

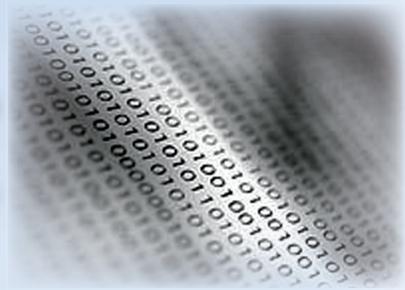
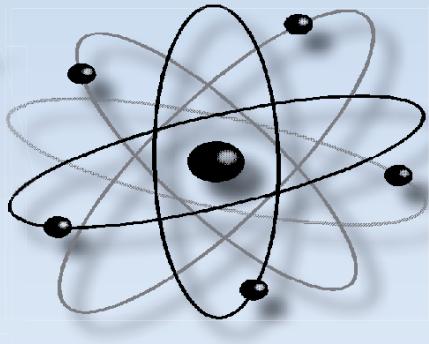
# Учёные записки

ISSN 2076-4359

№ V (53)

2021

Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета



Науки о природе и технике

16+



Рукописи проходят обязательное рецензирование.  
Редакция не возвращает рукописи авторам.

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых периодических изданий ВАК РФ

Зарегистрировано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций России. Свидетельство ПИ № ФС7738212 от 30.11.2009.

ISSN 2076-4359 = Ученые записки Komsomolskogo-na-Amure gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta

Уважаемые авторы, пожалуйста, присылайте свои материалы на адрес электронной почты:  
[journal@knastu.ru](mailto:journal@knastu.ru)

Правила оформления материалов размещены на странице журнала «Учёные записки КнАГТУ», находящейся на сайте <http://www.knastu.ru>

Материалы, оформленные с нарушением данных правил, к рассмотрению не принимаются.

Адрес учредителя и издателя:  
681013, г. Комсомольск-на-Амуре,  
пр. Ленина, д. 27  
Телефон для справок:  
+7 (4217) 24-13-48

Адрес редакции: 681013,  
г. Комсомольск-на-Амуре,  
ул. Комсомольская, д. 50, ауд.508  
Телефон для справок:  
+7 (4217) 24-13-48

Индекс журнала  
в каталоге Роспечать: 66090.  
Цена свободная.  
© Все права на опубликованные материалы принадлежат учредителю журнала – ФГБОУ ВО «КнАГУ», при их цитировании ссылка на журнал обязательна.

**Учредитель:**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Журнал основан в 2010 году

#### Редакционная коллегия:

Главный редактор журнала:

Алексей Иванович Евстигнеев,  
д-р техн. наук, проф.

Заместитель главного редактора,  
ответственный секретарь серии «Науки о природе и технике»:

Сергей Николаевич Иванов,  
д-р техн. наук, доц.

Заместитель главного редактора,  
ответственный секретарь серии «Науки о человеке, обществе и культуре»:

Галина Алексеевна Шушарина,  
канд. филол. наук, доц.

Технический редактор:

Татьяна Николаевна Карпова

Дизайн и верстка:

Оксана Вадимовна Приходченко,  
канд. техн. наук

Менеджер информационных ресурсов:

Иван Константинович Андрианов,  
канд. техн. наук

#### Серия: «Науки о природе и технике»

Отделы:

1. Авиационная и ракетно-космическая техника (Сергей Иванович Феоктистов, д-р техн. наук, проф.);
2. Энергетика (Вячеслав Алексеевич Соловьев, д-р техн. наук, проф.);
3. Управление, вычислительная техника и информатика (Вячеслав Алексеевич Соловьев, д-р техн. наук, проф., Сергей Иванович Феоктистов, д-р техн. наук, проф., Сергей Николаевич Иванов, д-р техн. наук, доц., Николай Алексеевич Тарануха, д-р техн. наук, проф., Анатолий Александрович Буренин, д-р физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН);
4. Математика и механика (Анатолий Александрович Буренин, д-р физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН);
5. Машиностроение (Михаил Юрьевич Сарилов, д-р техн. наук, доц., Борис Николаевич Марьин, д-р техн. наук, проф., Борис Яковлевич Мокрицкий, д-р техн. наук, доц., Сергей Иванович Феоктистов, д-р техн. наук, проф., Анатолий Александрович Буренин, д-р физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН);
6. Металлургия и металловедение (Владимир Алексеевич Ким, д-р техн. наук, проф., Олег Викторович Башков, д-р техн. наук, доц.);
7. Флот и кораблестроение (Николай Алексеевич Тарануха, д-р техн. наук, проф., Виктор Михалович Козин, д-р техн. наук, проф.);
8. Науки о земле и безопасности жизнедеятельности человека (Ирина Павловна Степанова, д-р техн. наук, проф.);
9. Строительство и архитектура (Николай Петрович Крадин, д-р архитектуры, проф., член-корреспондент РААСН, Олег Евгеньевич Сысоев, д-р техн. наук, доц.).

#### Серия: «Науки о человеке, обществе и культуре»

Отделы:

1. Философия, социология и культурология (Татьяна Алексеевна Чабанюк, д-р культурологии, проф., Виктория Юрьевна Прокофьева, д-р филол. наук, проф., Вера Ивановна Юдина, д-р культурологии, доц., Надежда Юрьевна Костюрина, д-р культурологии, доц., Илья Игоревич Докучаев, д-р филос. наук, проф., Александр Георгиевич Никитин, д-р филос. наук, проф.);
2. Филология и искусствознание (Олег Александрович Бузуев, д-р филос. наук, проф.);
3. Психология и педагогика (Татьяна Евгеньевна Наливайко, д-р пед. наук, проф.);
4. Политология и право (Владимир Александрович Смоляков, д-р полит. наук);
5. История (Жанна Валерьяновна Петрунина, д-р ист. наук, проф.);
6. Экономика (Геннадий Иванович Усанов, д-р экон. наук, проф., Елена Витальевна Кизиль, д-р экон. наук, доц.).

Периодичность: два раза в квартал (один номер каждой серии в квартал)

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА  
«УЧЁНЫЕ ЗАПИСКИ КОМСОМОЛЬСКОГО-НА-АМУРЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА»**

**СЕРИЯ: «НАУКИ О ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ»**

**АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА**

ВЯЧЕСЛАВ ИВАНОВИЧ ШПОРТ, доктор технических наук

ЦҮЙ СЮЙ, профессор Шенъянского аэрокосмического университета (КНР)

**ЭНЕРГЕТИКА**

АЛЕКСАНДР ЛООС, доктор философии, профессор Академии Грюндига в Нюрнберге (Германия)

ИШТВАН ВАЙДА, доктор технических наук, профессор, директор Института автоматики Будапештского университета технологии и экономики (Венгрия)

ШАНДОР ХАЛАС, доктор технических наук, профессор Будапештского университета технологии и экономики (Венгрия)

**УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА**

ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ КУЛЫИН, академик РАН, доктор физико-математических наук, директор Института автоматики и процессов управления ДВО РАН

ТАКАО ИТО, доктор технических наук, профессор факультета бизнес-управления Университета Мицуми (Япония)

**МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА**

НИКИТА ФЁДОРОВИЧ МОРОЗОВ, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теории упругости Санкт-Петербургского государственного университета

ВЛАДИМИР АЛЕКСЕЕВИЧ ЛЕВИН, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом математического моделирования, механики и мониторинга природных процессов Института автоматики и процессов управления ДВО РАН

БОРИС ДМИТРИЕВИЧ АННИН, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом механики деформируемого твёрдого тела Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

**МАШИНОСТРОЕНИЕ**

ЭДУАРД СТЕПАНОВИЧ ГОРКУНОВ, академик РАН, доктор технических наук, профессор, директор Института машиноведения УрО РАН

АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ ХОЛЬКИН, академик РАН, доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник Института общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова

СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ГРИГОРЬЕВ, доктор технических наук, профессор, ректор Московского государственного технологического университета «Станкин»

**МЕТАЛЛУРГИЯ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ**

ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ КАБЛОВ, академик РАН, доктор технических наук, профессор, директор Всероссийского института авиационных материалов

КОНСТАНТИН ВСЕВОЛОДОВИЧ ГРИГОРОВИЧ, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией диагностики материалов Института металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН

**ФЛОТ И КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ**

ЛЕОНИД АНАТОЛЬЕВИЧ НАУМОВ, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, директор Института проблем морских технологий ДВО РАН

**НАУКИ О ЗЕМЛЕ И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНEDЕЯТЕЛЬНОСТИ**

ЕВГЕНИЙ ПЕТРОВИЧ КИСЕЛЕВ, академик РАСХН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник Дальневосточного ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательского института сельского хозяйства РАСХН

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

ШИ ТИЕМАО, доктор философии, профессор, проректор Шенъянского архитектурно-строительного университета (КНР)

**СЕРИЯ: «НАУКИ О ЧЕЛОВЕКЕ, ОБЩЕСТВЕ И КУЛЬТУРЕ»**

**ФИЛОСОФИЯ, СОЦИОЛОГИЯ И КУЛЬТУРОЛОГИЯ**

ДАВИД ИЗРАИЛЕВИЧ ДУБРОВСКИЙ, доктор философских наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института философии РАН

КИРИЛЛ ЭМИЛЬЕВИЧ РАЗЛОГОВ, доктор искусствоведения, профессор, президент АНО «Новый институт культурологии»

**ФИЛОЛОГИЯ И ИСКУССТВОЗНАНИЕ**

СВЕТЛANA ГРИГОРЬЕВНА ТЕР-МИНАСОВА, доктор филологических наук, профессор, президент факультета иностранных языков и регионоведения Московского государственного университета

ВАН ЦЗИНЬЛИН, доктор философии, профессор, директор Института международного образования Чанчуньского университета (КНР)

**ПСИХОЛОГИЯ И ПЕДАГОГИКА**

ЕКАТЕРИНА ИОСИФОВНА АРТАМОНОВА, доктор педагогических наук, профессор кафедры педагогики высшей школы Московского педагогического государственного университета им. В. И. Ленина

**ПОЛИТОЛОГИЯ И ПРАВО**

НИКОЛАЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ МЕРЕЦКИЙ, доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой уголовно-правовых дисциплин Дальневосточного государственного университета путей сообщения

**ИСТОРИЯ**

АЛЕКСАНДР МАНУЭЛЬЕВИЧ РОДРИГЕС-ФЕРНАНДЕС, доктор исторических наук, профессор, заведующий кафедрой новой и новейшей истории Московского педагогического государственного университета им. В. И. Ленина

**ЭКОНОМИКА**

АЛЕКСАНДР ЕВСТРАТЬЕВИЧ ЗУБАРЕВ, доктор экономических наук, профессор, первый проректор по стратегическому развитию и международному сотрудничеству Тихоокеанского государственного университета

# АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

## AVIATION, ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY

Гусева Р. И., Гусева Ж. И.  
R. I. Guseva, J. I. Guseva

### **МОДУЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И УЧЁТА ОТКАЗОВ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ ВЕРТОЛЁТА**

### **MODULE OF AUTOMATED SYSTEM QUALITY MANAGEMENT FOR AUTOMATED COMPONENT CONTROL AND FAILURE RECORDING SYSTEMS IN HELICOPTER PRODUCTS**

**Гусева Роза Ивановна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Авиастроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: r\_guseva@knastu.ru.  
**Roza I. Guseva** – PhD in Engineering, Professor, Aircraft Building Technology Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: r\_guseva@knastu.ru.

**Гусева Жанна Игоревна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Менеджмент, маркетинг и государственное управление» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: chiclady@mail.ru.

**Zhanna I. Guseva** – PhD in Economic Sciences, Associate Professor, Management, Marketing and Public Administration Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: chiclady@mail.ru.

**Аннотация.** Предлагается вариант разработки электронного архива для хранения, обработки и систематизации отказов и дефектов, автоматического формирования отчётов и диаграмм об отказах и дефектах комплектующих изделий вертолёта.

**Summary.** An option is proposed for the development of an electronic archive for storing, processing and organizing failures and defects, automatic generation of reports and diagrams on failures and defects of components of the helicopter.

**Ключевые слова:** надёжность, безотказность, отказ, дефект, электронный архив, диаграммы.

**Key words:** reliability, reliability, failure, defect, electronic archive, diagrams.

УДК 629.7.0171

Одной из приоритетных задач в построении систем менеджмента качества авиационных предприятий является учёт и анализ отказов, имеющих место в эксплуатации вертолётов.

Определяющим фактором конкурентоспособности изделия и предприятия в мировом самолёто- и вертолётостроении на сегодняшний день является качество продукции. В понятие «качество продукции» закладывается многое, в том числе безотказность изделия как в течение гарантийного срока, так и в рамках заявленного ресурса.

В статье рассмотрена система автоматического управления (САУ) и учёта отказов (АСУ УО) вертолёта и входящие в неё комплектующие изделия. Рассмотрим её как модуль автоматизированной системы менеджмента качества (АСМК).

Система автоматического управления предназначена для обеспечения пилотирования вертолёта при ручном, автоматическом и автоматизированном способах управления и выявления отказов.

Среди основных целей создания АСУ УО можно отметить:

1. повышение эффективности процессов работы с данными об отказах и дефектах продукции и покупных комплектующих изделий к ней, включая классификацию отказов и дефектов;

2. обеспечение прослеживаемости истории отказов и дефектов каждого изделия и покупных комплектующих изделий в течение периода их эксплуатации;

3. накопление и систематизацию статистических данных по качеству выпускаемой продукции;

4. обеспечение руководства всех уровней оперативной информацией об отказах и дефектах изделий и комплектующих, в том числе покупных, в рамках процессов:

- учёта и анализа отказов изделий у потребителя;
- учёта и анализа отказов изделий на всех стадиях производства;
- учёта и анализа отказов всех покупных комплектующих изделий.

В создании АСУ УО необходимо выделить два этапа:

1. Создание электронного архива (ЭА) информации по отказам (включая реализацию статистических отчётов). Такой ЭА предназначен для накопления и систематизации данных, а также для проведения анализа данных по отказам.

В процессе лабораторных, наземных и лётных испытаний опытных образцов авиационной техники тщательно фиксируются все отказы и неисправности, на этой основе уточняются характеристики её надёжности и отрабатывается программа технической эксплуатации как для вертолёта в целом, так и для каждого входящего в состав его конструкции технического устройства.

2. Работа с ЭА и автоматизация управления потоками работ по учёту и анализу отказов.

Документально порядок и методика технической эксплуатации оформляются в виде инструкции (руководства) и единого регламента технической эксплуатации вертолёта.

При эксплуатации систем различают три периода: период приработки, период нормальной эксплуатации, период интенсивного износа системы.

В процессе эксплуатации САУ встроенные средства контроля позволяют выявить возникающие неисправности и отказы блоков САУ.

Локализация отказов и устранение возможных неисправностей, обнаруженных в полёте и при оперативных и периодических формах технического обслуживания, проводятся с использованием следующих режимов:

- предполётный контроль;
- автоматическая регулировка САУ;
- расширенный контроль.

На экране компьютера обеспечивается возможность просмотра: вида отказов; идентификаторов программ, входящих в состав программного обеспечения; отказов блоков из состава САУ; отказов сервоприводов; отказов взаимодействующего с САУ оборудования; отказов линий связи; отказов системы электропитания САУ; отказов по сравнению информации по углам, угловым скоростям, перегрузкам от разнородных датчиков.

Статистические данные по отказам и неисправностям систем и комплектующих изделий позволяют:

- оценивать фактический уровень надёжности вертолёта и динамику его изменения по годам эксплуатации;
- выявлять наименее надёжные агрегаты и системы вертолёта;
- уточнять действующую эксплуатационную документацию;
- получать исходную информацию для расчёта и анализа уровня надёжности разрабатываемого вертолёта.

Наибольшее распространение получили *карточки учёта неисправностей авиационной техники*.

Различные системы учёта отказов и неисправностей отличаются в основном формой применяемых карточек.

Требования к форме карточки учёта отказов и неисправностей противоречивы.

С одной стороны, форма карточки должна обеспечивать лёгкое и достаточно полное заполнение рядовым работником эксплуатационной службы информации о самых разнообразных отказах и неисправностях такой сложной машины, как вертолёт.



С другой стороны, форма карточки должна обеспечивать быстрый перевод содержащейся в ней информации в память ЭВМ для последующей машинной обработки и анализа всего массива карточек за длительный период эксплуатации вертолёта.

Оперативность той или иной системы учёта отказов и неисправностей авиационной техники характеризуется календарным временем передачи информации от эксплуатационника до конструктора. Чем меньше это время, тем быстрее конструктор внедрит мероприятия по повышению безотказности агрегатов, по которым зафиксировано наибольшее число отказов или неисправностей.

Поэтому в некоторых системах учёта отказов и неисправностей предусмотрена ежедневная телетайпная передача информации об отказах и неисправностях вертолёта разработчику. Цели анализа данных по отказам:

- оценка надёжности изделий по результатам испытаний и эксплуатации;
- выявление путей повышения надёжности изделий;
- выявление необходимости улучшения правил эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, комплектации и снабжения запасным имуществом, инструментами и принадлежностями;
- выявление влияния условий и режимов эксплуатации на надёжность;
- идентификация видов, причин и возможных механизмов возникновения отказов (неисправностей);
- совершенствование баз данных и методов прогнозирования;
- получение информации, необходимой при выполнении функций управления надёжностью.

Источниками данных о надёжности изделий являются:

- отчёты о результатах расследований аварий и катастроф;
- акты рекламаций;
- результаты входного контроля качества комплектующих изделий, полуфабрикатов и материалов;
- результаты различных видов технологического контроля в процессе производства;
- результаты приёмочных испытаний опытных образцов изделий;
- результаты приёмно-сдаточных испытаний серийных образцов изделий;
- информация, полученная в процессе авторского надзора;
- информация, полученная в процессе гарантийного обслуживания и ремонта;
- информация, полученная в процессе подконтрольной эксплуатации (эксплуатационных испытаний) отдельных образцов (групп) изделий.

Сбор информации о качестве комплектующих изделий является комплексом мероприятий, направленных на получение необходимой, достоверной и своевременной информации о состоянии качества получаемой от поставщиков продукции. Сбор данных предусматривает учёт неисправностей, отказов, анализ и разработку мероприятий, направленных на повышение надёжности комплектующих изделий.

В задачи сбора и обработки информации о качестве и надёжности изделия входит:

- своевременный и достоверный учёт данных о дефектах и неисправностях комплектующих изделий, выявленных специалистами предприятия и военным представительством;
- определение причин возникновения неисправности или отказа;
- анализ характера отказов, имевших место на этапе входного контроля и в процессе производства;
- выявление зависимостей между отказами;
- выявление слабых мест в конструкции военной техники;
- выявление ненадёжных комплектующих изделий, применяемых при изготовлении продукции;
- подача предложений в программу повышения качества и надёжности на основании анализа отказов;

- оценка эффективности мероприятий по обеспечению и повышению надёжности комплектующих изделий.

Статистический анализ отказов комплектующих изделий должен проводиться на основе внесённых данных по карточкам отказа комплектующих изделий с использованием автоматизированной системы управления «Учёт отказов» как в количественном соотношении, так и в процентном соотношении. Из представленных диаграмм видно, что по годам встречаются комплектующие изделия с достаточным количеством отказов, что позволяет считать, что такое неравномерное число отказов по годам зависит от качества изготовления комплектующих изделий на самих предприятиях.

Для наглядности представляем количество отказов комплектующих изделий системы автоматического управления (САУ-800) за два статистических года (см. рис. 1 и 2).

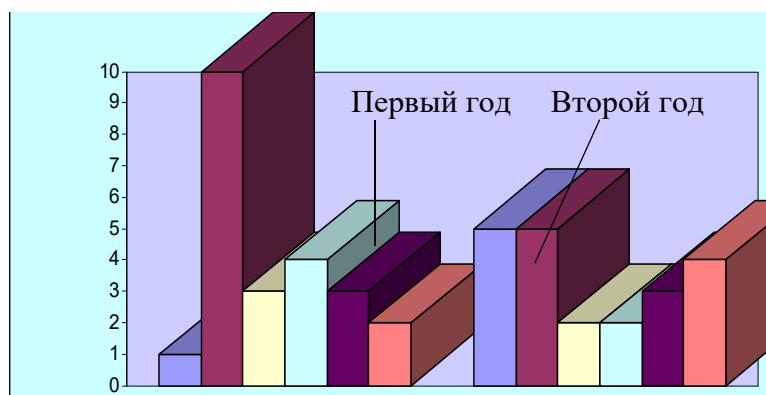


Рис. 1. Количество отказов САУ комплектующих изделий по годам

Помимо этого должны быть сформированы отчёты для определения последствий отказов (дефектов) и уровня отказов изделия, оценки эффективности мероприятий по устранению повторяющихся дефектов и поставщиков по итогам года.

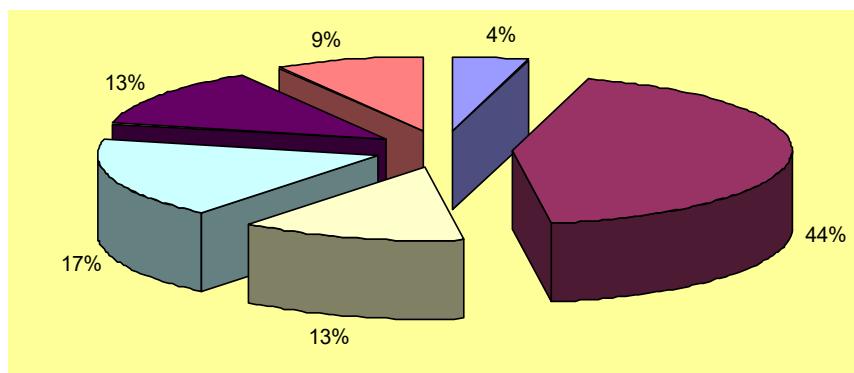


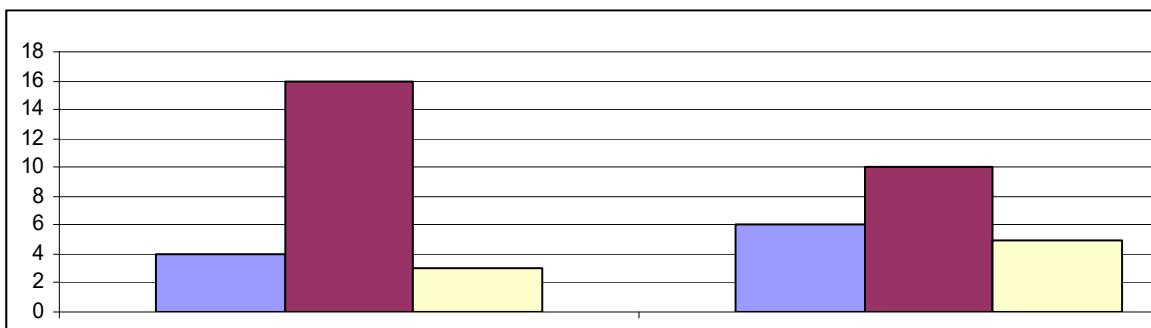
Рис. 2. Процентное соотношение отказов САУ за год

На рис. 3 представлена диаграмма типов дефектов в процентном соотношении отказов комплектующих изделий САУ за год.

При анализе причин возникновения отказов и неисправностей изделий авиационной техники большое значение имеет их классификация по следующим факторам:

- по моменту фиксации: на земле (при обслуживании летательного аппарата), в воздухе, во время выполнения полётного задания, при заводских испытаниях летательного аппарата (приработочные отказы и неисправности);

- по последствиям: без последствий; с последствиями, приведшими к невыполнению полётного задания; с последствиями, вызвавшими особую ситуацию в полёте или предпосылку к лётному происшествию;
- по причинам: конструктивно-производственные недостатки; ошибки наземного технического состава, ошибки лётного состава; внешние или случайные причины;
- по способу устранения: при оперативном техническом обслуживании; при периодическом техническом обслуживании; при профилактическом ремонте.



■ – Производственный дефект; ■ – Эксплуатационный дефект; ■ – Конструкторский дефект

Рис. 3. Статистические типы дефектов по годам

Если количество отказов основных систем летательного аппарата влияет на значение показателя его безотказности, то от количества неисправностей зависит величина коэффициента готовности летательного аппарата данного типа и удельная суммарная трудоёмкость их технического обслуживания.

Количество неисправностей, выявляемых на вертолётах в процессе эксплуатации за определённый календарный период, на порядок и более превышает количество отказов.

Вертолёт классифицируется как восстановливаемое изделие многократного действия кратковременного характера. Обычно при выборе критерия надёжности той или иной системы основываются на оценке экономического и морального ущерба, вызываемого её ненадёжностью.

