach that the imaginary simplicity of indirect methods of non-destructive testing (using Fizdel, Kashkarov hammers and other measure equipment) is complicated by the construction and calculation of the calibration dependence and taking into account the influence of factors that distort the result. This causes a large spread of data that reduces the effectiveness of the study. The analysis showed that the optimal method for most parameters is the method of determining the strength of concrete by separation with chipping.*

Buildings and structures inspection and analysis, concrete strength, structures, non-destructive testing methods, indirect non-destructive methods, direct (standard) non-destructive methods, pull-off, pull-off with spalling, rib spalling, rebound, calibration curves, plastic deformation method, shock impulse, pull-off method a stress connections, equipment for determining the strength of concrete, non-destructive testing.

В строительных нормативах и в практике строительных экспертов и технического надзора закреплён ряд методик, позволяющих определить прочность бетона. Под прочностью нами понимается способность противостоять внешнему воздействию. Определения прочности бетона на сжатие считается наиболее точным методом [1]. Для этого исследуемый образец подвергают воздействию до разрушения на гидравлическом прессе. Анализируются бетонные образцы Кубической формы с различной длиной ребра – от 100 мм до 300 мм (с шагом возможных размеров в 50 мм) [2], изготовленного на объекте из того же бетона, что и конструкция.

Если требуется проверка прочности бетона конструкции в существующем здании, то это производится согласно [1] путем выпиливания керна (цилиндра) диаметром  $d=100,150,200, 250,300$  мм согласно [2], при условии, что высота  $h \geq d$ .

Развитие физики и радиоэлектроники позволило разработать и внедрить в исследовательскую практику (обследования зданий), так называемые **неразрушающие методы контроля** качества бетона.

Эти методы имеют ряд достоинств, из которых отметим:

1) Сохранение цельности контролируемой конструкции, т.е. при испытании не повреждают конструкции и тем самым не снижается его несущая способность;

2) Возможность многократного испытания образца или конструкции одновременно как в процессе ее строительства, так и в период эксплуатации. Этот факт, дает возможность получать более точные значения прочности бетона в процессе испытания, а также устанавливать закономерности изменения искомого показателя во времени;

3) Низкая трудоемкость, как следствие минимальные затраты времени для проведения испытания;

4) Возможность определять прочность в любой доступной точке.

Механический метод основан на определении механической характеристики, по которой вычисляют предел прочности бетона на сжатие.

Не разрушающие механические методы определения прочности бетона в соответствии с [3] делятся на 2 группы:

**1 группа: Косвенные неразрушающие методы** – определение прочности бетона по предварительно установленным градуировочным зависимостям, включают методы:

- упругий отскок;
- пластической деформации;
- ударного импульса.

**2 группа: Прямые (стандартные) неразрушающие методы** – предусматривают стандартные схемы испытаний и допускают применение известных градуировочных зависимостей без привязки и корректировки, включают методы:

- отрыва;
- отрыв со скалыванием;
- скалывание ребра.

Рассмотрим по отдельности каждый из 5 механических методов неразрушающего контроля прочности бетона:

1) Упругого отскока. Метод упругого отскока основан на связи прочности бетона со значением отскока бойка от поверхности бетона (или прижатого к ней ударника), то есть измеряют высоту упругого отскока бойка при постоянной величине кинетической энергии металлической пружины. Ударная твердость бетона связана с его прочностью; с повышением прочности возрастают ударная твердость и характеризующая ее высота упругого отскока. Прочность бетона определяют по тарировочным кривым. Кривые учитывают положение молотка при испытании, так как величина отскока будет в известной мере зависеть от его направления, поскольку на нее в определенной мере влияет сила тяжести (рис. 1).