Основными целями создания ЭА по комплектующим изделиям являются обеспечение хранения и систематизация данных об отказах и дефектах продукции и комплектующих систем, а также данных по приёмке изделий и качеству работы цехов, что позволит прослеживать историю отказов изделия.

В состав ЭА входят документы: справочники, где представляют виды дефектов и их шифр, статистический анализ дефектов по этапам обнаружения, поставщики, результаты исследования дефектов.

Алгоритм выбора комплектующих изделий (КИ) с учётом требований к их надёжности представлен на рис. 4.

При создании ЭА учёта отказов и неисправностей необходимо учесть следующие этапы:

- по «Этапу обнаружения» можно просмотреть и заполнить виды обнаружения отказов комплектующих изделий;
- по этапу «Основание для составления акта» можно заполнить и просмотреть варианты оснований для отказа КИ;
- по этапу «Результат исследования» можно просмотреть заполнение и результат исследования;
- по этапу «Дефект» можно заполнить и просмотреть виды дефектов;
- по этапу «Договор» можно заполнить и просмотреть условия договора на КИ;
- по этапу «Поставщики» можно определить и заполнить поставщиков КИ;
- по этапу «Статус акта» можно узнать и заполнить аннулирование акта;

- на этапе «Регистрация карточек учёта отказов» учёт актов несоответствующей продукции ведётся также по электронным журналам, причём в диалоговом окне появится форма «Журнал регистрации карточек учёта отказов и неисправностей ПКИ в процессе производства» для внесения данных по отказам комплектующих изделий.



Рис. 4. Алгоритм отбора КИ по степени надёжности



Для вывода данных на принтер необходимо воспользоваться этапом «Отчёт по карточкам учёта отказов и неисправностей ПКИ» (см. рис. 5).

При выборе этапа «Журнал учёта рекламационных (технических) актов» можно внести данные по рекламационным и техническим актам комплектующих изделий за квартал, за год по спецтехнике, по общим дефектам.

Также по электронному архиву можно просмотреть отчёт по дефектам (несоответствиям), выявленным на входном контроле и в процессе эксплуатации авиационной техники.

Регистрационный номер карты в цехе	Дата отказа	Шифр изделия	Серийный номер основного изделия	Наименование и номер отказавшего агрегата	Этап обнаружения
				САУ-800	ВхК
				САУ-800	ЛИС
				САУ-800	КИ

Рис. 5. Отчёт по отказам, выявленным в процессе производства за год

Основной функционал ЭА можно разделить в соответствии с тремя классами решаемых задач:

- внесение данных;
- извлечение данных посредством отчётов;
- анализ данных с помощью диаграмм.

Создание ЭА данных по отказам комплектующих изделий обеспечит хранение и доступ к информации об отказах и дефектах продукции.

Основным эффектом при создании архива является сокращение времени обработки и анализа информации. В результате сложный отчёт можно сформировать со значительным сокращением времени формирования и поиска документов.

Заполнение и накопление данных по отказам позволяет проводить сравнительный анализ уровня отказов продукции, т.е. видеть динамику отказоустойчивости КИ.

Внедрение автоматизированной системы приводит к сокращению штата, позволяет привлекать менее квалифицированный персонал.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гусева, Р. И. Об оценке безотказности покупных комплектующих изделий, используемых в боевом вертолёте / Р. И. Гусева // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2013. – № III-1 (15). – С. 11-17.
2. Анцелиович, Л. Л. Надёжность, безопасность и живучесть самолёта / Л. Л. Анцелиович. – М.: Машиностроение, 1985. – 296 с.
3. Анализ влияния конструкционных факторов на надёжность герметичных электромеханических преобразователей / Д. А. Голоколос, Н. С. Карпова, С. Н. Иванов, К. К. Ким // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2013. – № IV-1(16). – С. 29-34.

ЭНЕРГЕТИКА  
ENERGETICS

**Шаломов В. И.**  
**V. I. Shalomov**

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАМЕЩАЮЩЕЙ ТУРБИНЫ С ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ СВЕЖЕГО ПАРА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ТУРБОУСТАНОВОК СЕМЕЙСТВА Т-100**

**NUMERICAL STUDY OF THE REPLACEMENT TURBINE EFFICIENCY  
WITH AN INCREASED FRESH STEAM TEMPERATURE FOR THE TECHNICAL  
RE-EQUIPMENT OF T-100 FAMILY TURBINE UNITS**

**Шаломов Вячеслав Иванович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: shalomov2012@yandex.ru.

**Vyacheslav I. Shalomov** – PhD in Engineering, Associate Professor, Thermal Power Plants Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: shalomov2012@yandex.ru.

**Аннотация.** В работе рассмотрены предварительные результаты расчётного исследования тепловой экономичности турбоустановки Т-120/130-130 при работе в теплофикационном и конденсационном режимах в условиях повышения начальной температуры пара.

**Summary.** The paper considers preliminary results of a calculated study of the thermal efficiency of a turbine unit T-120/130-130 when working in heating and condensation modes in conditions of increasing the initial temperature of steam.

**Ключевые слова:** техническое перевооружение, паровая турбина, параметры пара, мощность турбины, тепловая схема, расчётное исследование, тепловая экономичность.

**Key word:** modernization, steam turbine, steam parameters, power turbine, heat scheme, numerical analysis, thermal efficiency.

УДК 621.311

На электрической станции «Хабаровская ТЭЦ-1» филиала «Хабаровская генерация» АО «Дальневосточная генерирующая компания» (АО «ДГК») в эксплуатации находятся три турбины семейства Т-100. Две турбины Т-100-130 станционные № 7 (ввод в строй в 1967 г.) и № 8 (ввод в строй в 1969 г.) и одна турбина Т-100/120-130 станционная № 9 (ввод в эксплуатацию в 1972 г.). При парковом ресурсе 220 000 ч наработка турбоагрегатов (ТА) составляет: ТА-7 – 374 119 ч, ТА-8 – 350 620 ч, ТГ-9 – 330 273 ч. С 2000 г. турбинам установлены следующие параметры пара перед стопорным клапаном: давление – 125 кгс/см<sup>2</sup>; температура – 540 °C. В связи с выработкой ресурса и введением эксплуатационных ограничений начальных параметров пара замена турбоустановок становится всё более очевидной.

По данным на 2013 г., с 1961 г. ЗАО «Уральский турбинный завод» (УТЗ) произвёл 245 турбин семейства Т-100 разных модификаций, запущенных в разные годы на 106 ТЭЦ и ГРЭС в 13 странах мира. Эти турбины всегда отличались высокими показателями эффективности и надёжности, а потому стали очень популярными.

В 2008 г. УТЗ разработал комплексный пакет технического перевооружения турбин семейства Т-100 [1]. Все решения данного пакета использованы при модернизации новой модификации турбины Т-120/130-130, которая в настоящее время предлагается заказчику. Турбины поставлены на Астанинскую ТЭЦ (Казахстан) и Абакансую ТЭЦ. В 2013 г. турбины отгрузили для Кировской ТЭЦ-4, а в 2014 г. – для Улан-Баторской ТЭЦ-4 (Монголия).



Сравнительные технические характеристики турбины Т-100/120-130 и замещающей турбоустановки представлены в табл. 1. Для сопоставления в таблице показаны также характеристики базовой модели семейства Т-100 – турбины Т-110/120-130-5. Она обладает более высокой экономичностью по сравнению с Т-100/120-130.

Таблица 1

## Сравнительные характеристики турбоустановок

Технический показатель	Т-100/120-130	Т-110/120-130	Т-120/130-130
Номинальная мощность турбины, МВт	105	100	123
Максимальная мощность турбины, МВт	120	120	130
Конденсационная мощность, МВт	110	120	130
Начальное давление пара, кгс/см <sup>2</sup>	130	130	130
Начальная температура пара, °C	555	555	555
Температура питательной воды, °C	232	234	236
Температура охлаждающей воды, °C	20	20	20
Расход пара в турбину (номинальный), т/ч	441	480	520
Расход пара в турбину (максимальный), т/ч	465	485	525
Тепловая нагрузка номинальная, МВт	203	203	218,6
Давление в верхнем отопительном отборе, кгс/см <sup>2</sup>	0,6...2,5	0,6...2,5	0,6...2,5
Давление в нижнем отопительном отборе, кгс/см <sup>2</sup>	0,5...2,0	0,5...2,0	0,5...2,0
Давление пара в конденсаторе, кПа	5,0	5,3	3,9
Средний внутренний относительный КПД проточной части $\eta_i$ , %	78,6	81,3	87,9

Турбина Т-120/130-130 состоит из 3 цилиндров: высокого, среднего и низкого давлений (ЦВД, ЦСД и ЦНД). Парораспределение сопловое. ЦВД включает одновенечную регулирующую ступень и 10 ступеней давления. Использование одновенечной регулирующей ступени и более совершенных в аэродинамическом отношении профилей направляющих лопаток ступеней давления позволило повысить КПД ЦВД приблизительно на 3,5 %. В качестве бандажных, диафрагменных и концевых уплотнений применены сотовые уплотнения, обеспечивающие на 1,0...1,2 % дополнительное повышение экономичности ЦВД. Новый ЦВД полностью устанавливается на фундамент своего предшественника. Проточная часть ЦСД состоит из 14 ступеней давления. Концевые уплотнения ЦСД сотового типа. ЦНД выполнен двухпоточным с размещением в каждом потоке регулирующей ступени и ступени давления. На входе в проточную часть установлены поворотные регулирующие диафрагмы. Концевые уплотнения ЦНД выполнены также сотовыми. Средний внутренний КПД проточной части составляет 87,9 %, что на 8,1 % в относительном выражении превышает этот показатель у турбины Т-110/120-130 (см. табл. 1). Особенностью турбины является наличие производственного отбора пара для технологических нужд станции из ресивера ЦВД-ЦСД в количестве 70 т/ч давлением 1,2...1,8 МПа.

Как видим, начальные параметры пара являются традиционными для турбоустановок семейства Т-100. Одним из действенных способов повышения экономичности паротурбинных установок (ПТУ) является увеличение параметров свежего пара. В связи с появлением новых материалов стало возможным использование в отечественных турбинах с докритическими начальными параметрами повышенных температур пара.

Температуру свежего пара  $t_0$  повышают при постоянном начальном давлении  $p_0$ . В результате возрастают термический КПД цикла и мощность турбины. Это происходит за счёт увеличения располагаемого теплоперепада в турбине, который пропорционален начальной температуре. Кроме того, увеличивается степень сухости пара на выходе из турбины, вследствие чего снижаются потери от влажности – повышается внутренний относительный КПД.

По данным работы [2], ведущие мировые энергокомпании строят угольные энергоблоки с температурой перегретого пара 600...620 °С. Опыт их эксплуатации насчитывает уже много лет, оборудование – котлы и турбины – освоено и коммерчески производится.

Принципиальная тепловая схема ТУ приведена на рис. 1.

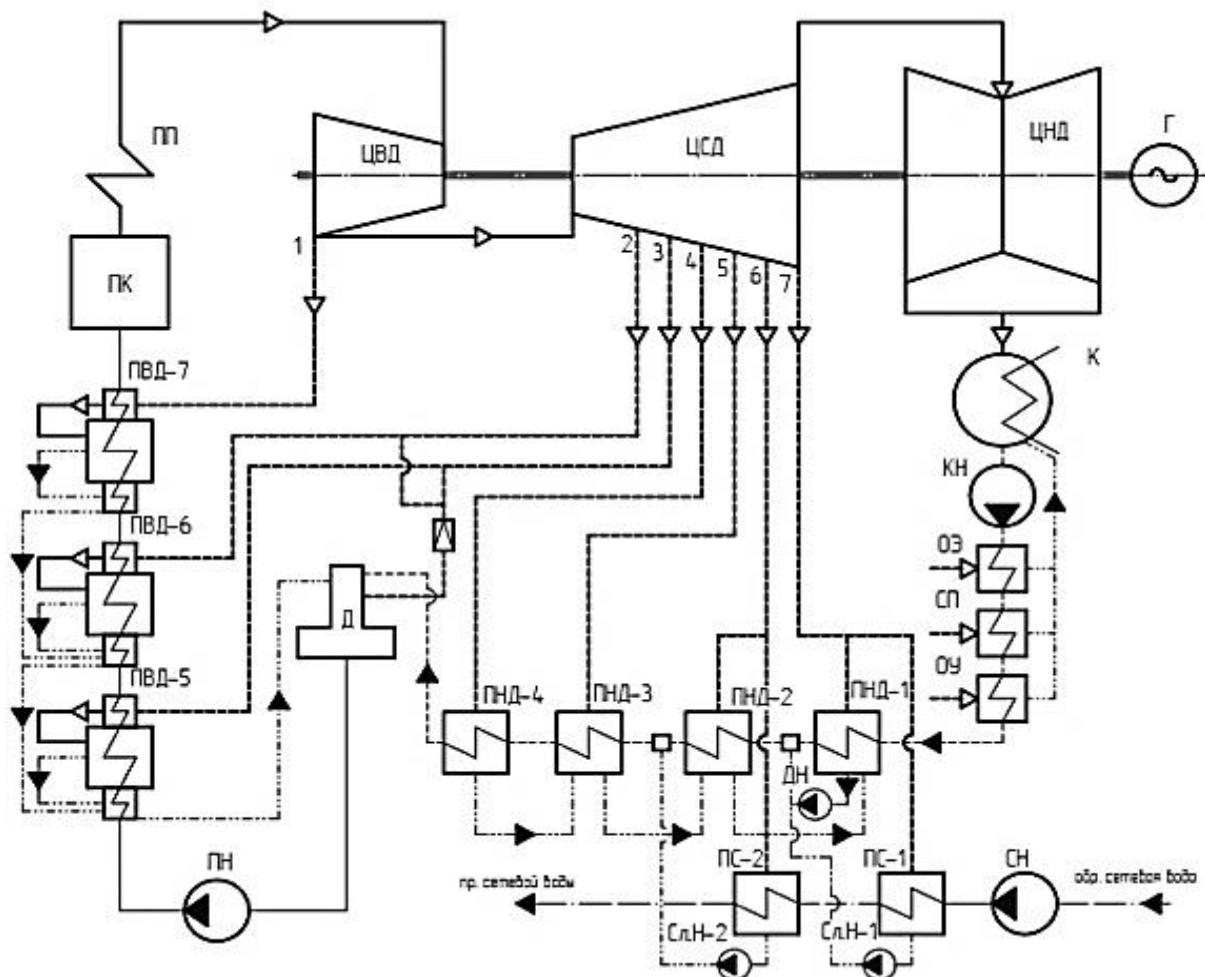


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема турбины: КП – котёл паровой; ПП – пароперегреватель; ЦВД, ЦСД, ЦНД – цилиндры высокого, среднего и низкого давления; Г – генератор; К – конденсатор; КН – конденсатный насос; ОЭ – охладитель эжектора; СП – сальниковый подогреватель; ПНД – подогреватель низкого давления; ПВД – подогреватель высокого давления; Д – деаэратор; ПН – питательный насос; ПС – подогреватель сетевой; СН – сетевой насос; ДН – дренажный насос; Сл.Н – сливной насос

Структурная формула системы регенерации ТУ – ЗПВД+Д+4ПНД – аналогична турбине Т-110/120-130. Все подогреватели высокого давления трёхсекционные. В каждую секцию входят пароохладитель, собственно подогреватель и охладитель дренажа. Из ЦВД отборов пара не предусмотрено. Отбор греющего пара № 1 осуществляется в ПВД-1 после ЦВД. Дренажный конденсат из ПВД отводится последовательно по каскадной схеме в деаэратор. Деаэратор предвключён по



пару к 3-му отбору, по которому подводится греющий пар к ПВД-5. Давление в деаэраторе с помощью регулирующего клапана на частичных нагрузках поддерживается постоянным и равным 0,6 МПа. В отличие от тепловой схемы турбины Т-100-130 в схеме регенеративной установки низкого давления конденсат греющего пара из ПНД-1 удаляется дренажным насосом в линию основного конденсата между ПНД-1 и ПНД-2. Такое техническое решение полностью исключает потерю теплоты с дренажным конденсатом группы ПНД в конденсаторе. В сетевые подогреватели ПСГ-2 и ПСГ-1 греющий пар подводится из 6-го и 7-го отборов турбины соответственно. Конденсат греющего пара из ПСГ-2 удаляется сливным насосом № 2 в линию основного конденсата перед ПНД-3, а из ПСГ-1 – сливным насосом № 1 в линию основного конденсата перед ПНД-2. Отборов пара на ПНД из ЦНД в конструкции турбины не предусмотрено. Это обстоятельство позволяет применить в турбинах семейства Т-100 расцепную муфту для отключения ЦНД с переводом турбины на работу в противодавленческий режим, позволяющий повысить тепловую нагрузку турбины в отопительный период [3].

Расчётное исследование тепловой экономичности ТУ Т-120/130-130 для условий повышенной температуры свежего пара выполнено при её работе в теплофикационном и конденсационном режимах (Т- и К-режимах) при постоянном начальном давлении пара, равном номинальному значению 12,75 МПа. Исследование заключалось в проведении расчётов тепловой схемы ТУ при вариативных значениях начальной температуры пара: 555, 565, 580, 590 и 600 °С. Давление в конденсаторе в ходе расчётов выдерживалось постоянным, 5 кПа. Тепловая нагрузка турбины 210 МВт также оставалась неизменной. Внутренние относительные КПД цилиндров приняты: для ЦВД – 0,83; для ЦСД – 0,84; для ЦНД – 0,8. В ходе расчётов тепловой схемы они не изменялись. Температура питательной воды составляла 236 °С, давление в деаэраторе – 0,6 МПа, эти параметры оставались постоянными при всех вариантах расчёта. Кроме того, были выбраны следующие величины [3]:

1. недогревы воды в регенеративных подогревателях: для ПВД – 2 °С; для ПНД – 4 °С;
2. недогрев сетевой воды в сетевых подогревателях – 4,5 °С;
3. потеря давления в трубопроводах греющего пара от турбины до регенеративных подогревателей – 8 %;
4. потеря давления в регулирующих клапанах турбины – 5 %.

КПД парового котла принят 92 %, характерный для паровых котлов БКЗ 210-140 и БКЗ 220-140, работающих в составе Хабаровской ТЭЦ-1.

Расчёт тепловой схемы выполнен методом тепловых и материальных балансов на базе со-пряжённых компьютерных программ MathCad и XSteam. Программный продукт XSteam позволяет автоматически определять параметры воды и пара паротурбинного цикла в ходе расчёта тепловой схемы. Поскольку традиционно задаваемым техническим показателем являлась мощность турбоагрегата, то алгоритм и компьютерная программа расчёта были несколько переработаны: основным задаваемым параметром стал расход пара в турбину, а определяемым – электрическая мощность.

Математическая модель расчёта тепловой схемы включает в себя 10 модулей:

1. Выбор исходных данных и формирование расчётной тепловой схемы.
2. Проектирование оптимального распределения регенеративного подогрева по параметрам питательной воды и основного конденсата с построением диаграммы подогревов.
3. Определение давления конденсации пара в регенеративных подогревателях.
4. Расчёт параметров пара в отборах и построение в h,s-диаграмме процесса расширения пара в проточной части турбины.
5. Доопределение термодинамических параметров на ветвях тепловой схемы и расчёт теплофикационной установки.
6. Расчёт материального и теплового баланса группы ПВД-7 – ПВД-6 – ПВД-5 – деаэратор.
7. Расчёт материального и теплового баланса методом итераций группы ПНД-4 – ПНД-3 – СМ1 – ПНД-2 – СМ2 – ПНД-1.

8. Вычисление недовыработки в отсеках приведённого теплоперепада и определение расхода свежего пара в турбину.

9. Определение расходов пара в отборы, внутренней мощности отсеков, внутренней и электрической мощности турбины.

10. Расчёт технико-экономических показателей турбоустановки и энергоблока ТЭЦ. В этом модуле определяются удельный расход пара, полный расход тепла на турбоустановку, КПД ТУ по производству электроэнергии, удельный расход тепла на производство электроэнергии, удельные расходы топлива на производство электроэнергии и теплоты. Удельные показатели энергоблока нетто определяются с учётом затрат электроэнергии на собственные нужды.

Сравнительные результаты расчётного исследования приводятся ниже. График изменения мощности ТУ при повышении начальной температуры пара изображён в форме гистограммы на рис. 2.

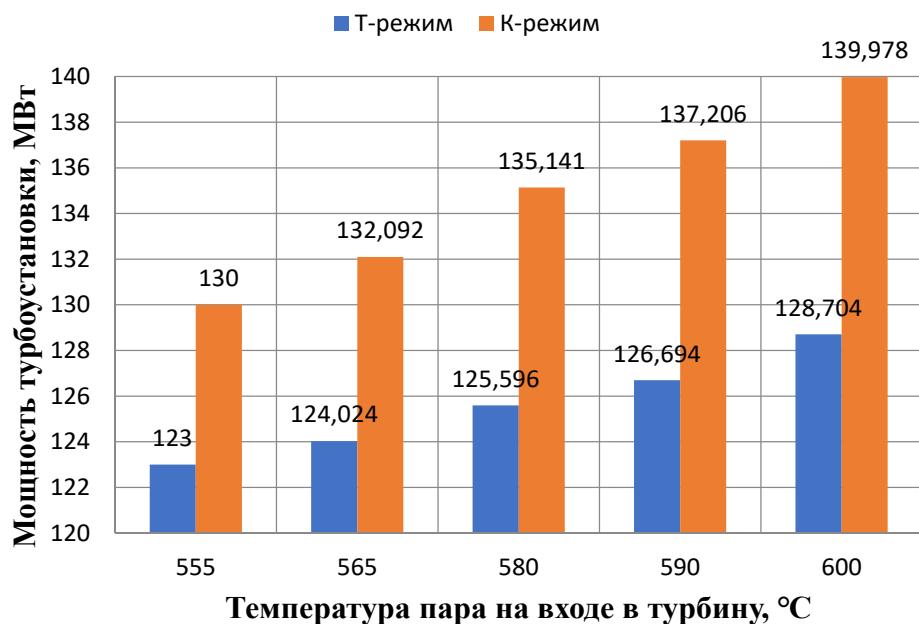


Рис. 2. Совмещённый график зависимости мощности турбоустановки от температуры пара на входе в турбину

Гистограмма показывает, что электрическая мощность ТУ возрастает на 5,7 МВт в Т-режиме и примерно на 10 МВт в К-режиме или в относительном выражении соответственно на 4,43 % и 7,13 %. Рост мощности обусловливается повышением используемого теплоперепада в турбине в Т- и К-режимах примерно на 87 кДж/кг или на 7 %. Глядя на характер изменения значений мощности ТУ при К-режиме, можем сделать вывод, что на каждый градус повышения температуры свежего пара мощность увеличивается на 222 кВт. Рост мощности в К-режиме происходит более интенсивно, так как расход пара в турбину остаётся постоянным. При работе ТУ в Т-режиме расход свежего пара  $D_0$  при переходе к температуре 600 °C несколько снижается. Это было необходимо для удержания постоянной тепловой нагрузки турбины.

Турбоустановка приобретает новую маркировку Т-128/140-130. Замещающая турбина будет достигать мощности в Т-режиме 128 МВт, в К-режиме 140 МВт при прежнем значении начального давления пара  $p_0 = 12,8$  МПа и повышенной начальной температуре  $t_0 = 600$  °C. Стремление к повышению мощности теплофикационных ТУ при работе в К-режиме отвечает современным требованиям более эффективно использовать их в неотопительный период.

Тепловую эффективность ТУ при повышении начальной температуры пара с 555 до 600 °C покажем на примере изменения удельного расхода теплоты на выработку электроэнергии. Так, для

Т-режима этот показатель снижается в относительном выражении на 1,25 % (см. рис. 3), что приводит к уменьшению удельного расхода условного топлива до 179,5 г/(кВт·ч).

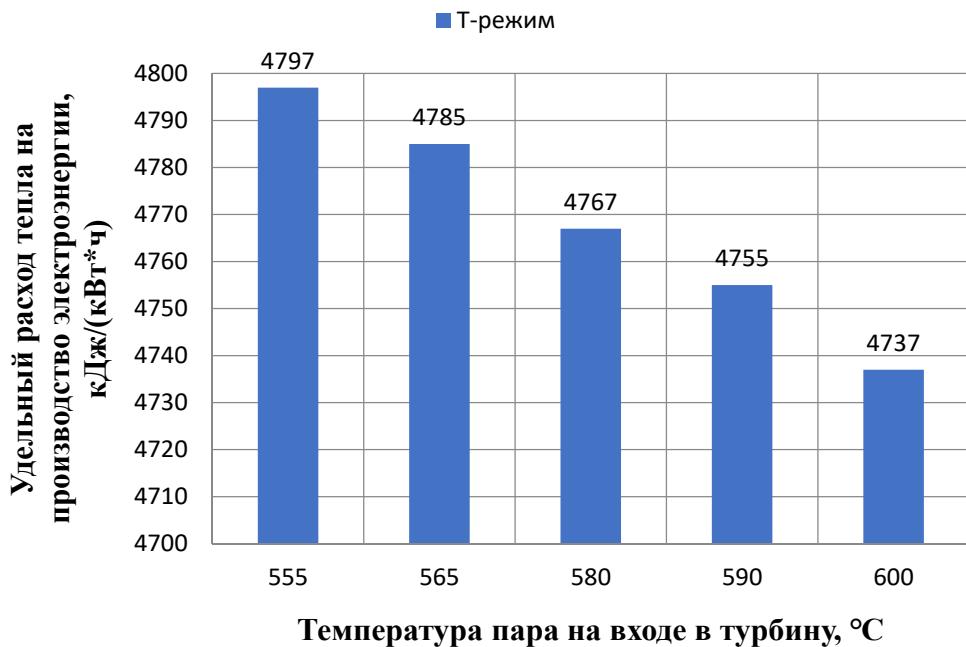


Рис. 3. Зависимость удельного расхода теплоты на производство электроэнергии от температуры пара на входе в турбину в Т-режиме

Расчёт тепловой схемы в К-режиме проводился при условии полного отсутствия тепловой нагрузки турбины, в том числе на горячее водоснабжение. Расход свежего пара в турбину  $D_0$  принимался постоянным и равным 125 кг/с. Исходная мощность для конденсационного режима – 130 МВт. Выбираемые в ходе расчёта тепловой схемы дополнительные данные были такими же, как и для Т-режима. Результаты расчётной оценки тепловой эффективности при работе ТУ в К-режиме изображены графически на рис. 4.

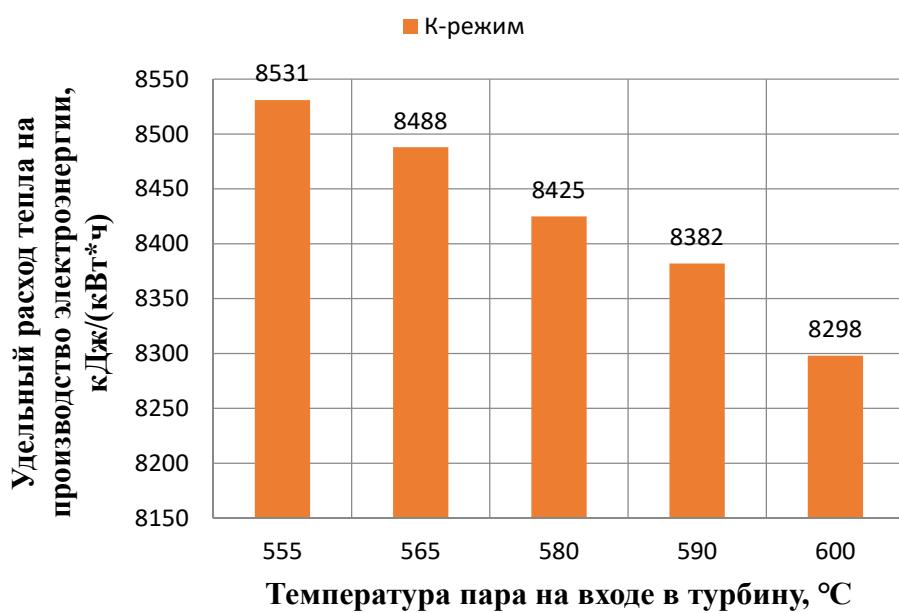


Рис. 4. Зависимость удельного расхода тепла на производство электроэнергии турбоустановкой от температуры пара на входе в турбину в К-режиме

График наглядно демонстрирует, что удельный расход теплоты на производство электроэнергии турбоустановкой снижается на 2,8 %. В этом случае удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии будет составлять около 314 г/(кВт·ч) против 323 г/(кВт·ч) при начальной температуре пара 555 °C. Электрический КПД ТУ брутто может достигать 43,4 %.

Динамика изменения КПД энергоблока по выработке электроэнергии наглядно представлена на рис. 5.

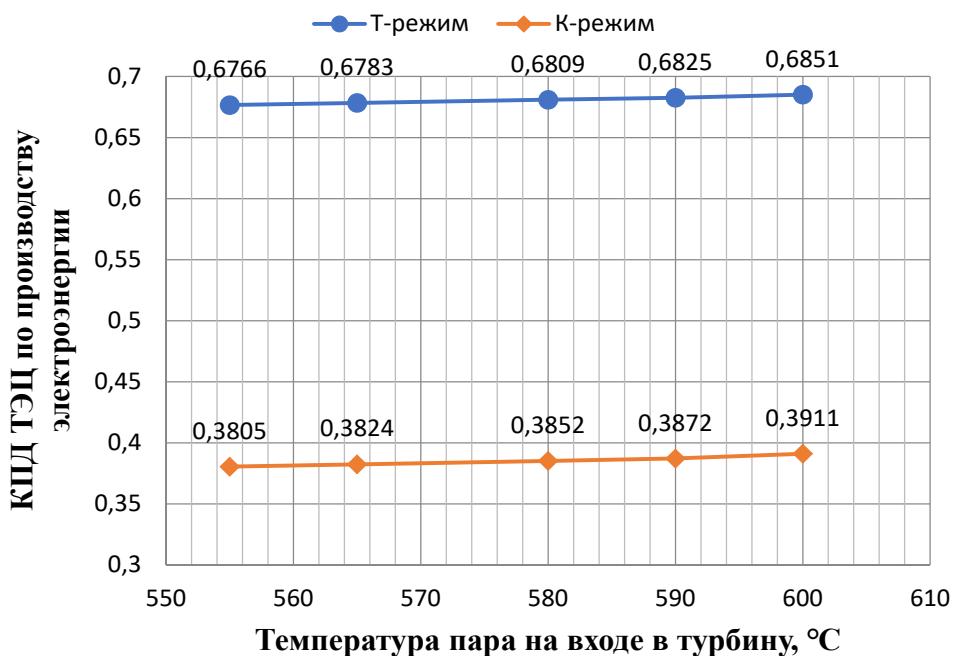


Рис. 5. Совмещённый график зависимости КПД энергоблока по производству электроэнергии от температуры свежего пара

Расчёт КПД энергоблока выполнен при условии, что КПД парового котла равен 0,92, КПД трубопроводов – 0,98. В К-режиме КПД энергоблока возрастает на 1,06 % в абсолютном выражении и достигает 39,1 %. При повышении температуры свежего пара на каждые 5 °C КПД блока увеличивается на 0,12 %. Вместе с тем увеличение температуры перегрева пара снижает надёжность работы и маневренность блока. Подрастают и капитальные вложения. Чтобы повышение экономичности покрывало рост затрат, исследователи для докритических энергоблоков без промежуточного перегрева пара ограничиваются начальной температурой пара в 580 °C [4]. В нашем исследовании этой температуре соответствует электрический КПД энергоблока 38,52 % (см. рис. 5).

Для сравнения приведём некоторые результаты расчётных исследований, проведённых авторами из ОАО «Всероссийский теплотехнический институт» в 2013 г. на базе замещающей турбины, предлагаемой ими на замену ТУ Т-110/120-130 [4]. Исходная расчётная мощность для исследования ТУ в К-режиме составляла 144,1 МВт. При повышении температуры свежего пара с 555 до 600 °C мощность турбины увеличилась на 8,42 МВт. Удельный расход условного топлива снизился на 1,6 %.

Как видим, технические возможности турбины Т-120/130-130 для её совершенствования с применением повышенной начальной температуры пара шире, чем у её предшественниц семейства Т-100.

## Выводы

Численные исследования эффективности теплофикационной турбоустановки с повышенной начальной температурой пара для замещения турбин семейства Т-100 Хабаровской ТЭЦ-1 выполнены на базе турбоустановки Т-120/130-130.



По результатам расчётных исследований получен энергоблок с новой теплофикационной турбиной с маркировкой Т-128/140-130. У турбины мощность в теплофикационном режиме будет достигать 128 МВт, в конденсационном режиме – 140 МВт при параметрах свежего пара  $p_0 = 12,75$  МПа,  $t_0 = 600$  °C.

Турбоустановка отличается повышенными технико-экономическими показателями: удельный расход теплоты на выработку электроэнергии снизился в Т-режиме на 1,25 %; в К-режиме – на 2,8 %; электрический КПД энергоблока достигает 39 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Семейство теплофикационных турбин Т-100-12.8: вчера, сегодня, завтра / А. Е. Валамин, А. Ю. Култышев, Т. Л. Шибаев, А. Ю. Сахнин, М. Ю. Степанов // Теплоэнергетика. – 2013. – № 8. – С. 21-26.
2. Тумановский, А. Г. Пути совершенствования угольных ТЭС России / А. Г. Тумановский, Г. Г. Ольховский // Теплоэнергетика. – 2015. – № 1. – С. 67-73.
3. Профиль энергоблока угольной ТЭЦ нового поколения / Г. А. Рябов, Г. Д. Авруцкий, А. М. Зыков [и др.] // Известия Академии наук. Энергетика. – 2014. – № 1. – С. 29-36.
4. Долгушин, И. А. Расчётный анализ тепловых схем угольных энергоблоков мощностью 100 – 120 МВт с повышенными технико-экономическими показателями для ТЭЦ нового поколения / И. А. Долгушин, Г. А. Рябов, Г. Д. Авруцкий // Энергетик. – 2013. – № 12. – С. 25-30.

**Ющенко Л. В.**  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
ПЕРЕМЕЩАЮЩЕГОСЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

**Ющенко Л. В.**  
**L. V. Yushchenko**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРЕМЕЩАЮЩЕГОСЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

### **USE OF SEMICONDUCTOR DIODES TO OBTAIN A MOVING MAGNETIC FIELD**

**Ющенко Леонид Владимирович** – кандидат технических наук, доцент Дальневосточного государственного университета путей сообщения (Россия, Хабаровск); 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47. E-mail: yushchenko44@mail.ru.

**Leonid V. Yushchenko** – PhD in Engineering, Assistant Professor, Far Eastern State Transport University (Russia, Khabarovsk); 680021, Khabarovsk, Serisheva Street, 47. E-mail: yushchenko44@mail.ru.

**Аннотация.** Предлагается способ перемещения магнитного поля с использованием полупроводниковых диодов, когда в катушки, смещённые в пространстве, подаются полуволны пульсирующего трёхфазного тока одного направления. Полученный перемещающийся магнитный поток увлекает за собой ферромагнитные тела.

**Summary.** A method for moving a magnetic field using semiconductor diodes is proposed, when half-waves of pulsating three-phase current of one direction are supplied to spatially distributed coils. The resulting moving magnetic flux transposes the ferromagnetic bodies.

**Ключевые слова:** трёхфазное напряжение, полупроводниковые диоды, диэлектрическая втулка, обмотки, перемещение ферромагнитного тела.

**Key words:** three-phase voltage, semiconductor diodes, dielectric sleeve, windings, the movement of ferromagnetic body.

УДК 621.313.333.001.24

Основу действия электрических двигателей переменного тока составляет вращающееся (при вращательном движении) или перемещающееся (при линейном движении) магнитное поле, которое во многих случаях создаётся протекающими по обмоткам неподвижного статора переменными токами. При этом обмотки статора должны иметь пространственный сдвиг, а протекающие по обмоткам токи – временной сдвиг. В настоящее время используются в основном трёхфазные обмотки с применением трёхфазной системы напряжений и токов.

Для приведения в движение подвижной части должно быть взаимодействие перемещающегося магнитного поля статора и магнитного поля подвижной части (ротора или бегуна). В одном случае ротор может иметь свой источник магнитного поля – это обмотка возбуждения, питающаяся постоянным током, или постоянные магниты. Такие электродвигатели относятся к классу синхронных машин. В другом случае магнитное поле подвижной части создаётся непосредственно перемещающимся магнитным полем статора. В этом случае поле ротора, а соответственно, и сам ротор вынуждены иметь отставание от магнитного поля статора. Такие двигатели относятся к разряду асинхронных.

Получением вращающегося магнитного поля на основе двухфазного напряжения занимался учёный Никола Тесла, а на основе трёхфазного – Михаил Доливо-Добровольский. Разработанные на основе вращающегося магнитного поля бесколлекторные двигатели имеют много достоинств. Но в то же время при известном способе получения этого поля обмотки статора в лобовых частях пересекаются друг с другом и накладываются друг на друга, тем самым увеличивая габариты машины и уменьшая активную часть. На рис. 1 это точки 1 и 1'; 2 и 2'; 3 и 3'.

Предлагается иной способ получения перемещающегося магнитного поля, на основе которого можно также создавать цилиндрические линейные, плоские линейные и вращательные двигатели.

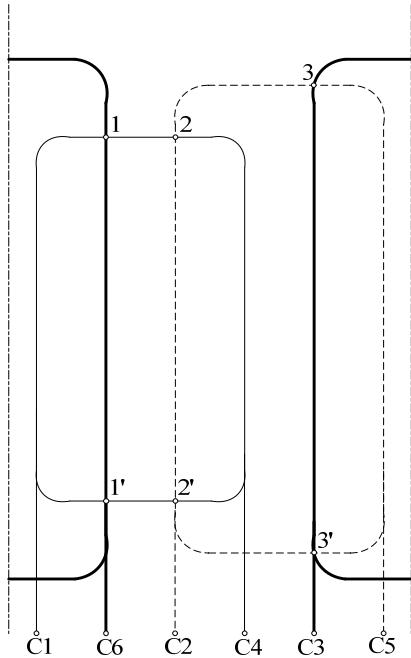


Рис. 1. Точки пересечения обмоток статора в лобовых частях

ется сконцентрированное перемещающееся магнитное поле. И если внутрь поместить ферромагнитное тело определённой формы и размеров, то это тело будет перемещаться за движением магнитного поля. Катушки для перемещения магнитного поля можно включить и в плечи трёхфазной мостовой схемы выпрямления, как показано на рис. 3, а.

На кафедре «Электротехника, электроника и электромеханика» Дальневосточного государственного университета путей сообщения проводились исследования по перемещению ферромагнитных тел внутри цилиндрических поверхностей [1] с передвижением магнитного поля предложенным способом. Принцип такого перемещения можно проследить на примере простейшего трёхфазного цилиндрического двигателя, показанного на рис. 2.

На полуую трубку из диэлектрического материала наматываются в одном направлении как минимум три катушки (соленоида) или число катушек, кратное трём. Катушки по бокам ограничены ферромагнитными (стальными) кольцами, которые в то же время являются частью магнитопровода, охватывающего намотанную катушку. Кольца каждой катушки обтягиваются цилиндрическим ферромагнитным (стальным) кожухом. К катушкам через полупроводниковые диоды подводится трёхфазное напряжение по однополупериодной схеме выпрямления с нулевой точкой, как это показано на рис. 2.

В результате через катушки протекают только положительные полуволны переменного тока со сдвигом по фазе в 120 электрических градусов. Внутри цилиндра получается сконцентрированное перемещающееся магнитное поле. И если внутрь поместить ферромагнитное тело определённой формы и размеров, то это тело будет перемещаться за движением магнитного поля.

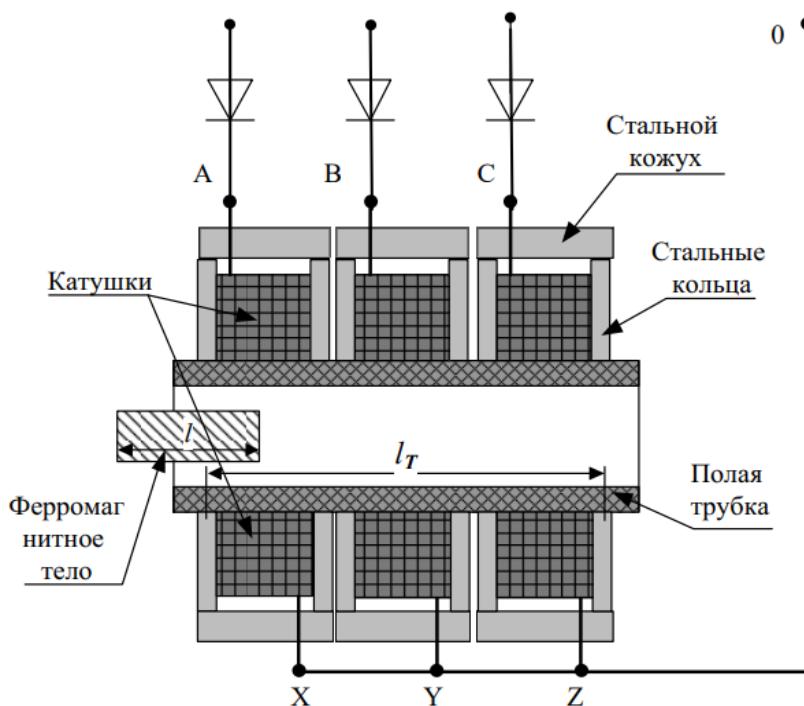


Рис. 2. Способ перемещения магнитного поля

На рис. 3, б показано расположение катушек на полой трубке для получения перемещающегося магнитного поля статора по мостовой трёхфазной схеме.

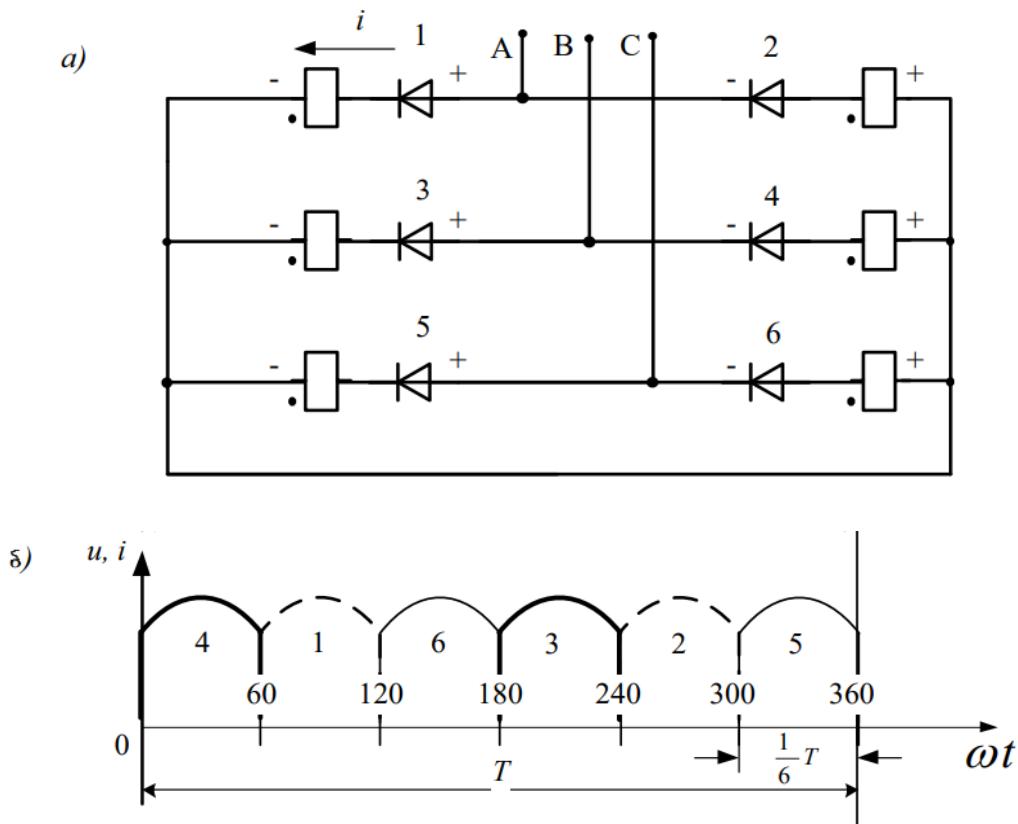


Рис. 3. Порядок подключения катушек по трёхфазной мостовой системе (а)  
и расположение катушек на полой трубке для получения перемещающегося магнитного поля  
статора по мостовой трёхфазной схеме (б)

Также исходили из предположения, что магнитное поле катушки, обладающее большим градиентом, эффективней ускоряет ферромагнитные тела, попадающие в это поле. Достигнуть повышения градиента магнитного поля предложено использованием особой формы магнитопровода катушки, а именно приданием ему формы трапеции. В этом случае линии магнитной индукции, выходящие из торцов магнитопровода, расположенного ближе к центру катушки, создают внутри него большей напряжённости.

Использование двух шайб разного диаметра в торцевой части магнитопровода позволило создать особую форму катушки, представляющую в сечении трапецию (см. рис. 4, а). Магнитное поле такой катушки по большей части сосредоточено в центре, а не распределено по его ширине, как у обычной катушки (см. рис. 4, б). Предполагая, что таким образом создаётся больший градиент магнитного поля по сравнению с катушками обычной формы, на опытной установке применили катушки в форме трапеции в сечении.

Как следует из рис. 2 и 3, для создания перемещающегося магнитного поля предложенным способом используется трёхфазная симметричная система напряжений, но принцип перемещения поля отличен от известного. Работа с такой установкой показала, что мы имеем дело с реактивным синхронным двигателем (РСД).

Во-первых, ферромагнитные тела не имеют явно выраженного источника магнитного поля, а только различное сопротивление по продольной и поперечной осям.

Во-вторых, для перемещения подвижных ферромагнитных тел внутри полой трубы требуется придать первоначальное движение телу, т.е. дать толчок (хотя при этом катушки находятся под напряжением). После этого ферромагнитное тело очень быстро перемещается до тех пор, пока ему позволяют это сделать конечные размеры статора и краевой эффект, что свойственно линейным двигателям.

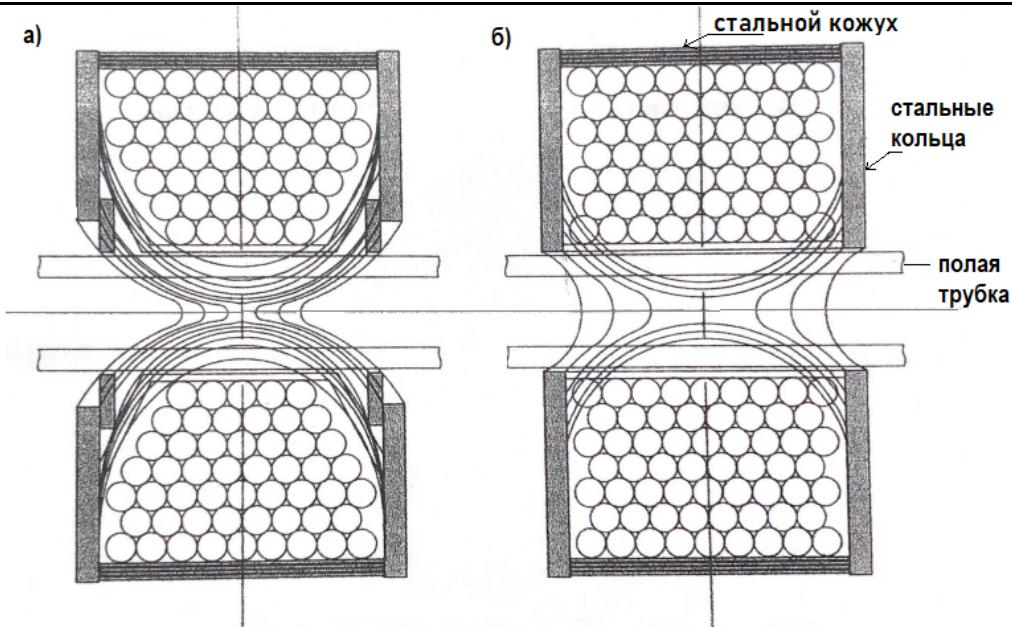


Рис. 4. Распределение линий магнитной индукции в катушках:  
 а – в форме трапеции; б – обычной формы

Если не менять полую цилиндрическую трубку, использовать те же ферромагнитные тела (стальные цилиндрики) и включать те же катушки, но без полупроводниковых диодов и по трёхфазной схеме обычных статорных обмоток, то разгон и движение ферромагнитных тел совершаются без всяких первоначальных толчков, т.е. асинхронным способом.