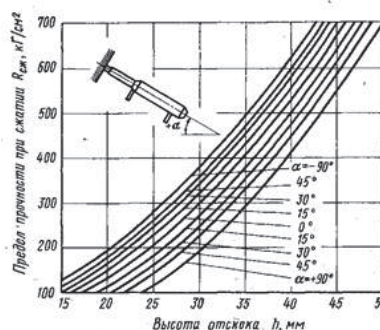
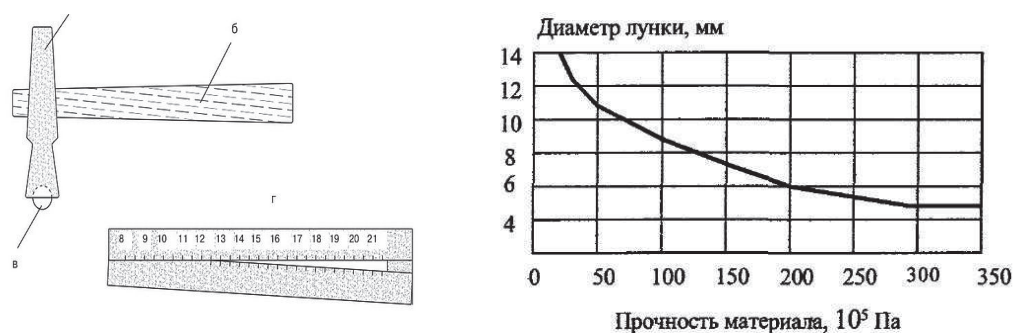


Рисунок 1 – Прибор – Склерометр (молоток Шмидта) «PROCEQ» (Швейцария, г. Шверценбах), реализующий механический метод неразрушающего контроля прочности бетона – метод упругого отскока.

Общий вид прибора (слева), тарировочные кривые для молотка Шмидта (справа)

**Молоток (склерометр) Шмидта** – разработан в 1948 году инженером Эрнстом О. Шмидтом, работавшим в компании Proceq SA (Швейцария).

2) **Пластической деформации.** Метод пластической деформации на связи прочности бетона с размерами отпечатка на бетоне конструкции (диаметра) или соотношения диаметра отпечатка на бетоне и стандартном металлическом образце при ударе индентора или вдавливании индентора в поверхность бетона, рисунок 2.



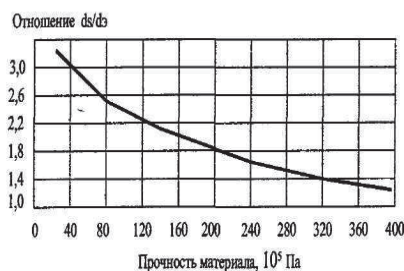
**Рисунок 2 – Прибор – Молоток Физделя (шариковый молоток), реализующий механический метод неразрушающего контроля прочности бетона – метод пластической деформации. Общий вид прибора (слева), тарировочные кривые для молотка Кашкарова (справа)**

**Молоток Физделя (шариковый молоток)** – разработан в 1940-е годы сотрудником «НИИМосстрой» И.А. Физделем (СССР). Ручной шариковый молоток изготавливается из инструментальной стали, с одной стороны его имеется сферическое гнездо, в котором завальцован стальной шарик диаметром 17.463 мм. Масса молотка 250 г.

Шариковый молоток Н.А. Физделя является практически первым прибором, который получил массовое применение на стройке. Однако точность измерения сравнительно низкая, поскольку на диаметр отпечатка влияет не только прочность бетона, но и сила удара, т.е. субъективный фактор.

**Молоток Кашкарова** – шариковый молоток разработан в 1950-е годы сотрудником «НИИМосстрой» К.П. Кашкаровым (СССР). При ударе эталонным молотком Кашкарова получают одновременно два отпечатка – на эталоне (стальной стержень) и бетоне. Рабочим органом молотка является шарик подшипника диаметром 15 мм. По среднему значению этих отношений при пяти ударах и тарировочной кривой определяют прочность бетона на сжатие. Приборы, основанные на одновременном получении отпечатков на бетоне и эталоне, дают большую точность, так как соотношение диаметров отпечатков на бетоне и эталоне не зависит от силы удара (рис. 3).