Предложенный метод перемещения магнитного поля можно использовать также и для двигателя вращательного движения (см. рис. 5). Только теперь это будет двигатель переменного тока с явно выраженным полюсами статора. И для получения перемещающегося магнитного поля катушки располагают на зубцах внутренней части статора, включают их через полупроводниковые диоды по схеме и в порядке, показанном на рис. 3. Здесь также отсутствуют пересекающиеся лобовые части обмоток.

В настоящее время на кафедре разрабатывается конструкция двигателя вращающего движения, но с получением вращающегося магнитного поля по предложенному способу.

Линейный двигатель можно получить традиционным способом: разрезать в аксиальном направлении статор, развернуть, ферромагнитный ротор заменить ферромагнитным бегуном. По мнению автора, движение ферромагнитных тел можно организовать по нужной, даже непрямолинейной траектории, как это показано на рис. 6.

Линейная скорость перемещения магнитного поля в линейных двигателях может быть определена исходя из того, какая схема используется для питания катушек. Об этом более подробно изложено в работах [1; 2].

Частота вращения магнитного поля в двигателе вращательного движения (см. рис. 5) по предложенному способу может быть определена из условий:

1. сколько зубцов (или катушек) расположено по длине окружности статора;
2. по какой схеме происходит питание этих катушек;
3. какова частота тока или чему равна длительность одного периода.

Так, если катушки запитаны трёхфазной однополупериодной схемой выпрямления (см. рис. 2), а длительность периода  $T$  при частоте тока 50 Гц составляет  $T = 0,02$  с, то за один период времени в работе примут участие три последовательно расположенных катушки. А полный оборот магнитного поля займёт  $\frac{N}{3} \cdot T$  секунд.

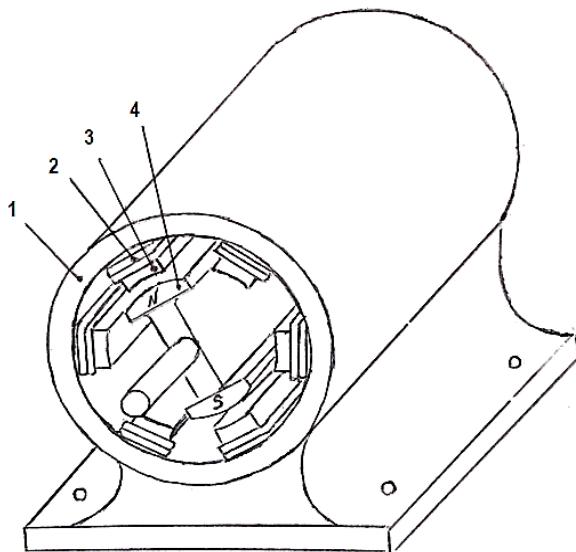


Рис. 5. Двигатель переменного тока с явно выраженным полюсами статора:  
1 – тело статора; 2 – обмотка полюса; 3 – сердечник полюса; 4 – подвижная часть

Тогда за одну секунду магнитное поле выполнит  $n_0 = \frac{1 \cdot 3}{NT}$  оборотов. А за одну минуту  $n_0 = \frac{60 \cdot 3}{NT}$ , где  $N$  – количество катушек по длине окружности статора.

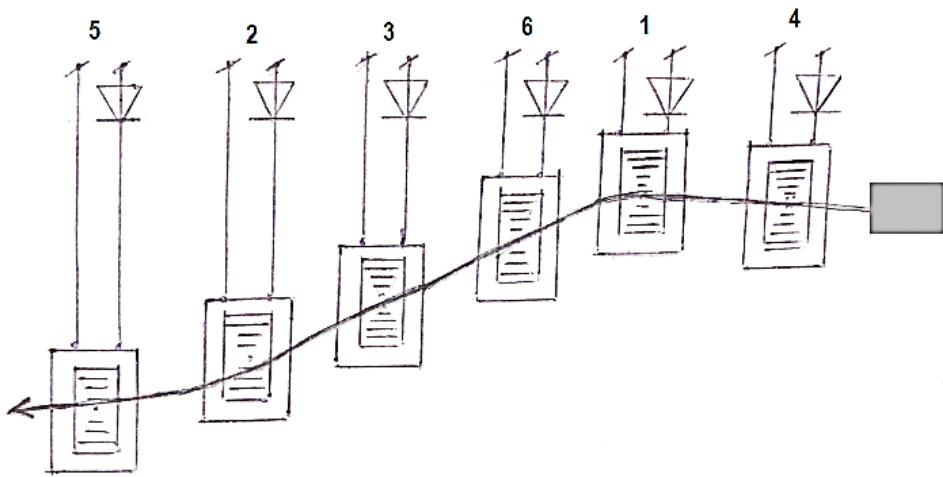


Рис. 6. Траектория ферромагнитного подвижного тела

Если же катушки питаны трёхфазной мостовой схемой выпрямления (см. рис. 3), то при частоте 50 Гц  $n_0 = \frac{60 \cdot 6}{NT}$ , т.к. за один период  $T$  шесть катушек примут участие в работе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ющенко, Л. В. Перемещение ферромагнитных тел внутри соленоидов / Л. В. Ющенко // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2013. – № II-1 (14). – С. 15-20.
2. Ющенко, Л. В. Способ перемещения ферромагнитных тел внутри цилиндрической поверхности / Л. В. Ющенко // Электротехника. – 2016. – № 2. – С. 31-34.

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА  
MANAGEMENT, COMPUTER SCIENCE AND INFORMATICS

**Иванов С. Н., Колесник М. Б., Колошенко Ю. Б.**  
**S. N. Ivanov, M. B. Kolesnik, Yu. B. Koloshenko**

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СОВМЕСТИМОСТИ АСИНХРОННЫХ  
ДВИГАТЕЛЕЙ С ЛИНЕЙНЫМ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА**

**ENSURING THE OPERATIONAL COMPATIBILITY OF ASYNCHRONOUS MOTORS  
WITH LINEAR DISPLACEMENT OF THE ACTUATOR**

**Иванов Сергей Николаевич** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры электромеханики Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: Ivanov.sn@email.knastu.ru.  
**Sergey N. Ivanov** – Doctor of Engineering, Professor, Electromechanics Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: Ivanov.sn@email.knastu.ru.

**Колесник Максим Борисович** – студент кафедры электромеханики Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: kolmax2001@mail.ru.

**Maxim B. Kolesnik** – Student, Electromechanics Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: kolmax2001@mail.ru.

**Колошенко Юлия Борисовна** – старший преподаватель кафедры «Авиастроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; тел. 8(4217)241-118. E-mail: koloschenko2011@yandex.ru.

**Yulya B. Koloshenko** – Senior Lecturer, Aircraft Construction Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str.; tel. 8(4217)241-118. E-mail: koloschenko2011@yandex.ru.

**Аннотация.** Рассмотрены существующие механические передачи преобразователей движения, обоснован выбор передачи винт-гайка скольжения. Рассмотрена задача определения выходных параметров асинхронного двигателя по заданным условиям, получена область решения для выбора стандартного двигателя.

**Summary.** The existing mechanical transmissions of motion converters are considered, the choice of the screw-nut sliding transmission is justified. The problem of determining the output parameters of an asynchronous motor under specified conditions is considered, and the solution area for choosing a standard motor is obtained.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, механическая характеристика, механический момент, номинальная мощность.

**Key words:** asynchronous motor with a closed-loop rotor, mechanical characteristic, mechanical torque, rated power.

УДК 621.31:621.25

**Введение**

При создании автоматизированных электроприводов, использующих передаточные элементы для преобразования вращательного движения в поступательное, могут быть использованы различные типы механических передач, классификация которых приведена на рис. 1.

Преобразование вращательного движения в поступательное с использованием кулачковых и кривошипно-шатунных механизмов малоэффективно при необходимости больших перемещений. Передачи с гибкой связью (тросовые, цепные, ременные) обеспечивают высокие нагрузки и перемещения, но, как правило, они используются совместно с редуктором. На рис. 2 приведена кинематическая схема зубчато-реечной передачи (ГОСТ 10242-81) [9].

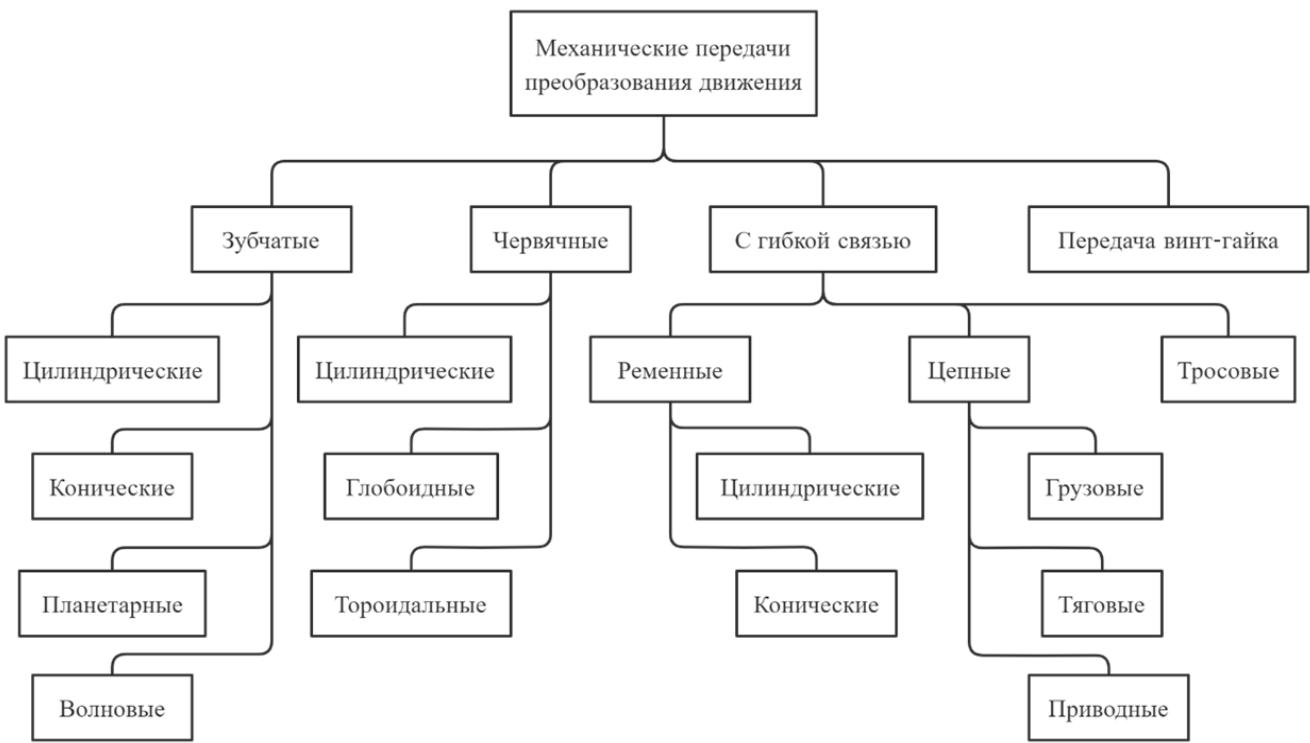


Рис. 1. Классификация механических передач преобразователей движения

Несмотря на относительную простоту конструкции, передача имеет ряд существенных недостатков: ограниченный изгибающими напряжениями диапазон линейных усилий, разрушение зубьев даже при небольшой перегрузке, повышенный уровень люфтов и шума, сложный и дорогостоящий процесс изготовления элементов сопряжения.

Кинематическая схема передачи винт-гайка представлена на рис. 3 [1].

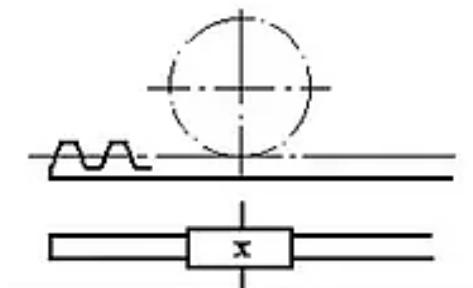


Рис. 2. Кинематическая схема зубчато-реечной передачи



Рис. 3. Кинематическая схема передачи винт-гайка

Передача винт-гайка качения, несмотря на более высокий КПД и малый износ рабочих поверхностей, значительно уступает передаче винт-гайка скольжения по грузоподъёмности при аналогичных размерах. К преимуществам последней относят: возможность получения больших усилий за счёт передаточного числа, составляющего 200...3000, точность перемещения и возможность обеспечения сверхнизких скоростей перемещения, плавность и низкая шумность, малые габариты.

Таким образом, в автоматизированном приводе на базе асинхронного электродвигателя для преобразования вращательного движения в поступательное целесообразно использование передачи винт-гайка скольжения.

В отличие от большинства редукторных электротехнических установок особенностью асинхронных двигателей с линейным перемещением исполнительного элемента является конструктивное объединение двигателя и передаточного механизма, как это показано в [1-5; 7].



## Параметризация асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором под заданные эксплуатационные условия

В качестве определяющих эксплуатационных условий принимаются:

- $t$  – время, за которое должен быть осуществлён переход исполнительного механизма из начального положения в конечное, с;
- $l$  – ход исполнительного механизма, м;
- $F$  – номинальное усилие, требуемое для перехода из начального положения в конечное, Н;
- $L$  – расстояние между опорами, м.

Дополнительным определяющим параметром является линейная скорость перемещения, м/с,

$$v = \frac{l}{t}.$$

Для определения размерных соотношений передаточных элементов *асинхронного* двигателя с короткозамкнутым ротором с учётом действующих напряжений разработана программа на объектно-ориентированном языке Java (Sun Microsystems) [2].

Для формализации и соответствия ГОСТ 24737-81 результаты расчёта представляются следующими величинами:

- $P$  – шаг резьбы, мм;
- $d$  – наружный диаметр наружной резьбы (винта), мм;
- $d_2$  – средний диаметр наружной резьбы, мм;
- $d_3$  – внутренний диаметр наружной резьбы, мм;
- $D_1$  – внутренний диаметр внутренней резьбы (гайки), мм;
- $D_2$  – средний диаметр внутренней резьбы, мм;
- $D_4$  – наружный диаметр внутренней резьбы, мм.

Число оборотов ротора двигателя, необходимое для перехода исполняющего механизма из начального положения в конечное,

$$N = \frac{l \cdot 10^3}{P}.$$

Соответственно, частота вращения ротора, мин<sup>-1</sup>,

$$\omega = \frac{60 \cdot N}{t}.$$

Частота вращения позволяет определить число пар полюсов  $p$  асинхронного двигателя.

Требуемый момент вращения для перемещения тяги с использованием винтовой пары  $M$ , Н·м [8],

$$M = \frac{F \cdot d_2 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi)}{2},$$

где  $\psi$  – угол подъёма винтовой пары;  $\varphi$  – угол трения в резьбе.

Тангенс угла подъёма винтовой пары

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{P \cdot n}{\pi \cdot d_2},$$

где  $n$  – количество заходов резьбы.

Тангенс угла трения в резьбе равен

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{f}{\cos\left(\frac{\psi}{2}\right)},$$

где  $f = 0,15$  – коэффициент трения в винтовой паре сталь-сталь.

Формула тангенса суммы двух аргументов равна

$$\operatorname{tg}(\psi + \varphi) = \frac{\operatorname{tg}\psi + \operatorname{tg}\varphi}{1 - \operatorname{tg}\psi \cdot \operatorname{tg}\varphi}.$$

Отсюда выражение  $\operatorname{tg}(\psi + \varphi)$  принимает вид

$$\operatorname{tg}(\psi + \varphi) = \frac{\frac{P \cdot n}{\pi \cdot d_2} + \frac{f}{\cos\left(\frac{\operatorname{arctg}\left(\frac{P \cdot n}{\pi \cdot d_2}\right)}{2}\right)}}{1 - \frac{P \cdot n}{\pi \cdot d_2} \cdot \frac{f}{\cos\left(\frac{\operatorname{arctg}\left(\frac{P \cdot n}{\pi \cdot d_2}\right)}{2}\right)}}.$$

Подстановка в выражение для момента вращения формулы тангенса суммы двух аргументов приводит к выражению

$$M = \frac{F \cdot d_2 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \frac{\frac{P \cdot n}{\pi \cdot d_2} + \frac{f}{\cos\left(\frac{\operatorname{arctg}\left(\frac{P \cdot n}{\pi \cdot d_2}\right)}{2}\right)}}{1 - \frac{P \cdot n}{\pi \cdot d_2} \cdot \frac{f}{\cos\left(\frac{\operatorname{arctg}\left(\frac{P \cdot n}{\pi \cdot d_2}\right)}{2}\right)}}. \quad (1)$$

Полученные величины вращающего момента на валу и скорости ротора служат основой для выбора ближайшего типоразмера стандартного асинхронного двигателя. Справочные характеристики выбранного двигателя являются основой проектного расчёта для двигателя с учётом винтовой пары и заданных эксплуатационных условий. Для определения пространства проектирования выполняется расчёт ещё двух двигателей с ближайшей большей и меньшей номинальной мощностью в соответствии с ГОСТ 12139-84 [10].

Полученные механические характеристики двигателей определяют область выбора стандартного двигателя, которая определяется в результате комплексного анализа рабочих и технико-экономических характеристик каждого варианта (размерных соотношений, коэффициента полезного действия, коэффициента мощности, кратности пускового тока, момента и т. д.).

Примером рассмотренной методики является выбор асинхронного двигателя с линейным перемещением исполнительного элемента при условиях эксплуатации, приведённых в табл. 1.

Таблица 1  
Исходные данные

$t, \text{ с}$	$l, \text{ м}$	$F, \text{ Н}$	$L, \text{ м}$
5	0,2	3500	0,4

Определяется линейная скорость перемещения, м/с,

$$v = \frac{l}{t},$$

$$v = \frac{0,2}{5} = 0,04.$$

Параметры передаточных элементов с учётом действующих напряжений (в данном случае выбрана резьба под условие нагрузки 10 кН [5; 6]):  $P = 2$  мм;  $d = 16$  мм;  $d_2 = 15$  мм;  $d_3 = 13,5$  мм;  $D_1 = 14$  мм;  $D_2 = 15$  мм;  $D_4 = 16,5$  мм.

Число оборотов ротора двигателя, необходимое для перехода исполняющего механизма из начального положения в конечное,

$$N = \frac{l}{P},$$

$$N = \frac{0,2 \cdot 10^3}{2} = 100.$$

Угловая скорость вращения ротора, об/мин,

$$\omega = \frac{60 \cdot N}{t},$$

$$\omega = \frac{60 \cdot 100}{5} = 1200.$$

Число пар полюсов асинхронного двигателя  $p = 2$ .

По формуле (1) определяется необходимый момент вращения  $M$ , Н · м:

$$M = \frac{3500 \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \frac{\frac{2 \cdot 1}{\pi \cdot 15} + \frac{0,15}{\cos\left(\frac{\operatorname{arctg}\left(\frac{2 \cdot 1}{\pi \cdot 15}\right)}{2}\right)}}{1 - \frac{2 \cdot n}{\pi \cdot 15} \cdot \frac{0,15}{\cos\left(\frac{\operatorname{arctg}\left(\frac{2 \cdot 1}{\pi \cdot 15}\right)}{2}\right)}} = 5,085,$$

где  $f = 0,15$  – коэффициент трения в винтовой паре сталь-сталь;  $n = 1$  – количество заходов резьбы.

Результаты расчёта в виде механических характеристик приведены на рис. 4.

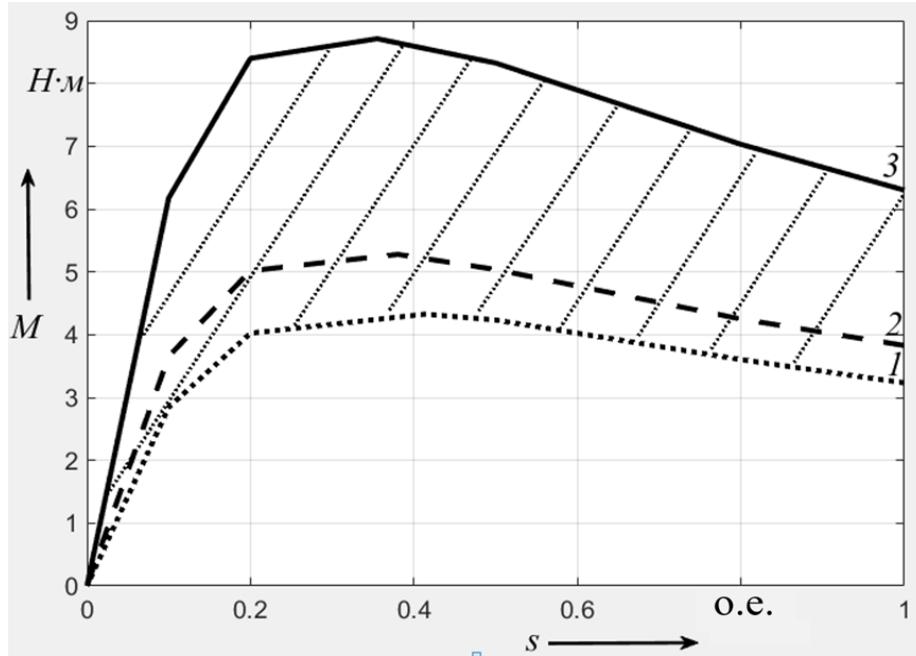


Рис. 4. Зависимость  $M = f(s)$ : 1 –  $P_2 = 0,37$  кВт; 2 –  $P_2 = 0,5$  кВт; 3 –  $P_2 = 0,75$  кВт

### **Заключение**

В статье решена задача обеспечения эксплуатационной совместимости асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором с линейным перемещением исполнительного элемента на основе передачи винт-гайка скольжения.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Определение потерь в передаточных механизмах специальных электромеханических приводов / С. Н. Иванов, М. Б. Колесник, В. А. Макаренко, Т. К. Фискова // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № V-1 (45). – С. 107-114.
2. Постановка задачи выбора и алгоритм определения параметров передаточных элементов электромеханических преобразователей с учётом действующих напряжений / С. Н. Иванов, М. Б. Колесник, Ю. Б. Колошенко, А. А. Просолович, К. К. Ким // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2021. – № I-1 (49). – С. 29-36.
3. Ivanov, S. N. Synthesis of the control device of the electromechanical drive of the main valve / S. N. Ivanov, K. K. Kim, A. V. Gorbunov // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 18-22 May. 2020.
4. Автоматизированный электромеханический привод вагонных дверей / К. К. Ким, С. Н. Иванов, А. В. Горбунов, Т. С. Титова, В. В. Никитин, И. Г. Киселев // Электротехника. – 2019. – № 10. – С. 11-16.
5. Колесник, М. Б. Анализ совместимости в задаче управления безредукторным приводом стрелочного перевода / М. Б. Колесник, Ю. Б. Колошенко, А. А. Просолович // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № VII-1 (47). – С. 14-19.
6. Биргер, И. А. Расчёт на прочность деталей машин: справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосильевич. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
7. Ким, К. К. Анализ эффективности линейных электромеханических приводов стрелочных переводов / К. К. Ким, С. Н. Иванов, М. Б. Колесник // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте: труды XXIV Всерос. научно-практ. конф. КриЖТ ИрГУПС (г. Красноярск, 25-27 ноября 2020 г.). Т. 2 / редкол.: В. С. Ратушняк (отв. ред.) [и др.]. – Красноярск: КриЖТ ИрГУПС, 2020. – С. 61-64.
8. Технический каталог электродвигателей [Электронный ресурс] / ООО ЭДС, 2012-2020. – Режим доступа: [https://www.eds-msk.ru/index.php?site\\_page=motors](https://www.eds-msk.ru/index.php?site_page=motors) (дата обращения: 21.12.2020).
9. ГОСТ 10242-81 (СТ СЭВ 312-76, СТ СЭВ 644-77). Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые реечные. Допуски [Электронный ресурс] / GostExpert.ru – единая база ГОСТов РФ. – Режим доступа: <https://gostexpert.ru/gost/gost-10242-81> (дата обращения: 01.04.2021).
10. ГОСТ 12139-84 (СТ СЭВ 4434-83). Машины электрические врачающиеся. Ряды номинальных мощностей, напряжений и частот / GostExpert.ru – единая база ГОСТов РФ. – Режим доступа: <https://gostexpert.ru/gost/gost-12139-84> (дата обращения: 01.04.2021).