**Рисунок 3 – Прибор – Молоток Кашкарова (Россия), реализующий механический метод неразрушающего контроля прочности бетона – метод пластической деформации. Общий вид прибора (слева), тарировочные кривые для молотка Кашкарова (справа)**

3) Ударного импульса. Метод ударного импульса на связи прочности бетона с энергией удара и ее изменениями в момент соударения бойка с поверхностью бетона. Прибор для проведения исследования методом ударного импульса представлен на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Прибор – ИПС-МГ4.03 СКБ «Стройприбор» (Россия, г. Челябинск), реализующий механический метод неразрушающего контроля прочности бетона – Метод ударного импульса. Общий вид прибора (слева), показания электронного блока (справа)**

4) Отрыва Метод отрыва на связи напряжения, необходимого для местного разрушения бетона при отрыве приклеенного к нему металлического диска, равного усилию отрыва, деленному на площадь проекции поверхности отрыва бетона на плоскость диска (рис. 5).



**Рисунок 5 – Прибор – DYNA «PROCEQ» (Швейцария, г. Шверценбах), реализующий механический метод неразрушающего контроля прочности бетона – метод отрыва. Общий вид прибора (слева), показания электронного блока (справа)**

Метод стальных дисков заключается в отрыве ранее приклеенных металлических дисков (за 6÷12 часов до начала проверки: зависит от клеящего состава).

Данный метод применяют в том случае, если:

- толщина защитного слоя бетона составляет менее 20 мм
- слишком тонкие бетонные конструкции;
- в железобетонной конструкции густоармированные стенки.

5) Отрыва со скалыванием. Метод отрыва со скалыванием на связи прочности бетона со значением усилия местного разрушения бетона при вырыве из него анкерного устройства (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Прибор – ПОС-МГ4.ОД СКБ «Стройприбор» (Россия, г. Челябинск), реализующий механический метод неразрушающего контроля прочности бетона – метод отрыв со скалыванием.**

**Общий вид прибора (слева), показания электронного блока (справа)**

6) Скалывания ребра. Метод отрыва со скалыванием на связи прочности бетона со значением усилия местного разрушения бетона при вырыве из него анкерного устройства (рис. 7).



Рисунок 7 – Прибор – ОНИКС-1.СР НПП «Интерприбор» (Россия, г. Челябинск), реализующий механический метод неразрушающего контроля прочности бетона – метод скалывания ребра.

Общий вид прибора (слева), показания электронного блока (справа)

Последним прямым методом неразрушающего контроля является модификация метода отрыва – метод скалывания ребра. Основное отличие заключается в том, что прочность бетона определяют по усилию ( $P$ ), необходимому для скалывания участка конструкции, расположенному на внешнем ребре. Прочность бетона на сжатие при использовании метода скалывания ребра определяется по нормированной зависимости:

$$R=0.058 \cdot m \cdot (30P+P^2),$$

где  $m$  – коэффициент, учитывающий крупность заполнителя.

Для наглядности сравнения характеристики прямых методов контроля представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики прямых методов неразрушающего контроля

Преимущества	Метод		
	Отрыв	Отрыв со скалыванием	Скалывание ребра
Определение прочности бетонов классом более В 60	-	+	-
Работа при низких температурах воздуха	-	+	+
Быстрое время установки	-	+	+
Возможность установки на неровную поверхность (более 5 мм)	-	+	-
Возможность установки на плоский участок конструкции (без наличия ребер)	+	+	-
Отсутствие потребности в источнике электроснабжения для установки	+	-	+
Наличие в современных стандартах	-	+	+

Источник: [4]

По данным, приведенным в таблице, видно, что наибольшим числом пре-

имущества характеризуется – *метод отрыва со скалыванием*.

Однако, несмотря на возможность применения данного метода по указаниям норм без построения частной градуировочной зависимости, у многих специалистов возникает вопрос о точности получаемых результатов и соответствии их прочности бетона, определяемой методом испытания образцов.

Для исследования этого вопроса, а также сопоставления результатов измерений, полученных прямым методом с результатами измерений косвенными методами, проведен эксперимент, описанный в [5].