Игнатьев Ф. Ю., Колесникова О. В., Лелюхин В. Е.  
F. Yu. Ignatev, O. V. Kolesnikova, V. E. Lelyukhin

## ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДИМОСТИ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

### INVESTIGATION OF THE CONVERGENCE OF THE AUTOMATIC DESIGN ALGORITHM OF THE MECHANICAL PROCESSING TECHNOLOGICAL PROCESS

**Игнатьев Федор Юрьевич** – аспирант Дальневосточного федерального университета (Россия, Владивосток); 690091, г. Владивосток, ул. Суханова; тел. +7(999)614-15-91. E-mail: f.ignatyev@yandex.ru.

**Fedor Yu. Ignatev** – Post-Graduate Student, Far Eastern Federal University (Russia, Vladivostok); tel. +7(999)614-15-91. E-mail: f.ignatyev@yandex.ru.

**Колесникова Ольга Валерьевна** – кандидат технических наук, доцент департамента компьютерно-интегрированных производственных систем Дальневосточного федерального университета (Россия, Владивосток); 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8; тел. +7(914)652-97-80. E-mail: miis@mail.ru.

**Olga V. Kolesnikova** – PhD in Engineering, Assistant Professor, Far Eastern Federal University (Russia, Vladivostok); tel. +7(914)652-97-80. E-mail: miis@mail.ru.

**Лелюхин Владимир Егорович** – кандидат технических наук, доцент департамента компьютерно-интегрированных производственных систем Дальневосточного федерального университета (Россия, Владивосток); 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8; тел. +7(914)723-52-57. E-mail: lelv0@mail.ru.

**Vladimir E. Lelyukhin** – PhD in Engineering, Assistant Professor, Far Eastern Federal University (Russia, Vladivostok); tel. +7(914)723-52-57. E-mail: lelv0@mail.ru.

**Аннотация.** В работе рассматривается вопрос автоматизации проектирования технологических процессов механической обработки деталей. Отмечается, что существующие теории разработки технологических процессов не позволяют выполнить автоматизацию данного процесса. В качестве подхода к автоматизации процесса предлагается использовать положения геометрии неидеальных объектов и основанный на ней алгоритм. Представлено исследование условий, позволяющих произвести автоматическое проектирование технологического процесса механической обработки при последовательной обработке поверхностей. Выявлены и сформулированы необходимые и достаточные условия сходимости алгоритма. Исследование проводилось на основе размерных связей с помощью теории графов и алгоритма автоматического проектирования технологического процесса механической обработки деталей. Полученная информация может быть использована для создания автоматизированных систем проектирования технологических процессов.

**Summary.** The paper deals with the issue of automation of the design of technological processes for machining parts. It is noted that the existing theories for the development of technological processes do not allow the automation of this process. As an approach to automating the process, it is proposed to use the positions of the geometry of non-ideal objects and an algorithm based on it. The paper presents a study of the conditions that allow for the automatic design of the technological process of mechanical processing, with sequential surface treatment. Necessary and sufficient conditions for the convergence of the algorithm are identified and formulated. The study was carried out on the basis of dimensional relationships using graph theory and an automatic design algorithm for the technological process of machining parts. The information obtained can be used to create automated systems for the design of technological processes.

**Ключевые слова:** проектирование технологии, размерные связи, угловые размерные связи, взаимное расположение поверхностей, геометрическая конфигурация, граф размерных связей.

**Key words:** technology design, dimensional chain, angular dimensional chain, mutual arrangement of surfaces, geometric configuration, graph of dimensional chain.

УДК 621.01:621.9.01

## **Введение**

Процесс изготовления детале-сборочных единиц в машиностроительном производстве регламентируется технологическим процессом. Проектирование технологических процессов даже на сегодняшний день представляет собой сложную творческую задачу. В большинстве случаев основой проектирования технологических процессов является использование прошлого опыта. Формальной теории разработки технологических процессов, позволяющей выполнять их автоматическое проектирование на основе конструкции детале-сборочной единицы, не существует.

В статье рассматриваются подход к проектированию технологических процессов с использованием положений геометрии неидеальных объектов и основанный на ней алгоритм автоматического проектирования технологического процесса механической обработки деталей, разработанный В. Е. Лелюхиным и В. Г. Старостиным. Возможность применения алгоритма зависит от определения условий его сходимости.

## **Обзор существующих разработок по проектированию технологических процессов**

Вопрос автоматизации проектирования технологических процессов упирается в разработку теоретической базы, позволяющей формализовать основные положения и принципы проектирования. На сегодняшний день автоматизация проектирования технологических процессов в подавляющем большинстве основывается на использовании прошлого опыта, классификации детале-сборочных единиц по конструктивным или технологическим признакам. Такая классификация позволяет формировать некоторые «шаблоны» технологических процессов или отдельных операций, которые могут использоваться при разработке технологических процессов аналогичных детале-сборочных единиц.

В России для разработки таких «шаблонов» используются подходы на основе типовых технологических процессов, групповых технологий, модульных технологий.

Это актуально для деталей, обладающих схожими конструктивными и технологическими параметрами. Для этого используют существующие методы проектирования технологических процессов: типовой, групповой, модульный (в России); вариантный и генеративный методы (за рубежом). При разработке единичных технологических процессов всё основывается на искусстве технолога.

При разработке новых технологических процессов основой является использование прошлого опыта. В качестве основы (опыта) используются типовые, групповые и модульные технологические процессы [1; 4; 6].

Типовой технологический процесс характеризуется общим набором технологических установок, переходов, операций, для деталей с одинаковыми конструктивными признаками. Групповая технология основывается на использовании одной или нескольких технологических операций для изделий с различными конструктивными признаками, но имеющими сходные элементы, а также часть технологического процесса для их изготовления. Модульный технологический процесс основывается на представлении изделия в виде набора модулей, для которых разрабатываются соответствующие модули технологических процессов, оборудования и оснастки. Модульный технологический процесс позволяет организовать на модульном уровне элементарную базу технологических процессов, оборудования и оснастки, и на основании этих модулей строить новые технологические процессы.

За рубежом технологическая подготовка также осуществляется по имеющейся базе данных типовых технологических процессов. Существуют два подхода: модифицированный (вариантный) и генеративный [7; 10]. Модифицированный (вариантный) подход заключён в поиске наиболее похожего изделия в базе и использовании его технологии изготовления для модификации. В данном методе применяется групповая технология, позволяющая классифицировать детали в семейства. Генеративный подход состоит в распознании у детали типовых конструктивных элементов и применении к ним типовых технологических процессов (токарная, фрезерная обработка, сверление и т. д.).

Все рассмотренные подходы используют прошлый опыт и накопленную базу технологических процессов. Совершенно другой подход к проектированию технологических процессов может быть разработан на основе формальных зависимостей, адекватно отображающих реальные законы взаимодействия и преобразования материальных объектов. Отдельные разработки в этой области существуют как в России, так и за рубежом. Однако общей системы формального проектирования пока не разработано. Развивая данную область, авторы предлагают использовать геометрию неидеальных объектов и её положения для формализации процессов порождения геометрической конфигурации и проектирования технологических процессов.

### Геометрия реальных объектов

Геометрия реальных объектов, разрабатываемая В. Е. Лелюхиным и О. В. Колесниковой, рассматривает объекты в шестимерном пространстве, позволяющем не только определять их положение как материальной точки, но и ориентацию. Положения геометрии позволяют описывать структуру размерных связей объекта и процесс порождения его геометрической конфигурации [3].

На рис. 1, а представлена модель детали с нанесёнными размерами. Для описания взаимного расположения поверхностей детали в геометрии неидеальных объектов используются графы размерных связей. В графе вершины представляют поверхности детали, а связи – размерные связи между данными поверхностями.

Поскольку геометрия реальных объектов рассматривается в шестимерном пространстве, то график размерных связей детали проецируется на шесть измерений. Например, для детали, изображённой на рис. 1, а, существует следующее представление взаимного расположения поверхностей в виде графов размерных связей, показанных на рис. 1, б.

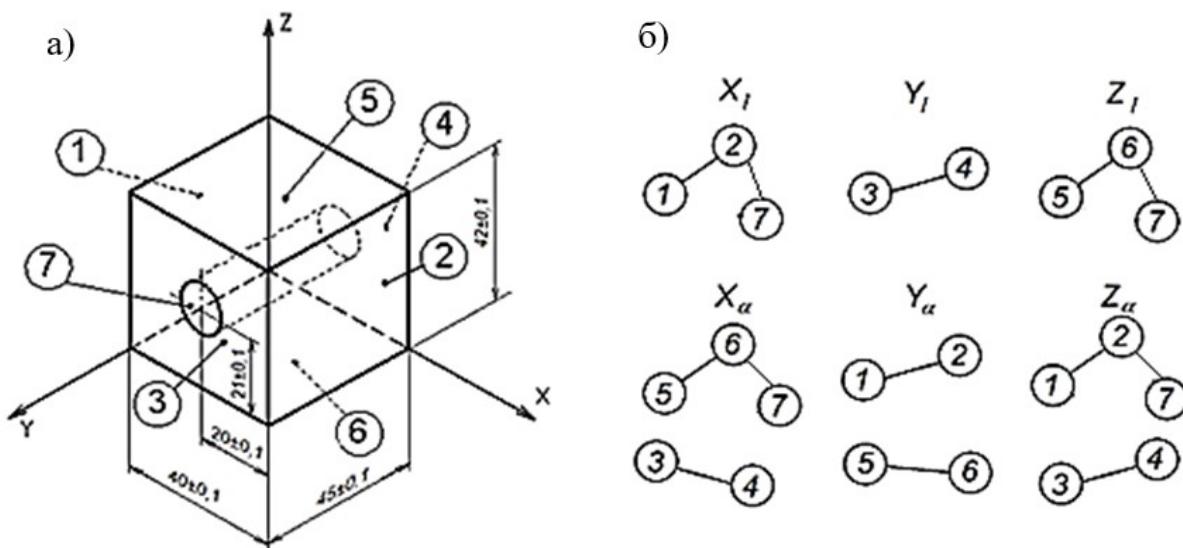


Рис. 1. Деталь с нанесёнными размерными связями (а) и соответствующие графы размерных связей (б)

Графы  $X_I$ ,  $Y_I$ ,  $Z_I$  показывают наличие линейных размерных связей между поверхностями по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  соответственно. Графы  $X_\alpha$ ,  $Y_\alpha$ ,  $Z_\alpha$  отображают наличие угловых связей, заданных установленными размерами, вокруг осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Использование графов размерных связей позволяет получить совокупности всех возможных размерных цепей и всех замыкающих звеньев. Кроме того, вид графов размерных связей, а именно их связность, даёт возможность провести анализ качества описания геометрической структуры детали. Например, в рассматриваемом примере графы размерных связей  $X_\alpha$ ,  $Y_\alpha$ ,  $Z_\alpha$  несвязны, и это говорит о недостатке установленных размеров в модели детали. Такая ситуация приводит к неоднозначности трактования конфигурации детали и, соот-

ветственно, формированию множества технологических процессов изготовления подобных друг другу деталей, которые могут отвечать совершенно различным функциональным требованиям.

Таким образом, анализ графов размерных связей позволяет формализовать процедуру проверки корректности построенной конструктором модели геометрической конфигурации детали.

### Алгоритм последовательной обработки поверхностей детали

Положения геометрии неидеальных объектов позволяют автоматически формировать процесс механической обработки деталей. Для формализации этого процесса разработан метод кодирования вида и положения поверхностей обрабатываемой детали [5]. Метод основан на использовании шестимерного вектора, в котором для каждой поверхности указываются ограниченные (фиксированные) или свободные координаты для перемещения ( $X_l, Y_l, Z_l, X_a, Y_a, Z_a$ ). Например, для задания положения плоскости  $XOY$  или параллельной ей необходимо ограничить перемещение по оси  $Z$  и повороты вокруг осей  $X$  и  $Y$ . Её шестимерный вектор будет выглядеть следующим образом: (0, 0, 1, 1, 1, 0).

Формальное описание поверхностей детали и их взаимного расположения позволило разработать алгоритм автоматического формирования технологического процесса механической обработки [5]. Вариант алгоритма, рассматривающий последовательную обработку поверхностей детали, позволяет последовательно описать процесс порождения геометрической конфигурации детали. Алгоритм позволяет формализовать процесс использования существующих (обработанных) поверхностей детали в качестве базовых для изготовления ещё не обработанных поверхностей [9].

Для реализации алгоритма строится блочная матрица (см. рис. 2, а), состоящая из шестимерных векторов, описывающих положение и взаимосвязи поверхностей детали. Матрица состоит из верхней и нижней частей. Нижняя часть представляет собой квадратную матрицу размерностью  $n \times n$ , где  $n$  – число поверхностей, которые нужно обработать (см. рис. 2, а), а верхняя часть содержит существующие поверхности. Алгоритм позволяет использовать существующие поверхности в качестве базовых для изготовления ещё не обработанных поверхностей [9].

Процедура поиска решения заключается в последовательном рассмотрении столбцов матрицы до момента, когда поэлементная логическая сумма ячеек (необработанных поверхностей) матрицы совпадёт с диагональной ячейкой. Совпадение означает возможность обработки, что демонстрируется в матрице переносом строки из нижней части в верхнюю. Так, на рис. 2, а видно, что если взять поверхность 2ч в качестве базы, можно обработать поверхность 1. Поэтому на первом шаге столбец с номером 1 удаляется, а строка с номером 1 переносится в верхнюю часть матрицы (см. рис. 2, б) [9].

а)

	1	2	3	4	5	6	7
реальные поверхности	1 0 0 2R 0 1 1						
		0 1 0 3R 1 0 0					
			0 0 1 5R 0 0 0				
необрабатанные поверхности	1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1	0 0 0 0 0 0 1			1 0 0 0 0 1		
	1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1	0 0 0 0 0 1 0			0 0 0 1 0 0		
		0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1			0 0 0 1 0 0		
			0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1				
необрабатанные поверхности	0 0 0 0 0 0 1	0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1					
			0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0				
				0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0			
необрабатанные поверхности	1 0 0 0 0 0 1			0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0			
					0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0		
необрабатанные поверхности	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0				0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0		
						0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0	
необрабатанные поверхности	1 0 0 0 0 0 1					0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0	

б)

	2	3	4	5	6	7
реальные поверхности	2R					
		0 1 0 3R 1 0 0				
			0 0 1 5R 0 0 0			
необрабатанные поверхности	1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1	0 0 0 0 0 0 1			1 0 0 0 0 1	
	1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1	0 0 0 0 0 1 0			0 0 0 1 0 0	
		0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1			0 0 0 1 0 0	
			0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1			
необрабатанные поверхности	0 0 0 0 0 0 1	0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1				
			0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1			
необрабатанные поверхности	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0			0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0		
					0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0	
необрабатанные поверхности	0 0 0 0 0 0 1					0 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0

Рис. 2. Матрицы смежности: а – исходная; б – после 1-го шага [9]

Последовательность обработки основывается на структуре графов размерных связей. Однако в процессе проведения модельных экспериментов авторами было выяснено, что не всегда алгоритм сходится, т.е. позволяет получить решение в виде технологического процесса. Далее в статье рассматриваются условия сходимости алгоритма, позволяющие на основе вида и структуры графов размерных связей определить возможность автоматического формирования процесса обработки детали.

## Исследование условий сходимости алгоритма последовательной обработки

Для проведения исследований была выбрана деталь, изображённая на рис. 1, а. На примере данной детали был проведён комплекс исследований:

- определение количества возможных структур и сочетаний графов размерных связей;
- моделирование конфигурации детали с различными сочетаниями графов размерных связей;
- получение технологического процесса механической обработки с помощью алгоритма последовательной обработки поверхностей детали;
- анализ структуры графов размерных связей, позволяющих сформировать технологический процесс;
- выявление и формулирование условий сходимости алгоритма последовательной обработки поверхностей детали.

В процессе проведения исследований было выяснено, что граф размерных связей представляет собой оствовное дерево. Исходя из этого количество возможных оствовых деревьев, а соответственно, и сочетаний графов размерных связей может быть определено с помощью формулы А. Кэли, согласно которой количество оствовых деревьев в графе из  $n$  вершин равно  $n^{n-2}$  [8]. Тогда для рассматриваемого примера количество сочетаний графов размерных связей может быть легко определено и составляет 2 250 000.

Анализ структуры графов размерных связей показал, что графы в угловых направлениях образуются из сочетания графов линейных направлений. Таким образом, графы угловых размерных связей позволяют установить взаимосвязи между группами параллельных поверхностей.

Стоит отметить, что на чертежах далеко не всегда определены все угловые размерные связи. Например, на представленной на рис. 1, а модели проставлены не все угловые размеры. Этот факт легко увидеть при анализе графов размерных связей: на рис. 1, б видно, что графы угловых направлений несвязны. Как указывалось выше, данный факт приводит к неоднозначности понимания конструкции детали и возможности формирования множества технологических процессов. Соответственно, для использования формального алгоритма такая неопределенность должна быть устранена.

В процессе проведения экспериментов по формализации проектирования технологии изготовления детали выявлено, что не любое сочетание размерных связей, представленных графами, позволяет получить технологию обработки [2]. Особое внимание следует обращать на угловые связи. В зависимости от установленных угловых связей и набора черновых баз решается вопрос возможности последовательной обработки.

Анализ проведённых экспериментов позволил сформулировать несколько условий, гарантирующих сходимость алгоритма последовательной обработки:

**Условие 1.** Необходимым условием сходимости алгоритма последовательной обработки является наличие графа связей трёх измерений, который формируется из вершин и связей в угловых графах  $X_a$ ,  $Y_a$ ,  $Z_a$ , участвующих в связях между группами параллельных поверхностей.

На рис. 3 показано формирование графа связей трёх измерений для детали, изображённой на рис. 1, а. Полученный график представляет собой замкнутый контур, связывающий между собой группы поверхностей по всем трём измерениям. При этом угловые связи определены между поверхностями 1, 4 и 6.

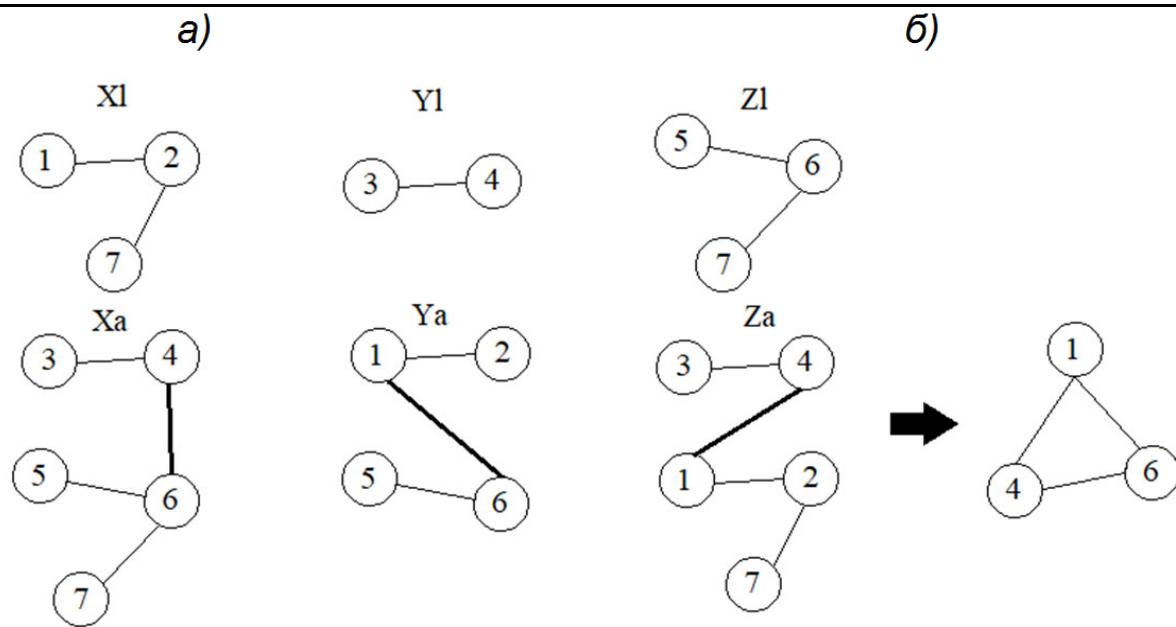


Рис. 3. Формирование графа связей трёх измерений для детали:  
а – графы размерных связей; б – полученный график связей трёх измерений

*Условие 2.* Достаточным условием сходимости алгоритма последовательной обработки является наличие смежных «черновых» поверхностей ко всем вершинам графа связей трёх измерений.

Пример модели графа размерных связей, отвечающей условию 2, представлен на рис. 4. В данном случае в качестве начального комплекта баз (установочная, направляющая, опорная) могут быть установлены любые сочетания «черновых» поверхностей 2ч, 3ч, 5ч.

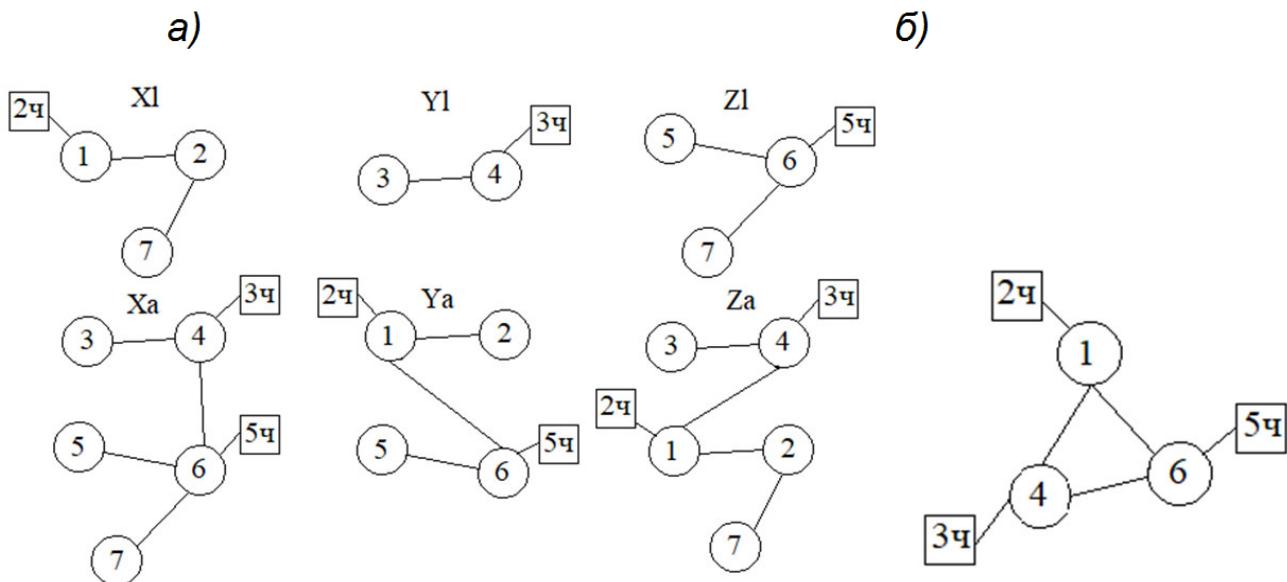


Рис. 4. Графы размерных связей для условия 2: а – графы размерных связей; б – график связей трёх измерений с инцидентными вершинами черновых поверхностей

Проведённая серия экспериментов с различными сочетаниями начального комплекта баз показала, что соблюдение условий 1 и 2 гарантирует сходимость алгоритма и получение технологического процесса обработки детали.

**Условие 3.** В случае отсутствия у одной из вершин графа связей трёх измерений смежной существующей («черновой» или обработанной) поверхности, которую можно использовать в качестве начальной базы, достаточным условием сходимости алгоритма последовательной обработки будет являться наличие у этой вершины смежной вершины, у которой имеется смежная существующая поверхность, причём эта поверхность должна быть установочной базой, т.е. иметь три базирующие точки.

Пример конфигурации, реализующей условие 3 для детали на рис. 1, а, представлен на рис. 5.