В лаборатории «Обследование и испытание зданий и сооружений» ФГБОУ ВПО «СПбГПУ» были проведены исследования при использовании различных методов контроля. В качестве объекта исследования использован фрагмент бетонной стены, выпиленный алмазным инструментом. Габариты бетонного образца 2,0 x 1,0 x 0,3 м. Армирование выполнено двумя сетками арматуры диаметром 16 мм, расположенной с шагом 100 мм с величиной защитного слоя 15...60 мм.

В исследуемом образце применен тяжелый бетон на заполнителе из гранитного щебня фракции 20-40. Для определения прочности бетона использован базовый разрушающий метод контроля. Из образца с помощью установки алмазного сверления выбурены 11 кернов соответствующих требованиям [6]. По результатам испытания образцов на сжатие выявлено, что среднее значение прочности бетона составило 49,0 МПа. Распределение значений прочности подчиняется нормальному закону (рис. 4).

При этом прочность исследуемого бетона имеет высокую неоднородность с коэффициентом вариации 15,6% и СКО равным 7,6 МПа. Для неразрушающего контроля применены методы отрыва, отрыва со скалыванием, упругого отскока и ударного импульса. Для контроля использовались градуировочные зависимости, имеющиеся в паспортах приборов, или заложенные в них. Результаты измерений всеми методами представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты измерения прочности различными методами**

№ п/п	Метод контроля	Количество измерений, n	Среднее значение прочности, Rm, МПа	Коэффициент вариации, V, %
1	Испытание на сжатие в прессе (ПГМ-1000 МГ 4)	29	49,0	15,6
2	Метод отрыва со скалыванием (ПОС-50 МГ 4)	6	51,1	4,8
3	Метод отрыва (DYNA)	3	49,5	-
4	Метод ударного импульса (Silver Schmidt)	30	68,4	7,8
5	Метод ударного импульса (ИПС-МГ 4)	7(105)	78,2	5,2
6	Метод упругого отскока (Beton Condrol)	30	67,8	7,27

По данным, представленным в таблице, можно сделать следующие выводы:

- среднее значение прочности, полученной испытанием на сжатие и пря-

мыми методами неразрушающего контроля, различается не более чем на 5%;

- по результатам шести испытаний методом отрыва со скалыванием разброс прочности характеризуется низким значением коэффициента вариации 4,8%;

- результаты, полученные всеми косвенными методами контроля, превышают прочность на 40-60%. Одним из факторов, приведших к данному превышению, является карбонизация бетона, глубина которой на исследуемой поверхности образца составила 7 мм.

### Выводы

1. Мнимая простота и высокая производительность косвенных методов неразрушающего контроля теряется при выполнении требований построения градуировочной зависимости и учета (устранении) влияния факторов, искажающих результат. Без выполнения этих условий данные методы при обследовании конструкций можно применять только для качественной оценки прочности по принципу «больше – меньше».

2. Результаты измерений прочности базовым методом разрушающего контроля путем сжатия отбираемых образцов также могут сопровождаться большим разбросом, вызванным как неоднородностью бетона, так и другими факторами.

3. Учитывая повышенную трудоемкость разрушающего метода и подтвержденную достоверность результатов, получаемых прямыми методами неразрушающего контроля, при обследовании рекомендуется применять последние.

4. Среди прямых методов неразрушающего контроля оптимальным по большинству параметров является метод отрыва со скалыванием.

В общем случае неразрушающие механические методы определения прочности бетона являются косвенными неразрушающими методами определения прочности.

Прочность бетона в конструкциях определяют по экспериментально установленным градуировочным зависимостям, иными словами по таким показателям (величина отскока бойка, диаметр и глубина отпечатка на поверхности бетона, энергия удара и ее изменение при ударе об бетон, усилие отрыва диска от бетона, усилие вырыва анкера из бетона, усилие скалывания ребра бетонной конструкции) и их сопоставления с тарировочной кривой, выводятся прочностные характеристики бетона (R).

Физические методы основаны на измерении скорости распространения ультразвука в бетоне, зависящего от плотности и от прочностных характеристик бетона, или ослабления гамма-лучей, проходящих через испытываемую бетонную конструкцию (образец).