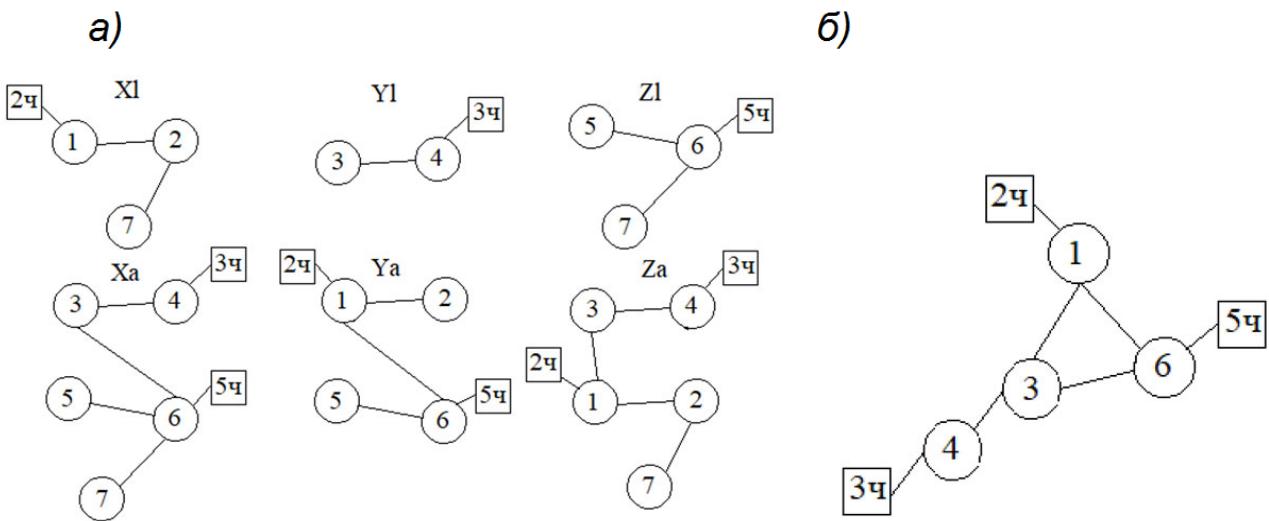


Рис. 5. Графы размерных связей для условия 3: а – графы размерных связей; б – граф связей трёх измерений с инцидентными вершинами черновых поверхностей

Для данного варианта выявлено, что обработка возможна при выбранном варианте проставки размерных связей и при условии, что черновая поверхность 3ч будет иметь три базирующие точки, т.е. первым шагом обработки будет получение поверхности 4, условно параллельной черновой поверхности 3ч.

Проведённая серия экспериментов показала, что соблюдение условий 1 и 3 гарантирует сходимость алгоритма и получение технологического процесса обработки детали.

### Заключение

В результате проведённых исследований определено, что для автоматического формирования технологического процесса механической обработки детали необходимо наличие следующей информации о детали:

- положение каждой поверхности детали, представленное шестимерным вектором;
- взаимное расположение поверхностей детали, представленное графиками размерных связей в шести измерениях.

При наличии описанной информации о детали применение алгоритма автоматического формирования процесса механической обработки позволяет создать последовательность обработки поверхностей и соответствующих для них баз. Проведённые исследования алгоритма позволили выявить и сформулировать необходимые и достаточные условия сходимости.

Представленные результаты могут быть использованы для разработки автоматизированных компьютерных систем автоматического проектирования технологических процессов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Базров, Б. М. Модульная технология в машиностроении / Б. М. Базров. – Л.: Машиностроение, 2001. – 367 с.
2. Лелюхин, В. Е. Влияние структуры размерных связей на формирование процесса обработки деталей / В. Е. Лелюхин, Ф. Ю. Игнатьев, О. В. Колесникова // Современные научно-технические технологии. – 2018. – № 7. – С. 60-64.
3. Лелюхин, В. Е. Геометрия неидеальных объектов в судостроении и судоремонте / В. Е. Лелюхин, О. В. Колесникова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2020. – № 1. – С. 31-44.
4. Митрофанов, С. П. Научная организация труда машиностроительного производства / С. П. Митрофанов. – Л.: Машиностроение, 1976. – 712 с.
5. Старостин, В. Г. Формализация проектирования процессов обработки резанием / В. Г. Старостин, В. Е. Лелюхин. – М.: Машиностроение, 1986. – 136 с.
6. Технология машиностроения. Часть II. Проектирование технологических процессов: учеб. пособие / Э. Л. Жуков, И. И. Козарь, Б. Я. Розовский, В. В. Дегтярев, А. М. Соловейчик; под ред. С. Л. Мурашкина. – СПб.: Изд-во СПБГТУ, 2000. – 498 с.
7. Achraf Skander, Lionel Roucoules, Jean-Sébastien Klein Meyer. Design and manufacturing interface modelling for manufacturing processes selection and knowledge synthesis in design. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer Verlag, 2008, 37 (5-6), pp. 443-454.
8. Cayley A. A theorem on trees. Quart. J. Pure Appl. Math., 23 (1889), 376–378; Collected Mathematical Papers, Vol. 13, Cambridge University Press, 1897, 26-28.
9. O. V. Kolesnikova, V. E. Lelyukhin and F. Yu. Ignatev Formation of Schemes Generating Geometric Structure of Machine Parts. A. A. Radionov et al. (eds.). Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019), Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 355-363.
10. Yusri Yusof, Kamran Latif Survey on computer-aided process planning. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer Verlag, 2014.



Колесникова О. В., Рупинец И. С.  
O. V. Kolesnikova, I. S. Rupinets

## ВЛИЯНИЕ СЕРИЙНОСТИ НА СТРАТЕГИЮ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

### THE INFLUENCE OF SERIALITY ON THE STRATEGY OF COMPREHENSIVE AUTOMATION OF MACHINE-BUILDING PRODUCTION CONTROL

**Колесникова Ольга Валерьевна** – кандидат технических наук, доцент департамента компьютерно-интегрированных производственных систем Дальневосточного федерального университета (Россия, Владивосток); 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8; тел. +7(914)652-97-80. E-mail: miis@mail.ru.

**Olga V. Kolesnikova** – PhD in Engineering, Assistant Professor, Far Eastern Federal University (Russia, Vladivostok); tel. +7(914)652-97-80. E-mail: miis@mail.ru.

**Рупинец Игорь Сергеевич** – аспирант Дальневосточного федерального университета (Россия, Владивосток); 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8.

**Igor S. Rupinets** – Post-Graduate Student, Far Eastern Federal University (Russia, Vladivostok).

**Аннотация.** Современное машиностроение представляет собой обширную отрасль, включающую в себя предприятия, серийность выпускаемой продукции которых варьируется от массового характера до единичного. Наиболее изучены подходы к управлению в массовом производстве, что позволило в достаточной степени его автоматизировать. Менее изученные и существенно отличающиеся процессы планирования и управления в единичном производстве не позволяют использовать опыт автоматизации управления массовым производством. В статье авторы раскрывают особенности единичного производства и показывают сложные вопросы, мешающие автоматизации управления. Наиболее проблемными из них, по мнению авторов, являются: нерегулярность поступления заказов, неопределенность частоты их следования, пересечение материальных потоков изготовления деталей-сборочных единиц, неопределенность длины цикла изготовления и зависимость его от текущей загрузки оборудования. Для уменьшения влияния этих негативных факторов в статье предложен и обоснован метод формирования плана загрузки оборудования по схеме «вперёд от даты запуска». Показаны и обсуждены результаты проведённых экспериментов при планировании по схемам «вперёд от даты запуска» и «назад от даты выпуска».

**Summary.** Modern mechanical engineering is a vast industry that includes enterprises, the serial production of which varies from a mass production to a single one. The most studied approaches to management in mass production, which made it possible to sufficiently automate it. Less studied and significantly different planning and management processes in make-to-order production do not allow using the experience of automation of mass production management. In the article, the authors reveal the features of a make-to-order production and show the complex issues that hinder the automation of management. The most problematic of them, according to the authors, are: irregularity in the receipt of orders, the uncertainty of the frequency of their repetition, the intersection of material flows for the manufacture of parts and assembly units, the uncertainty of the length of the manufacturing cycle and its dependence on the current load of equipment. To reduce the influence of these negative factors, the article proposes and substantiates a method for forming the equipment load plan according to the «ahead of the launch date» scheme. Shown and discussed the results of the experiments carried out when planning according to the schemes «forward from the launch date» and «back from the release date».

**Ключевые слова:** автоматизация управления, интегрированное планирование, мелкосерийное и единичное производство, график работы оборудования, машиностроительное производство.

**Key words:** automation management, integrated planning, small-scale production, equipment work schedule, engineering production.

УДК 004.421.2:004.021:65.011.46

**Введение.** В современных условиях жизненно важной задачей становится управление предприятием. Эта задача касается любого предприятия, любой отрасли. Во многих отраслях вопросы управления решаются с помощью автоматизированных информационных систем, реализующих основные задачи и принципы управления, характерные для данной отрасли.

В свою очередь задачу управления можно представить в виде совокупности двух задач: планирования и регулирования. При этом, как известно, задача планирования определяет основные шаги для достижения цели, а регулирование помогает нивелировать возникающие отклонения на этом пути.

Машиностроение является одной из сложнейших отраслей для планирования и управления. Сложность задач планирования связана с большими объёмами информации о структуре и составе изделия, технологических процессах изготовления, а также с большой размерностью задачи составления расписания для распределения детале-операций по рабочим местам.

Задача оперативного планирования для дискретного машиностроительного производства относится к общей задаче теории расписаний, записанной следующим образом:

$$n|m|G|F_{\max},$$

а именно упорядочить  $n$  работ в произвольной системе из  $m$  машин так, чтобы минимизировать максимальную длительность прохождения работы [1].

Задача относится к классу экстремальных комбинаторных задач и является одной из сложнейших оптимизационных задач. Интерес к её математической формулировке и решению вызвал значительное число публикаций, однако, несмотря на это, общие алгоритмы поиска оптимальных решений при числе станков, соответствующем реальным предприятиям, не найдены [1; 2; 3].

**Обзор исследований в области планирования производства.** Несмотря на сложность задач планирования производства, их востребованность приводит к появлению новых постановок задач, учитывающих какие-либо особенности и ограничения методов решения, позволяющих найти допустимые или оптимальные решения по установленным критериям.

При разработке автоматизированных систем управления актуальной темой исследований многих авторов является решение проблемы комплексирования (объединения) двух компонент планирования: интегрированное планирование и составление графиков работы оборудования. В качестве целевых функций рассматриваются: максимизация загрузки отдельных рабочих мест, максимизация общей загрузки всех рабочих мест предприятия, минимизация времени транспортировки и др. В опубликованных работах отмечаются сложность постановки и решения задач планирования, возникающие проблемы при разработке моделей, приближённых к реальному производству.

Для решения задач планирования (IPPS) разработаны, например, такие алгоритмы: SD-NSGA-II, использующий недоминирующий генетический алгоритм сортировки с самоадаптивным декодированием [4]; алгоритм на основе нейрософного числа [5]; многоцелевой алгоритм МОМА [6]; гибридный алгоритм оптимизации НВМО, который сочетает в себе алгоритм НВМО и поиск переменного окружения (VNS) с критерием продолжительности выдержки [7]; модифицированный алгоритм оптимизации НВМО для планирования процессов с неопределенным временем обработки и нечётким сроком выполнения [8]; гибридный алгоритм для решения задачи загрузки оборудования в обратной области планирования [9].

Особенно в публикациях отмечается сложность задач планирования многономенклатурного мелкосерийного машиностроительного производства. В статьях приводятся попытки учёта таких характеристик производства, как неопределённость времени обработки [5; 8], максимальная рабочая нагрузка станка (MMW) и общая рабочая нагрузка станков (TWM) [6], характеристики отдельных машин, оценки их мощности, эффективности производства и стоимости параллельных машин [10].

Проблемы автоматизации планирования мелкосерийного многономенклатурного производства решаются также российскими исследователями, в частности профессором Е. Б. Фроловым [11; 12], авторами статей [13; 14].

Несмотря на большое количество работ по данной тематике, многие вопросы остаются неразрешёнными. Эффективность планирования многономенклатурного мелкосерийного машиностроительного производства пока не достигает приемлемого уровня. Для разработки качественных алгоритмов и подходов необходимо провести анализ особенностей машиностроительного производства, связанных с изменением серийности.

В статье излагаются результаты исследований влияния серийности на подходы к организации и управлению производством, приводятся различия в планировании и обосновывается необходимость разработки и использования алгоритмов автоматизации планирования в зависимости от характера серийности производства.

**Особенности планирования мелкосерийного и единичного производства.** Наиболее проработаны алгоритмы и принципы планирования в массовом и крупносерийном производстве. В связи с этим большое количество разработок представляют собой заимствование этих алгоритмов и принципов и применение их в мелкосерийном и единичном производстве. Однако оказывается, что такой подход себя не оправдывает, проверенные алгоритмы не работают или работают крайне неэффективно.

Для анализа отличий планирования массового/крупносерийного и единично-мелкосерийного типов производства рассмотрим рис. 1. На рисунке используются следующие обозначения: ТП – технологический процесс, представленный последовательностью детале-операций в виде графа цепи, вершины которого обозначены <номер ТП>.<номер операции>,  $R$  – рабочие места.

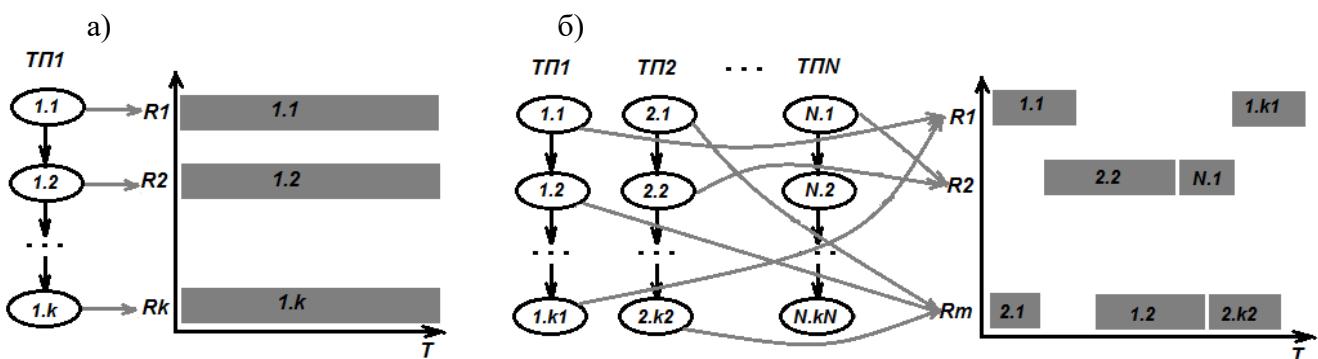


Рис. 1. Схема формирования плана-графика загрузки рабочих мест:  
 а – в массовом производстве; б – в мелкосерийном и единичном производстве

На рис. 1, *a* представлена схема расстановки операций при формировании плана-графика загрузки рабочих мест в массовом производстве. При таком характере производства коэффициент закрепления оборудования практически равен единице, что означает закрепление операции за определённым рабочим местом и, соответственно, выполнение этим рабочим местом только одной операции. На рис. 1, *a* показано, что существует технологический процесс ТП1 из некоторого количества операций, каждая из которых выполняется на своём рабочем месте. В этом случае вполне понятны сроки изготовления изделия, которые складываются из последовательных периодов выполнения детале-операций самой длинной цепи (последовательности детале-операций) в структуре изделия:

$$T = \sum t_i,$$

где  $T$  – период изготовления изделия;  $t_i$  – период выполнения  $i$ -й детале-операции.

Таким образом, материальный поток детале-сборочных единиц изделия в массовом производстве представляет собой параллельные совокупности последовательных потоков изготовления отдельных детале-сборочных единиц. Оптимизация потоков в данном случае выполнена на уровне организации производства. Поэтому построение моделей автоматизации планирования, по сути, сводится к решению систем уравнения в непрерывном метрическом пространстве.

Иная ситуация складывается в мелкосерийном и единичном производстве (см. рис. 1, б). На предприятии имеется  $m$  универсальных рабочих мест, каждое из которых может использоваться для выполнения определённого типа детале-операций. Например, на универсальном токарном станке могут изготавливаться различные осесимметричные детали: валы, оси, втулки, болты и т.д. Для каждой такой детали токарная операция имеет свою длительность, а также подготовительно-заключительное время для настройки станка, изучения чертежа, выбора инструмента. Тогда время выполнения операции при изготовлении партии деталей  $i$ -го типа определяется по формуле

$$t_i = t_{\text{пзи}} + \sum t_{\text{шти}},$$

где  $t_{\text{пзи}}$  – подготовительно-заключительное время  $i$ -й операции;  $t_{\text{шти}}$  – штучное время выполнения  $i$ -й операции для одной детали в партии.

Таким образом, особенностью мелкосерийного и единичного производства является увеличение цикла изготовления изделия за счёт необходимости частой переналадки оборудования, что добавляет значительную долю подготовительно-заключительного времени в периоде времени изготовления изделия.

В соответствии с серийностью рассматриваемого производства размер партии небольшой, а довольно часто равен единице. Исходя из этого за рабочую смену на одном рабочем месте можно выполнить несколько детале-операций, относящихся к разным деталям и изделиям.

При загрузке рабочего места детале-операциями, относящимися к различным деталям, можно отметить, что периоды времени выполнения этих операций существенно отличаются. Причём набор выполняемых операций зависит от того, какие изделия изготавливаются в текущий момент на предприятии. Набор деталей и операций их изготовления складывается из выполняемых предприятием заказов. Соответственно, чем большее количество различных заказов и изделий производит предприятие, тем больше различных возможных комбинаций деталей и детале-операций будет размещаться на одном рабочем месте.

Обозначим  $I = \{I^1, I^2, \dots, I^n\}$  множество изделий, изготавливаемых предприятием в течение года. Каждое изделие состоит из определённого набора деталей, т.е. изделие можно представить в виде множества деталей  $I^k = \{d_1^k, d_2^k, \dots, d_{mk}^k\}$ . Упростим задачу, предположив, что для изготовления детали требуется выполнение только одной детале-операции. Тогда можно сказать, что изготовлению каждой детали соответствует период времени  $t(d_i^k)$ . Пусть в первом месяце, например январе, предприятие изготавливало изделия  $I^1$  и  $I^2$ . Некоторое рабочее место  $R_j$  было занято выполнением операций по изготовлению деталей данных изделий, и его загрузка определялась суммой периодов времени выполнения соответствующих детале-операций  $T_{Rj} = \sum t(d_i^1) + \sum t(d_i^2)$ . По окончании изготовления изделий можно рассчитать срок изготовления изделия. Например, срок изготовления изделия  $I^1$  будет определяться суммой периодов выполнения операций по изготовлению этого изделия  $\sum t(d_i^1)$  и периодов ожидания выполнения операций, связанных с занятостью рабочих мест изготовлением деталей другого изделия  $\sum t(p_i^1)$ :

$$T(I^1) = \sum t(d_i^1) + \sum t(p_i^1).$$

Если учесть многономенклатурность мелкосерийного и единичного производства, в следующем месяце предприятие будет занято изготовлением других изделий. Предположим, что во втором месяце изготавливаются изделия  $I^1$  и  $I^3$ . Занятость рабочих мест будет определяться выполнением операций по изготовлению этих изделий  $T_{Rj} = \sum t(d_i^1) + \sum t(d_i^3)$ . Срок изготовления изделия  $I^1$  в этом месяце будет также складываться из периодов выполнения операций по изготовле-



нию изделия  $\sum t(d^1_i)$  и периодов ожидания выполнения операций, связанных с занятостью рабочих мест изготовлением деталей другого изделия  $\sum t(p^1_i)$ :

$$T(I^1) = \sum t(d^1_i) + \sum t(p^1_i).$$

Необходимо заметить, что во втором месяце изготавливались другое изделие  $I^3$  и периоды выполнения операций по изготовлению его деталей отличаются от деталей изделия  $I^2$ . Таким образом, сроки изготовления изделия  $I^1$  в первом и втором месяце будут различны:

$$T(I^1) \neq T(I^3).$$

Отличие сроков изготовления заключается в разности периодов ожидания выполнения операции на рабочем месте:

$$\Delta T = T(I^1) - T(I^3) = \sum t(p^1_i) - \sum t(p^3_i).$$

Таким образом, одной из важных особенностей мелкосерийного и единичного производства является нестабильность цикла изготовления изделия и зависимость его от текущей загрузки производственных мощностей.

Другой отличительной особенностью мелкосерийного и единичного производства является невозможность полной загрузки производственных мощностей. На рис. 1, б показаны разрывы между операциями, соответствующие периодам простоя оборудования. Простои появляются в связи с необходимостью выдерживания последовательности выполнения операций технологического процесса, а также порядка изготовления деталей-сборочных единиц, соответствующего структуре изделия.

Например, на рис. 1, б показана последовательность выполнения операций технологического процесса ТП1. Первая операция 1.1 выполняется на рабочем месте  $R_1$ . Вторая операция 1.2 выполняется на рабочем месте  $R_m$ , но она может начаться только после окончания первой операции, несмотря на то что рабочее место  $R_m$  свободно. Свободное время рабочего места  $R_m$  может быть использовано для изготовления другой детали по технологическому процессу ТП2. Но период времени выполнения операции 2.1 меньше периода времени простоя оборудования. В результате период простоя занимается не полностью. Таким образом, периоды простоя оборудования накапливаются, не позволяя полностью использовать имеющиеся производственные мощности.

Приведённые выше особенности мелкосерийного и единичного производства, связанные с нерегулярностью поступления заказов, неопределенностью частоты их следования, дискретностью выполнения операций, вносят в материальный поток изготавливаемых изделий элементы стохастичности. Общий материальный поток изготавливаемых изделий и выполняемых заказов разделяется на совокупность пересекающихся потоков одновременного изготовления различных деталей-сборочных единиц. Исходя из этого задачей автоматизации планирования становится управление совокупностью материальных потоков с регулированием их взаимодействия, исключением коллизий и конфликтов, т.е. фактически синтез многоконтурной системы подчинённого регулирования. В качестве контуров регулирования здесь могут рассматриваться: контур управления изготовлением отдельной детали-сборочной единицы, контур управления работой отдельного рабочего места, контур управления группой деталей-сборочных единиц, входящих в изделие, контур управления группой рабочих мест предприятия.

Анализ особенностей мелкосерийного и единичного производства показал, что для его планирования необходимо существенно перерабатывать методы, используемые в массовом производстве, а также разрабатывать новые принципы и схемы формирования графиков загрузки рабочих мест.

**Метод планирования по схеме «вперёд от даты запуска».** В современных информационных системах планирования составление графика загрузки рабочих мест осуществляется по аналогии с формированием плана в массовом производстве, т.е. от заданной даты выполнения заказа по схеме «назад от даты выпуска». Хорошо зарекомендовавший себя метод в массовом производстве

оказывается неприменим в мелкосерийном из-за неопределённости производственного цикла изготовления, зависящего от текущей загрузки производственных мощностей.

В связи с этим авторы считают в условиях многономенклатурного мелкосерийного и единичного производства более целесообразным использование схемы формирования графика загрузки от заданной даты вперёд по шкале времени, т.е. «вперёд от даты запуска» (см. рис. 2).

Расстановка операций по рабочим местам начинается с висячих вершин (листьев) структуры изделия в направлении корня [15]. Операции расставляются на указанные в технологическом процессе рабочие места с учётом их занятости. Продвигаясь по временной шкале вперёд, в будущее, производится расстановка всех детале-операций с одновременным расчётом срока изготовления изделия. В данном случае дата выполнения заказа рассчитывается по времени окончания выполнения последней детале-операции. При этом план формируется гарантировано (за один проход), не требуется перепланирования.

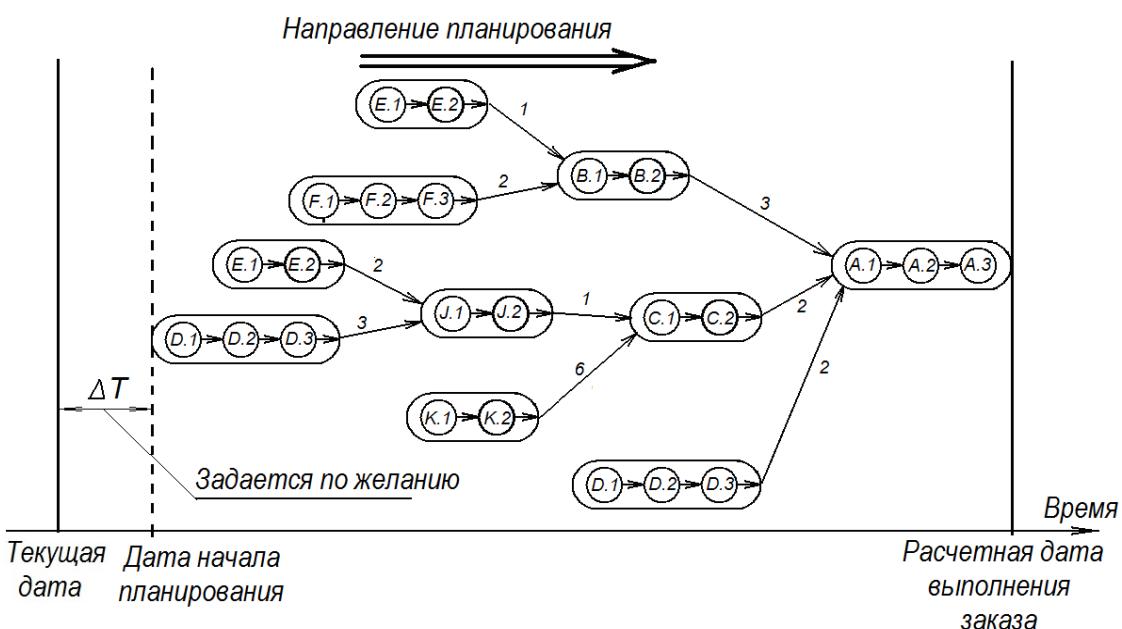


Рис. 2. Схема планирования производства изделия «вперёд от даты запуска»

Постановка задачи может быть выполнена в виде задачи линейного программирования. Требуется найти длину расписания  $f_p$ , которая определяется как максимальная длина пути изготовления по графу структуры изделия:

$$f_p = \max_{i=1,\dots,n} f_{p_{vi}},$$

где  $f_{p_{vj}} = \max_{i=1,\dots,l} f_{vj}^{oi}$  – максимальная длина пути изготовления множества детале-сборочных единиц  $v_1, \dots, v_l$ ;  $f_{p_{vi}}$  – момент окончания изготовления детале-сборочной единицы (вершины)  $v_i$  в графе структуры изделия;  $f_{vj}^{oi} = p_{vj}^{oi} + \sum_{j=1}^z d_j^{rk}$  – момент окончания выполнения технологической операции.