Согласно исследованиям [4], ультразвуковой метод определения прочности бетона-неразрушающий метод определения прочности бетона, основанный на зависимости косвенной характеристики (скорость и время распространения ультразвука) от прочности бетона. На рисунке 8 представлено исследование прочности бетона автором.

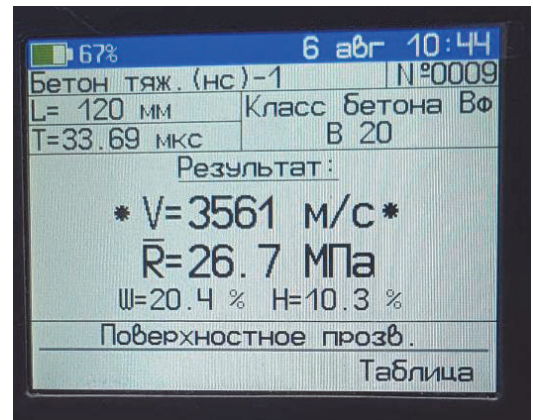


Рисунок 8 – Прибор – ПУЛЬСАР-2.2 НПП «Интерприбор» (Россия, г. Челябинск), реализующий механический метод неразрушающего контроля прочности бетона – ультразвуковой метод (УЗК). Общий вид прибора (слева), показания электронного блока (справа)

Ультразвуковой метод применяют для определения прочности бетона в установленном проектной документацией промежуточном и проектном (как правило, 28-суточном) возрасте и возрасте, превышающем проектный при обследовании конструкций.

При построении градуировочной зависимости по результатам параллельных испытаний ультразвуковым методом и методом отрыва со скалыванием, предварительно проводят ультразвуковые измерения и определяют участки с минимальным и максимальным косвенными показателями. Затем выбирают не менее 12 участков, включая участки, в которых значение косвенного показателя максимальное, минимальное и имеет промежуточные значения (рис. 9).

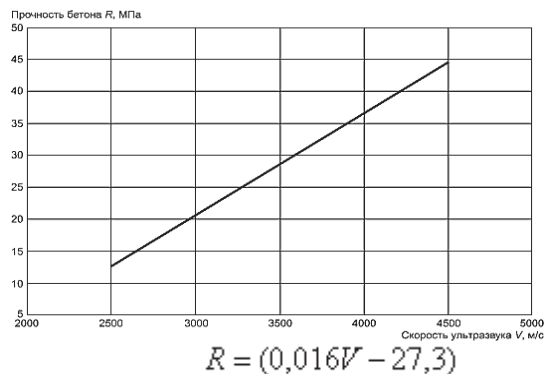


Рисунок 9 – Универсальная градуировочная зависимость, построенная по результатам испытаний конструкций из бетона проектных классов В7,5-В35 в возрасте 20-30 суток согласно [4]

По комплексному методу прочностные характеристики бетона установ-

ливают не по одной, а по двум или нескольким физико-механическим характеристикам, которые определяют одновременно на одних и тех же конструкциях. Приводим пример установления и оценки параметров градуировочной зависимости бетонов классов прочности В20-В25.

Прочность бетона классов В20-В25 контролируют в конструкции методом поверхностного прозвучивания. Для установления градуировочной зависимости между скоростью ультразвука и прочностью бетона в возрасте 28 сут выполнены параллельные испытания одних и тех же участков конструкций ультразвуковым методом и методом отрыва со скалыванием по [3]. Результаты испытаний приведены в графах 2, 3 таблицы 3.