В качестве алгоритмов расстановки операций по рабочим местам в предлагаемой схеме планирования могут использоваться различные алгоритмы. Одним из них является алгоритм «Опадающие листья», разработанный авторами статьи. Алгоритм заключается в определении порядка изготовления детале-сборочных единиц на основе разделения дерева структуры изделия на слои и затем ранжирования детале-сборочных единиц слоя по длительности пути их изготовления [16].

**Сопоставление применения схем планирования в мелкосерийном и единичном производстве.** Методика применения схем планирования машиностроительного производства существенно зависит от серийности и объема номенклатуры изготавливаемых изделий. Применение схем планирования «вперёд от даты запуска» и «назад от даты выпуска» имеет свои особенности. Использование схемы «назад от даты выпуска» предполагает задание даты выпуска готового изделия или исполнения заказа, и затем начиная с этой даты обратным отсчетом по шкале времени производится расстановка деталей-операций изготовления изделия в направлении от корня дерева структуры изделия к листьям.

В мелкосерийном и единичном производстве, как указывалось выше, изготавливаются различные изделия малой серийности, что не позволяет определить срок изготовления конкретного заказа. Исходя из этого первой проблемой при применении схемы планирования «назад от даты выпуска» является определение даты выпуска или срока исполнения заказа.

Обычно эта дата определяется примерно исходя из прошлого опыта и по принципу «чем больше срок – тем лучше». При этом какие-либо расчёты произвести практически невозможно.

Существующие методы расчёта срока изготовления изделия разработаны для массового и крупносерийного производства. Попытка их применения в мелкосерийном и единичном производстве привела к следующим результатам.

В проведённом эксперименте рассматривалось предприятие, имеющее некоторую загрузку производственных мощностей. Требуется сформировать план-график изготовления некоторого изделия *Z*, изображённого в виде дерева его структуры (см. рис. 3).

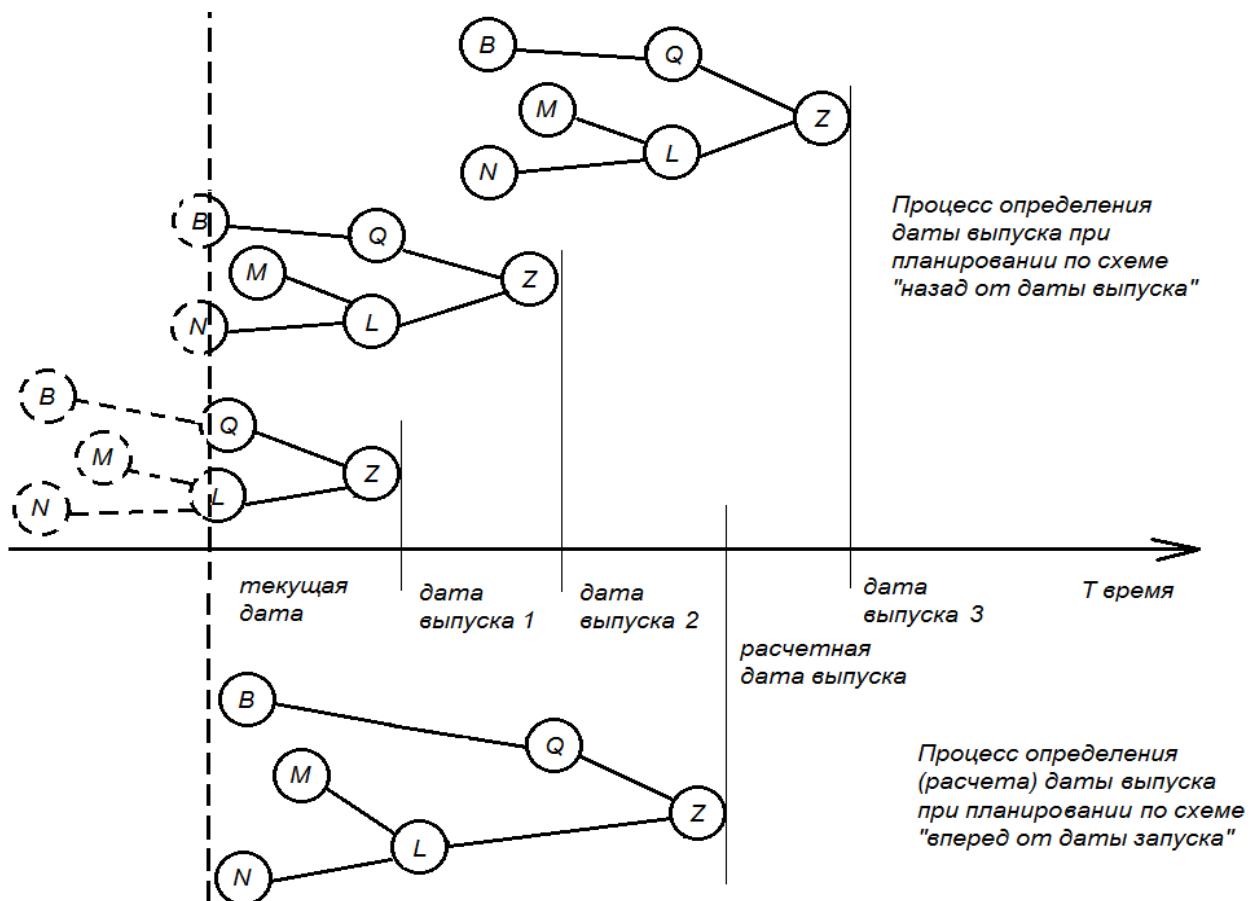


Рис. 3. Процесс определения даты выпуска при планировании по схемам «назад от даты выпуска» и «вперёд от даты запуска»

Расчёт срока изготовления изделия можно осуществить, используя метод определения срока изготовления самой длинной цепи в структуре изделия. На рис. 3 таким методом определена «Дата выпуска 1». При составлении графика загрузки рабочих мест оказалось, что часть из них занята выполнением других детале-операций, что привело к сдвигу графика. В результате составить план не удалось, так как была перейдена граница текущей даты. Для составления нового плана-графика вновь возник вопрос об определении даты выпуска.

Вторая проблема, возникающая при планировании по схеме «назад от даты выпуска» заключается в решении вопроса: «Насколько надо сдвинуть дату выпуска, чтобы план удалось сформировать?» «Дата выпуска 2» на рис. 3 была определена добавлением нормативного периода времени на изготовление не вошедших в план деталей ( $B, M, N$ ). В результате второго цикла планирования также график сформировать не удалось (см. рис. 3).

Дальнейшее увеличение срока изготовления («Дата выпуска 3») позволило получить план, однако изготовление изделия начинается значительно позже текущей даты. Незанятый период времени от текущей даты до начала изготовления изделия (см. рис. 3) снижает возможную загрузку производственных мощностей, что приводит к появлению длительных периодов простоя оборудования и неравномерности загрузки.

Использование при разработке автоматизированных систем схемы планирования «вперёд от даты запуска» позволяет начать формирование графика с установленной даты, используя периоды простоя оборудования, встраивать детале-операции в общий план загрузки производственных мощностей, получить план за один проход и рассчитать точную дату изготовления изделия.

**Заключение.** В статье рассмотрены вопросы влияния серийности производства на стратегию формирования планов производства. Обоснован подход при планировании мелкосерийного и единичного производства, заключающийся в использовании алгоритмов и методов с применением схемы «вперёд от даты запуска».

Как показано в статье, для машиностроительных предприятий с мелкосерийным и единичным характером производства следует принять концепцию планирования «вперёд от даты запуска», позволяющую сократить количество итераций и существенно снизить объёмы обрабатываемой информации, что обеспечит приемлемо допустимое время формирования результатов автоматизированной системой.

Кроме того, использование описанного подхода при разработке автоматизированных систем планирования и управления мелкосерийным и единичным производством позволит учесть его особенности, связанные с серийностью, а также повысить эффективность разрабатываемых планов и управления производством в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Конвой, Р. В. Теория расписаний / Р. В. Конвой, В. Л. Максвелл, Л. В. Миллер. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1975. – 360 с.
2. Красовский, Д. В. Алгоритмы решения минимаксной задачи составления расписания / Д. В. Красовский, М. Г. Фуругян // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2008. – № 5. – С. 69-74.
3. Лазарев, А. А. Методы и алгоритмы решения задач теории расписаний для одного и нескольких приборов и их применение для задач комбинаторной оптимизации: автореф. дис. .... д-ра физ.-мат. наук: 01.01.09 / Лазарев Александр Алексеевич. – М., 2007. – 37 с.
4. Li Ba, Mingshun Yang, Xinqin Gao, Yong Liu, Zhoupeng Han, Erbao Xu and Yan Li A Mathematical Model and Self-Adaptive NSGA-II for a Multiobjective IPPS Problem Subject to Delivery. Time Mathematical Problems in Engineering. <https://doi.org/10.1155/2020/6012737>.
5. Liangliang Jin, Chaoyong Zhang, Xiaoyu Wen And George Gershom Christopher A neutrosophic number based memetic algorithm for the integrated process planning and scheduling problem with uncertain processing times. DOI 10.1109/ACCESS.2020.2996496, IEEE Access.
6. Liangliang Jin, Chaoyong Zhang, Xinyu Shao, Xudong Yang, Guangdong Tian A multi-objective memetic algorithm for integrated process planning and scheduling. DOI 10.1007/s00170-015-8037-7, Springer-Verlag London 2015.



7. Liangliang Jin, Chaoyong Zhang, Xinyu Shao An effective hybrid honey bee mating optimization algorithm for integrated process planning and scheduling problems. DOI 10.1007/s00170-015-7069-3, Springer-Verlag London 2015.
8. Xiaoyu Wen, Xinyu Li, Liang Gao, Kanghong Wang and Hao Li Modified honey bees mating optimization algorithm for multiobjective uncertain integrated process planning and scheduling problem. International Journal of Advanced Robotic Systems, May-June 2020. <https://doi.org/10.1177/1729881420925236>.
9. Jianhui Mou, Liang Gao, Xinyu Li, Quanke Pan, Jiancai Mu Multi-objective inverse scheduling optimization of single-machine shop system with uncertain due-dates and processing times. DOI 10.1007/s10586-016-0717-z Springer Science+Business Media New York 2017.
10. Lin Kong, Liming Wang, Fangyi Li, Geng Wang, Yan Fu, Jing Liu A New Sustainable Scheduling Method for Hybrid Flow-shop Subject to the Characteristics of Parallel Machines. DOI 10.1109/ACCESS.2020.2982570, IEEE Access.
11. Соломенцев, Ю. М. Оперативное планирование и управление машиностроительным производством на основе исполнительных производственных систем / Ю. М. Соломенцев, Е. Б. Фролов, А. Н. Феофанов // Вестник машиностроения. – 2017. – № 8. – С. 41-43.
12. Соломенцев, Ю. М. Современные методы повышения эффективности машиностроительных производств / Ю. М. Соломенцев, Е. Б. Фролов // Технология машиностроения. – 2015. – № 8. – С. 54-58.
13. Lelyukhin V. E., Kolesnikova O. V. Approach to Determining Order of Production of Parts and Assembly Units of Engineering Products in Production Process Planning. International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017. Procedia Engineering 206 (2017) 1515–1521. DOI 10.1016/j.proeng.2017.10.671.
14. V. E. Lelyukhin and O. V. Kolesnikova Strategy for the Formation of Production Plans for Small-Serial Machine-Building Enterprises, 2019 International Science and Technology Conference «EastConf», Vladivostok, Russia, 2019, pp. 1-6. doi: 10.1109/EastConf.2019.8725334.
15. Лелюхин, В. Е. Планирование мелкосерийного производства с использованием метода «вперёд от даты запуска» / В. Е. Лелюхин, О. В. Колесникова // Информатика и системы управления. – 2018. – № 2 (56). – С. 122-130.
16. Лелюхин, В. Е. Алгоритм планирования дискретного машиностроительного производства «Опадающие листья» / В. Е. Лелюхин, О. В. Колесникова // Автоматизация. Современные технологии. – 2016. – № 1. – С. 15-19.

Соловьев В. А., Малюкова А. И.

V. A. Solovyev, A. I. Malyukova

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ РУБИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

### DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE CUTTING PROCESS OF A CHIPPER

**Соловьёв Вячеслав Алексеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: epapu@knastu.ru.

**Vyacheslav A. Solovyov** – Doctor of Engineering, Professor, Electric Drive and Industrial Plant Automation Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: epapu@knastu.ru.

**Малюкова Александра Игоревна** – программист факультета энергетики и управления Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: feu\_malyukovaai@mail.ru.

**Alexandra I. Malyukova** – IT-specialist, Faculty of Electrical Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: feu\_malyukovaai@mail.ru.

**Аннотация.** В работе рассмотрена методика расчёта усилий резания древесины, учитывающая ряд характеристик древесины и режущего инструмента. Представлена модель процесса резания дисковой рубительной машины. Приведены результаты моделирования и экспериментальные осциллограммы, подтверждающие адекватность полученных результатов.

**Summary.** The design procedure of wood cutting force considering a line of wood and cutting tool factors is described in the paper. A model of disc chipper cutting process is presented. The results of modelling and experimental diagrams confirming adequacy of received results are given.

**Ключевые слова:** модель, усилие резания, дисковая рубительная машина.

**Key words:** model, cutting force, disc chipper.

УДК 674.05:681.5

Рубительные машины работают в наиболее неблагоприятных условиях по сравнению с другим деревообрабатывающим оборудованием. Они измельчают низкокачественную древесину и древесные отходы с корой, гнилью, минеральными примесями, причём древесина бывает и низкой влажности (сухая), и мороженая. Режущие инструменты испытывают высокие нагрузки. Влажность древесины может колебаться в широких пределах. Наличие влаги существенно влияет на механические показатели древесины. С увеличением влажности модули упругости и прочности снижаются, удельная работа и мощность рубки уменьшаются. В зимних условиях свободная вода замерзает, что сильно увеличивает расход энергии на рубку и ухудшает качество щепы [1].

Основной задачей системы регулирования электропривода рубительной машины является поддержание постоянства скорости вращения. Это обусловлено как энергетическими, так и технологическими показателями. В процессе рубки баланс величины сил и моментов резания не являются постоянными, а меняются в зависимости от характеристик древесины, ширины резания, угловых параметров патрона и углов поворота ножевого диска. При нерегулируемом электроприводе наблюдаются перепады скорости и, соответственно, высокие динамические моменты [11].

Динамические характеристики оказывают влияние на качество обработки, поэтому система регулирования должна обеспечивать оптимальные динамические характеристики по управляющему и возмущающему воздействиям.

Для оптимизации технологического процесса на рубительной машине необходимо исследовать процессы резания. Изучения на промышленных рубительных машинах весьма затруднительны ввиду необходимости использования особых инструментов, а также внесения изменений в процесс резания. Кроме того, в данных устройствах отсутствует возможность динамического изменения конфигурации геометрических характеристик баланса, а также управления ходом резания. Поэтому для исследования процессов резания предлагается создать математическую модель, позволяющую на основании знания необходимых параметров ножа, древесины и окружающей среды получать на выходе график усилия резания, адекватный графику, снятому с реальной машины.

Принцип построения математической модели процесса резания приведём на примере наиболее распространённой дисковой рубительной машины.

В дисковых рубительных машинах баланс диаметром  $d$  подают под вращающийся ножевой диск по наклонному питающему патрону, имеющему, как известно, в общем случае два угла наклона  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  [4]. Каждый режущий нож диска срезает шайбу эллиптической формы с осями  $2a$  и  $2b$ .

Определим момент силы резания аналитическим путём. Расчётная схема приведена на рис. 1. На лезвии режущего ножа выбираем отрезок элементарной длины  $dl$ , на который воздействует элементарная сила резания  $dp = pdl$ .

Элементарный момент резания относительно оси вращения диска запишется как

$$dM = ldp = pdl.$$

Суммарный момент резания (сил полезного сопротивления) будет равен

$$M = \int_{l_1}^{l_2} pdl = \frac{1}{2} p(l_2^2 - l_1^2),$$

где  $l_1^2 = r_1^2 - k^2$ ,  $l_2^2 = r_2^2 - k^2$ .

Применим две системы координат  $\bar{x}\bar{y}\bar{z}$  и  $xoy$ . Вторая система расположена от первой на расстоянии  $m$  и  $n$  и повёрнута на угол  $\alpha_2$ , соответствующий углу разворота.

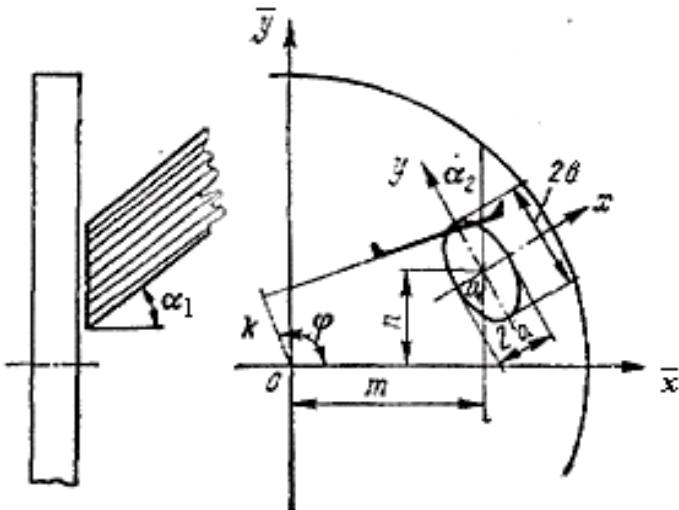


Рис. 1. Расположение режущих ножей и древесины в плоскости диска

После преобразования координат, решая совместно уравнения лезвия режущего ножа и эллипса резания, получим выражение суммарного момента резания. Для частного случая, когда питающий патрон имеет один угол наклона к горизонту  $\alpha_1$  ( $\alpha_2 = 0$ ) и горизонтальная ось эллипса совпадает с горизонтальной осью диска, т. е.  $n = 0$ ,

$$M = \frac{pab\sqrt{C^2 - A^2}}{C^2} ((mC^2 + Aa^2 \cos \varphi) \sin \varphi + Ab^2 \sin \varphi \cos \varphi),$$

где  $C^2 = b^2 \sin^2 \varphi + a^2 \cos^2 \varphi$ ,  $A = k - m \cos \varphi$ .

Для того чтобы учесть конкретные производственные условия работы рубительной машины, при расчёте удельной силы  $p$  дополнительно вводятся коэффициенты:  $a_p$  – коэффициент затупления режущих ножей,  $a_w$  – коэффициент, учитывающий влажность древесины,  $a_t$  – коэффициент, учитывающий агрегатное состояние свободной влаги в древесине (мороженая древесина), и  $a_n$  – коэффициент, учитывающий породу древесины [8]. Таким образом, удельная сила резания для конкретных условий будет равна

$$p = P_{уд}(\varphi_B, \varphi_H)a_p a_w a_t a_n,$$

где  $\varphi_B$  – угол встречи вектора скорости резания с направлением волокон древесины,  $\varphi_B = 90 - \alpha_1$ ;  $\varphi_H$  – угол наклона (угол, лежащий между линией лезвия ножа и направлением волокон древесины),  $\varphi_H = 90 - \alpha_2$ ;  $P_{уд}(\varphi_B, \varphi_H)$  – удельная касательная сила резания, Н/мм,  $P_{уд}(\varphi_B, \varphi_H) = h \sin^2(\varphi_B) \sin^2(\varphi_H) - \cos^2(\varphi_H) + 2$ , здесь  $h$  – толщина срезаемого слоя, мм [7].

График усилия резания при установившемся резе представляет собой периодическую кривую (см. рис. 2). Форма кривой зависит от целого ряда факторов: типа древесины, её возраста, влажности древесины, температуры среды, угла атаки режущего ножа, формы режущего ножа и т.п.

Как известно, любую периодическую кривую можно представить в виде гармонического ряда, например ряда Фурье. Как показал анализ, для практического отображения реальной кривой усилия резания достаточно использовать три члена ряда Фурье ( $n = 3$ ) [9].

Кроме того, анализ кривых подтверждает предположение, что при изменении характеристик древесины, параметров ножа (тип древесины, возраст древесины, влажность, угол атаки режущего ножа и т.п.) изменению подвергаются амплитуда кривой, величина постоянной составляющей периодической кривой, величина периода колебаний, что хорошо согласуется с формулой ряда Фурье.

При исследовании модели (см. рис. 3) изменениям подвергались три параметра –  $a_p$ ,  $a_w$ ,  $a_t$ . Коэффициент  $a_n$  принимался равным 1,07 (порода древесины – лиственница).

Как видно из рис. 2 и 4, кривая усилия резания, полученная на основании представления его в виде ряда Фурье, адекватна экспериментальной кривой на участке установившегося реза.

Предложенная математическая модель процесса резания позволит исследовать процесс резания с учётом влияния на процесс таких факторов, как порода, температура и влажность древесины, состояние ножей. Учёт этих параметров позволит создать систему управления, которая будет компенсировать их влияние.

При построении графиков полезной нагрузки за один цикл примем время прохождения ножом диска одного эллипса резания. На рис. 5 показано изменение момента нагрузки за один цикл резания.