**Таблица 3 – Результаты измерения прочности прямым методом (отрыв со скалыванием) и косвенным (ультразвуковой)**

Номер участка	Скорость ультразвука, м/с	Прочность, МПа			$ R_{тн} - R_{тф}  / S$		Примечание
		по результатам испытаний по ГОСТ 22690	по градуировочной зависимости		до отбраковки	после отбраковки	
			до отбраковки	после отбраковки			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3245	20,8	22,9	23,3	0,61	0,73	-
2	2470	13,6	11,6	11,3	0,58	0,68	-
3	3095	22,6	20,7	21,0	0,56	0,48	-
4	2870	15,6	17,4	17,5	0,54	0,55	-
5	4320	37,3	38,5	40,0	0,34	0,78	-
6	3615	33,5	28,2	29,0	1,55	1,31	-
7	2655	14,2	14,3	14,2	0,03	0,01	-
8	3780	30,7	30,6	31,6	0,02	0,26	-
9	3490	21,8	26,4	27,1	1,36	1,56	-
10	3840	38,1	31,5	32,5	1,94	1,64	-
11	3400	30,3	25,1	25,7	1,53	1,35	-
12	3255	22,5	23,0	23,5	0,15	0,28	-
13	3940	35,8	32,9	34,1	0,84	0,51	-
14	4070	33,1	34,8	36,1	0,51	0,88	-
15	3340	23,2	24,2	24,8	0,31	0,46	-
16	2940	15,6	18,4	18,6	0,84	0,87	-
17	3130	17,5	21,2	21,5	1,09	1,18	-
18	3305	29,7	23,7	24,2	1,76	1,61	-
19	3765	20,1	30,4	-	3,03	-	Отбраковано

Для скорректированной градуировочной зависимости вида  $R = 0,0155V - 27,0$  условие (Б.6) приложения Б выполняется на всех участках. Дальнейшую отбраковку проводить не требуется. Графики градуировочных зависимостей до и после корректировки приведены на рисунке 10.

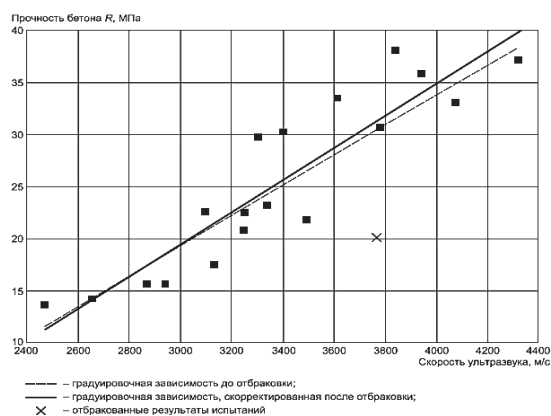


Рисунок 10 – Градуировочная зависимость

Про факторы, влияющие на ошибку измерения прочности без построения частных градуировочных зависимостей, написано много работ, в том числе приведенные в списке литературы [7, 8]. В монографии по неразрушающему контролю бетона представлены данные по максимальной погрешности измерений различными методами [3].

Вывод по проведенным в статье исследованиям сводится к применению комплексного метода определения прочности бетона (по физико-механическим характеристикам) основанного на использовании наиболее точного – прямого метода (отрыв со скалыванием) и косвенного (ультразвуковой) метода неразрушающего контроля, а также построении градуировочной зависимости по результатам параллельных испытаний.

#### Литература

1. ГОСТ 10180-2012 БЕТОНЫ. Методы определения прочности по контрольным образцам.
2. ГОСТ 22685-89 формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия.
3. ГОСТ 22690-2015 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.
4. ГОСТ 17624-2012 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
5. Улыбин В., Федотов С.Д., Тарасова Д.С. Определение прочности бетона при обследовании зданий и сооружений // Журнал «Мир строительства и Недвижимости». Выпуск 45. Санкт-Петербург. 2012г.
6. ГОСТ 28570-2019 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций.



7. Штенгель В.Г. О корректном применении НК в обследованиях железобетонных конструкций длительно эксплуатирующихся сооружений // В мире НК. 2009. № 3. С. 56-62.
8. Улыбин А.В. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 4(22). С. 10-15.
9. Джонс Р., Фэкзоару И. Неразрушающие методы испытаний бетонов. Пер. с румынск. М., Стройиздат, 1974. 292 с.

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 18.03.2022  
Формат В5  
Печать офсетная. Усл.печ.л. 12,6  
Тираж 500 экз.  
Заказ № 91-05  
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