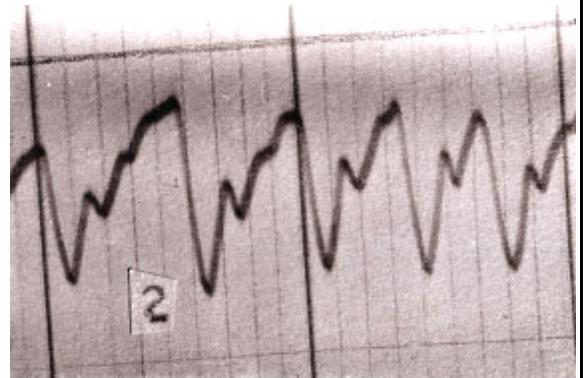


Рис. 2. Экспериментальная осциллограмма изменения силы резания

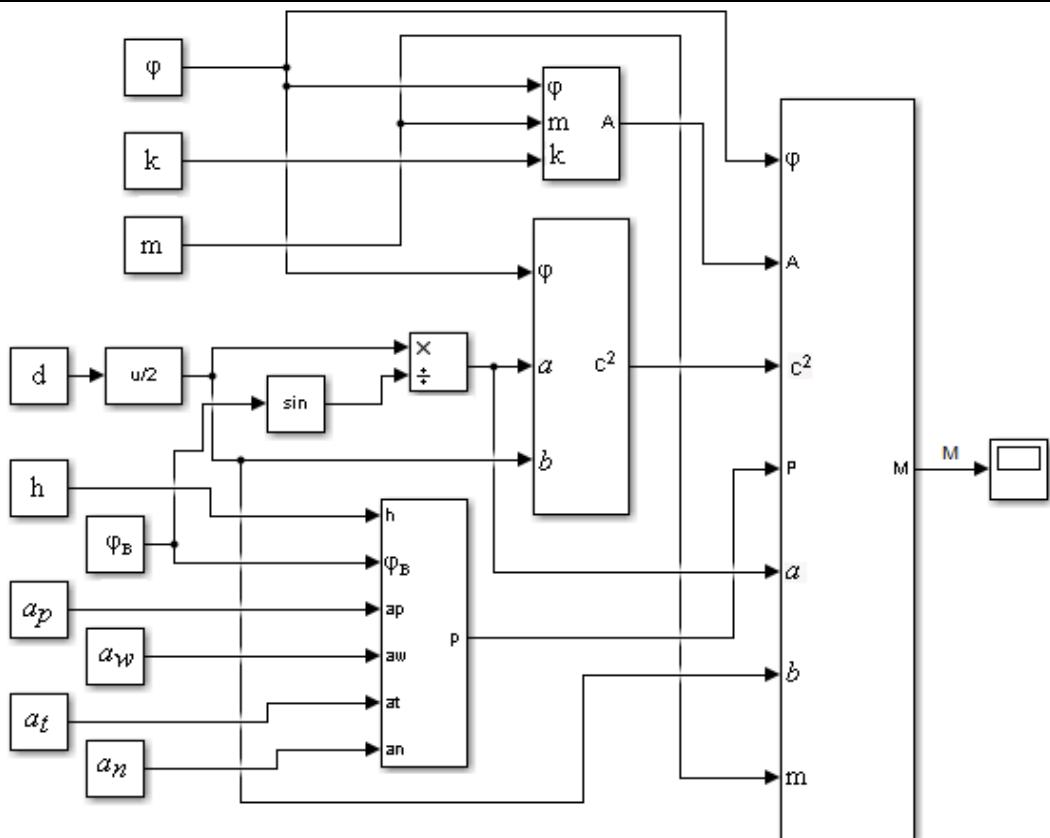


Рис. 3. Схема модели в среде MatLab

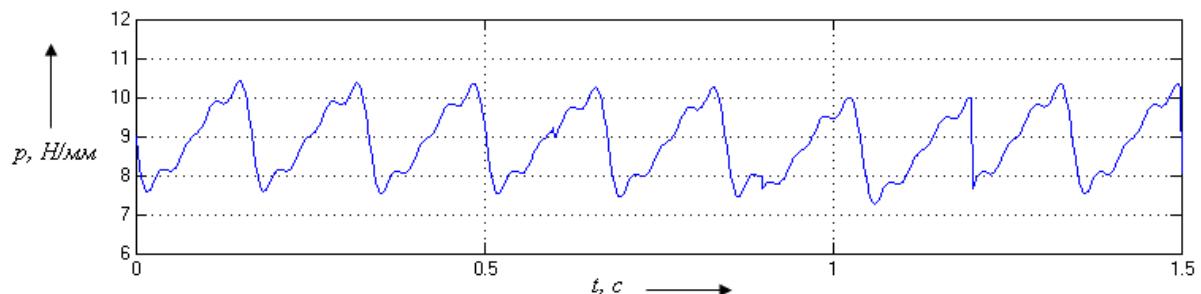


Рис. 4. Изменение силы резания, полученное по результатам моделирования

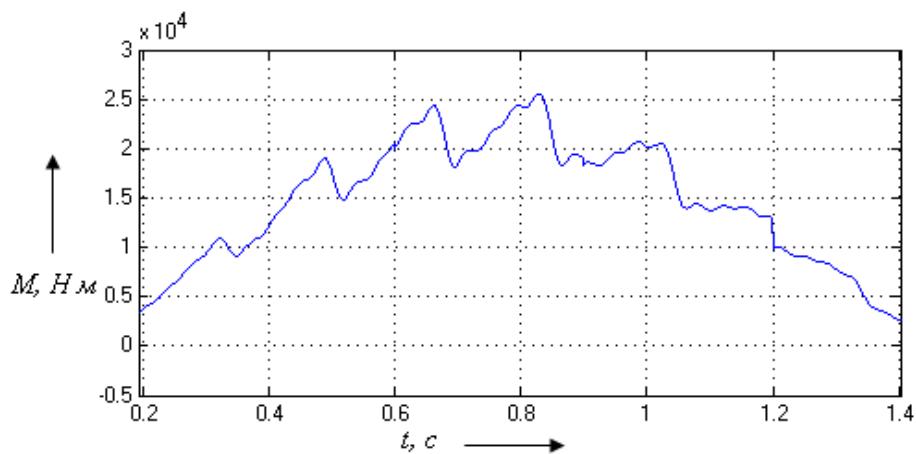


Рис. 5. Изменение момента нагрузки за один цикл резания, полученное по результатам моделирования

Нагрузка является резкопеременной. При нерегулируемом электроприводе наблюдаются перепады скорости и, соответственно, высокие динамические моменты. Так как динамические характеристики оказывают влияние на качество обработки, переходный процесс при изменении нагрузки должен иметь минимальное время. Для решения этой задачи предлагается использовать регулируемый электропривод, который позволит компенсировать изменения параметров объекта регулирования. Поскольку изменение параметров может происходить в процессе резания, а построение регулятора потребует учёта большого количества характеристик, целесообразно использовать аппарат мягких вычислений, в частности синтезировать систему управления на основе нечёткой логики. Согласно исследованиям, нечёткий регулятор способен компенсировать возникающие в объекте управления изменения параметров, что позволяет оптимизировать переходные процессы. Нечёткий регулятор обеспечивает уменьшение чувствительности системы к изменению параметров объекта управления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев, А. Е. Подготовка ножей рубительных машин для переработки усыхающих древостоев / А. Е. Алексеев, А. И. Думанский, А. П. Алабышев // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2012. – № 34. – С. 24-26.
2. Болдырев, В. С. Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств / В. С. Болдырев. – Воронеж: ВГЛТА, 2016. – 316 с.
3. Бузикаева, А. В. Анализ многокаскадных нечётких регуляторов Сугено и Мамдани во внешнем каскаде для систем управления электроприводами переменного тока / А. В. Бузикаева, С. П. Черный // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № VII-1 (47). – С. 76-84.
4. Вальщиков, Н. М. Рубительные машины / Н. М. Вальщиков. – Л.: Машиностроение, 1970. – 328 с.
5. Васильев, С. Б. Производство щепы на предприятиях лесного комплекса : учеб. пособие / С. Б. Васильев, В. И. Патякин, И. Р. Шегельман. – СПб.: СПБЛТА, 2002. – 68 с.
6. Технологические решения для реализации потенциала ресурсосбережения при переработке круглых лесоматериалов на щепу / С. Б. Васильев, Л. А. Девятникова, Г. Н. Колесников, И. В. Симонова. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2013. – 92 с.
7. Васильев, С. Б. Техника и технология производства щепы в леспромхозе / С. Б. Васильев, В. И. Патякин, И. Р. Шегельман. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2001. – 100 с.
8. Гончаров, В. Н. Основы теории и расчёта оборудования для подготовки бумажной массы. Часть 2. Рубительные машины: учеб. пособие / В. Н. Гончаров, А. А. Гаузе, М. В. Аввакумов. – СПб.: СПбГТУРП, 2012. – 50 с.
9. Косицин, В. Г. Математическое описание процесса среза толстой стружки древесины в дисковой рубительной машине / В. Г. Косицин, Ю. В. Рубцов, В. А. Соловьев // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2006. – № 16. – С. 69-75.
10. Пегат, А. Нечёткое моделирование и управление / А. Пегат. – М.: Бином, Лаборатория знаний, 2009. – 800 с.
11. Рубцов, Ю. В. Способ оптимизации получения древесной щепы на дисковых рубительных машинах / Ю. В. Рубцов, С. В. Рудько // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2011. – № 29. – С. 21-24.
12. Рушнов, Н. П. Рубительные машины / Н. П. Рушнов, Э. П. Лицман, Е. А. Пряхин. – М.: Лесная промышленность, 1985. – 208 с.
13. Соловьев, В. А. Нечёткие алгоритмы управления статическим тиристорным компенсатором в системе электроснабжения с переменной нагрузкой / В. А. Соловьев, Н. Е. Дерюжкова, А. В. Купова // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № I-1 (41). – С. 51-58.
14. Фокин, С. В. Совершенствование технических средств переработки отходов лесосечных работ на топливную щепу в условиях вырубки: моногр. / С. В. Фокин. – М.: Инфра-М, 2018. – 187 с.



Фецов С. С.  
S. S. Fetsov

## О МОДЕЛИРОВАНИИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПОРИСТЫХ САМОРАЗОГРЕВАЮЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ОБЪЁМОВ

## ON SIMULATION OF POROUS SELF-HEATING OBJECT UNSTATIONARY COOLING BY THE FINITE VOLUME METHOD

**Фецов Сергей Сергеевич** – младший научный сотрудник Лаборатории механики жидкости и газа ИАПУ ДВО РАН, ассистент Отделения машиностроения, морской техники и транспорта Политехнического института ДВФУ (Россия, Владивосток); тел. +7(984)149-33-80. E-mail: fetc95@mail.ru.

**Sergey S. Fetsov** – Junior Researcher, Laboratory of Fluid and Gas Mechanics of the IACP FEB RAS, Assistant of the Department of Mechanical Engineering, Marine Engineering and Transport, Polytechnic Institute of FEFU (Russia, Vladivostok); tel. +7(984)149-33-80. E-mail: fetc95@mail.ru.

**Аннотация.** Для расчёта нестационарных течений газа через пористые объекты с источниками саморазогрева разработана численная модель на основе метода конечных объёмов. Модель реализована с использованием пакета OpenFOAM. Тестовые результаты расчётов совпадают с высокой точностью как с аналитическим и численно-аналитическим решениями для стационарных задач, так и с результатами разработанной ранее конечно-разностной численной модели. При этом новая численная модель показывает значительно более высокое быстродействие, а также позволяет без особых затруднений решать задачи на неравномерных и неструктурированных сетках.

**Summary.** A computational model based on finite volume method is developed for simulation of unstationary gas flows through porous objects with self-heating sources and is implemented in OpenFOAM package. Preliminary computational results concise with high accuracy both with analytical and numerical-analytical solutions for stationary problems and with results of previously developed finite-difference numerical model. Herewith the new numerical model demonstrates significantly more high performance and allows solving problems on non-uniform and unstructured meshes.

**Ключевые слова:** метод конечных объёмов, пористые среды, энерговыделение.

**Key words:** finite volume method, porous media, energy release.

УДК 621.735

Мотивацией для представляемой работы послужила необходимость совершенствования расчётных моделей, используемых для исследования нестационарных течений газа с источниками внутреннего саморазогрева [5], гетерогенного горения пористых сред [1; 9], газификации комбинированного заряда низкотемпературного газогенератора [3], накопителей тепловой энергии на основе гранулированных материалов с фазовыми переходами [2] и процессов извлечения редких металлов из металлоконцентратов систем методом фильтрационного горения [6]. Перечисленные процессы происходят в пористых и зернистых средах, которые встречаются и в других приложениях [8]. Для указанных задач ранее были разработаны оригинальные численные модели на основе метода конечных разностей, адекватность и применимость которых продемонстрирована соответственно результатами расчётов аналитическим и численно-аналитическим решениям и экспериментальным данным. Разработанные алгоритмы показывают хорошее быстродействие, особенно при расчёте объектов относительно больших размеров при относительно высоких скоростях движения газа или когда достаточно использования относительно грубых сеток. Некоторые классы задач могут быть решены предложенными методами на персональном компьютере за несколько минут. Однако из-за достаточно строгих ограничений на шаг по времени эффективность этих ал-

горитмов оказывается недостаточной при сгущении сеток, особенно при расчёте процессов в условиях естественной конвекции. Эти проблемы частично решаются применением суперкомпьютерных технологий, в том числе параллельного программирования.

В настоящем исследовании разработан алгоритм на основе метода конечных объёмов для моделирования нестационарных процессов газового охлаждения пористых саморазогревающихся объектов. Из особенностей разработанного алгоритма в сравнении с конечно-разностным алгоритмом [5] можно назвать следующие:

1. Решаются уравнения модели [5] в консервативной форме, а аппроксимирующие разностные уравнения получаются интегрированием уравнений модели по конечному объёму.

2. Дифференциальные уравнения модели решаются по неявной схеме каждое по отдельности относительно соответствующей функции, при этом другие искомые величины, входящие в это уравнение, полагаются известными из предыдущего шага.

3. На каждом временном слое проделываются итерации согласно алгоритму PIMPLE, который является комбинацией алгоритмов PISO [10] и SIMPLE [7].

Последние два пункта позволяют значительно увеличивать шаг по времени без потери точности. Разработанный алгоритм реализован в свободном пакете вычислительной гидродинамики OpenFOAM [11] и протестирован на ряде модельных задач. В табл. 1 представлены пример максимальной температуры твёрдой фазы  $T_{\max}$  для установившегося охлаждения пористого саморазогревающегося элемента в одномерном случае, которая получена из численно-аналитического решения [4], методом конечных разностей [5] и конечно-объёмным методом, а также относительные погрешности  $\delta T_{\max}$  и время расчёта на ЦПУ Intel Core i7-8550U с частотой 1.9 ГГц.

Таблица 1

Сравнение численно-аналитического, конечно-разностного и конечно-объёмного решений

Параметр	Численно-аналитическое решение	Конечно-разностный метод [5] на сетке 40	Конечно-разностный метод [5] на сетке 100	Конечно-объёмный метод OpenFOAM на сетке 320
$T_{\max}$ , К	552,4	547	551	553,9
$\delta T_{\max}$ , %	—	0,98	0,26	0,27
Время счёта, с	—	90	570	13

Из таблицы видно, что решение, полученное по вышеописанному алгоритму, даже на более густой сетке занимает много меньшее время, чем при использовании конечно-разностной модели, а относительная погрешность во всех случаях не превышает одного процента. При этом за счёт реализации в пакете OpenFOAM алгоритм можно использовать на неравномерных, неортогональных и неструктурированных сетках в широком классе граничных условий и конфигураций расчётной области.

Автор благодарит доктора физико-математических наук Н. А. Луценко за поддержку при выполнении настоящей работы и ценные замечания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Левин, В. А. Двумерные течения газа при гетерогенном горении твёрдых пористых сред / В. А. Левин, Н. А. Луценко // ДАН. – 2017. – Т. 476, № 1. – С. 30-34.
2. Левин, В. А. Моделирование движения газа через слой гранулированного теплоаккумулирующего материала с фазовым переходом / В. А. Левин, Н. А. Луценко, С. С. Фецов // ДАН. – 2018. – Т. 479, № 4. – С. 386-389.
3. Модель газификации твёрдого горючего в комбинированном заряде низкотемпературного газогенератора летательного аппарата / В. А. Левин, Н. А. Луценко, Е. А. Салганский, Л. С. Яновский // ДАН. – 2018. – Т. 482, № 2. – С. 150-154.



4. Луценко, Н. А. Одномерный стационарный режим фильтрации газа через слой неподвижного тепловыделяющего конденсированного материала / Н. А. Луценко // Дальневосточный математический журнал. – 2002. – Т. 3, № 1. – С. 123-130.
5. Луценко, Н. А. Численное моделирование трёхмерных нестационарных течений газа через пористые объекты с источниками энерговыделения / Н. А. Луценко // Вычислительная механика сплошных сред. – 2016. – Т. 9, № 3. – С. 331-344.
6. Луценко, Н. А. Моделирование процесса извлечения ценных металлов из металлодержащих сред методом фильтрационного горения / Н. А. Луценко // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. – 2020. – Т. 491, № 4. – С. 85-89.
7. Патанкар, С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
8. Романюк, Е. В. Особенности расчёта общего перепада давления на двухслойных фильтрах для очистки воздуха / В. Е. Романюк // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного университета. Науки о природе и технике. – 2019. – № II-1 (38). – С. 61-68.
9. Borovik, K. G. On numerical modelling of gas flows through axisymmetric porous object with heterogeneous combustion sources under forced filtration / K. G. Borovik // J. Phys.: Conf. Ser. – 2019. – Vol. 1404, Article 012008.
10. Issa, R. I. Solution of the Implicitly Discretized Fluid Flow Equations by Operator-Splitting / R. I. Issa // J. Comput. Phys. – 1985. – V. 62. – P. 40-65.
11. OpenFOAM: сайт. – Режим доступа: [www.openfoam.com](http://www.openfoam.com) (дата обращения: 27.01.2021).

**МАШИНОСТРОЕНИЕ**  
**MECHANICAL ENGINEERING**

**Кравченко Е. Г., Алтухова В. В., Серёдкина Е. А., Гамаюнова А. С.**  
**E. G. Kravchenko, V. V. Altukhova, E. A. Seredkina, A. S. Gamaiunova**

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ  
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**ESTIMATION OF THE ACCURACY OF CONTROL OF THE SURFACE ROOM  
OF MACHINE-BUILDING PRODUCTS**

**Кравченко Елена Геннадьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: ek74@list.ru.

**Elena G. Kravchenko** – PhD in Engineering, Assistant Professor, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: ek74@list.ru.

**Алтухова Виктория Викторовна** – старший преподаватель кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: zhizn-vita@bk.ru.

**Viktoriya V. Altukhova** – Senior Lecturer, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: zhizn-vita@bk.ru.

**Серёдкина Елизавета Алексеевна** – инженер-конструктор филиала ПАО «Компания «Сухой» «КнААЗ имени Ю. А. Гагарина» (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

**Elizaveta A. Seredkina** – Design Engineer, the Branch of PJSC Sukhoi Company Komsomolsk-on-Amur Aircraft Plant named after Yuri A. Gagarin (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

**Гамаюнова Александра Сергеевна** – студент Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

**Aleksandra S. Gamaiunova** – Student, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

**Аннотация.** На современном машиностроительном производстве точность оценки параметров шероховатости является неотъемлемой частью контроля качества изделий машиностроения. В этой связи повышение точности измерения шероховатости поверхности становится важной производственной задачей. Измерения параметров шероховатости не позволяют получать их истинные значения. Для этого вместе с полученным результатом измерения необходимо указывать погрешность измерения. Неопределенность, в отличие от погрешности, имеет прогрессирующий характер и применяется как оценка достоверности результатов измерений. При внедрении неопределенности измерения в поверку прибора для измерения шероховатости можно повысить точность измерения и, как следствие, улучшить эксплуатационные показатели изделий. Основные положения предложенного исследования могут быть взяты за основу разработки метрологических рекомендаций для заводских лабораторий, которые должны оценивать точность измерений.

**Summary.** In modern machine-building production, the accuracy of estimation of roughness parameters is an integral part of quality control of machine-building products. In this regard, improving the accuracy of surface roughness measurement becomes an important manufacturing task. By measuring any physical quantity, we do not want to get its true values, so it is necessary to indicate how close the result is to the true value, i.e. indicate the accuracy of the measurement. To do this, the approximate measurement error (error) is indicated together with the semi-final result. Uncertainty, unlike error, is progressive and is used as an assessment of the reliability of measurement results. With the introduction of measurement uncertainty in the verification of the roughness measuring device, it is possible to improve the measurement accuracy and, as a result, improve the performance of the products. The main provisions of the proposed study may form the basis for the development of metrological recommendations for factory laboratories, which should assess the accuracy of measurements.

**Ключевые слова:** изделия машиностроительного производства, параметры шероховатости, точность измерения, профилометр, неопределенность измерения.



**Key words:** machine-building products, roughness parameters, measurement accuracy, profilometer, measurement uncertainty.

УДК 620.179

**Введение.** Режущие инструменты после механической обработки поверхностей деталей общего машиностроения оставляют на их поверхности ряд микронеровностей. Именно они и образуют шероховатость представленной к контролю поверхности.

Шероховатость поверхности – это следствие технологической обработки поверхности материала. Для большинства поверхностей изделий машиностроения характерны следующие параметры: горизонтальный шаг неровностей 1...1000 мкм; высота 0,01...10 мкм.

Данная информация необходима конструкторам и технологам, чтобы правильно выбрать номенклатуру параметров и назначить их числовые значения, которые в дальнейшем должны быть обеспечены в процессе изготовления поверхности. Таким образом, большинство стандартных параметров шероховатости поверхности описывает разнообразное множество поверхностей и, следовательно, является востребованным в производстве [9-11].

Как видим, шероховатость поверхности в значительной степени оказывает влияние на эксплуатационные параметры изделий машиностроения, поэтому повышение точности её измерения в настоящее время считается одной из центральных задач современного машиностроения.

**Понятие «неопределённость измерения».** Новая концепция оценки точности измерений была определена в 1997 г. при разработке и опубликовании от имени семи международных организаций по стандартизации нового нормативного документа – «Руководства по выражению неопределенности измерения», регламентированного ГОСТ Р 54500.3.2-2013 [3].

Согласно терминам, приведённым в указанном стандарте [3], неопределенность измерений определяется как «...неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании используемой информации».

На основании анализа, приведённого в [2–5], можно сделать выводы, что неопределенность измерения:

- определяет степень доверия к результатам измерения;
- как и погрешность измерения, является количественной характеристикой точности;
- позволяет сравнивать результаты измерений физических величин между собой, а также с эталонными значениями.

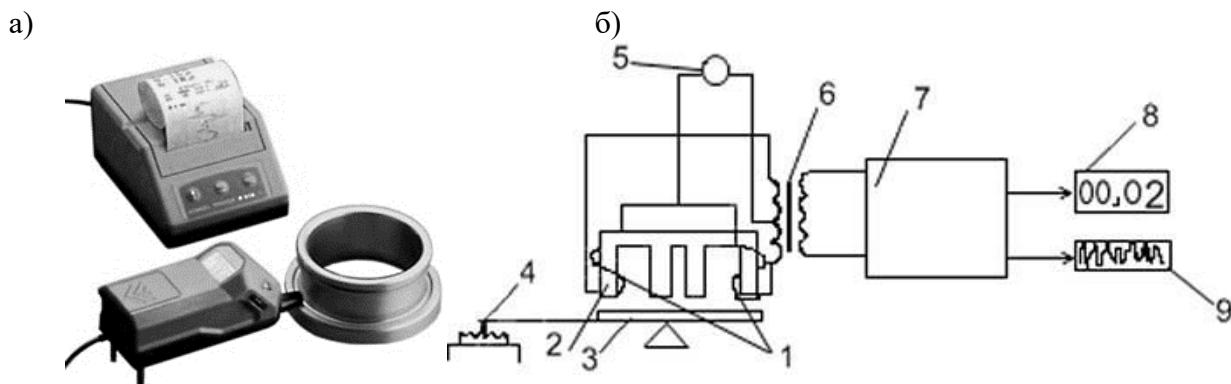
Основные понятия в области неопределенности измерения широко представлены в литературных источниках [1–5]. Однако следует отметить разницу между терминами «погрешность измерения» и «неопределенность измерения»:

- термин «погрешность измерения» применяется к истинному значению физической величины, которое неизвестно, а «неопределенность измерения» – к действительному значению, полученному экспериментальным путём и являющемуся результатом измерения;
- «погрешность измерения» является мерой точности конкретного результата измерения, проведённого известным измерительным средством, а «неопределенность измерения» – это степень сомнения в истинности результата измерения физической величины.

**Объектом исследования** был выбран профилометр Hommel Tester T500, применяемый в производственном процессе лабораторий линейно-угловых измерений большинства машиностроительных предприятий. Общий вид и схема портативного мобильного полуавтоматического многофункционального прибора для контроля шероховатости поверхности представлены на рис. 1.

**Принцип действия и технические характеристики профилометра.** В состав магнитного блока датчика входит сердечник 2 с двумя катушками 1 (см. рис. 1). Балансный мост, состоящий из катушки 1 и дифференциального входного трансформатора 6, питается от генератора звуковой частоты 5. В процессе ощупывания исследуемой поверхности датчик с алмазной иглой 4 перемещается, приводя в колебательное движение коромысло 3. При этом на выходе дифференциального трансформатора происходит пропорциональное изменение напряжения как результат изменения

зазора между сердечником и якорем. После усиления посредством электронного блока 7 напряжение интегрируется и выдаётся в виде некоторого усреднённого параметра, который и является количественной характеристикой микронеровностей исследуемой поверхности. Полученная информация отображается на показывающем устройстве 8 или записывающем приборе 9, которые подключены к выходу электронного блока 7.



1 – катушки; 2 – сердечник; 3 – коромысло; 4 – алмазная игла;  
5 – генератор звуковой частоты; 6 – трансформатор входной дифференциальный;  
7 – блок электронный; 8 – устройство показывающее; 9 – записывающее устройство

Рис. 1. Общий вид (а) и схема (б) профилометра Hommel Tester T500

Основные параметры и технические характеристики профилометра Hommel Tester T500, служащие исходными данными для оценивания неопределенности измерения, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры профилометра Hommel Tester T500

Измеряемые параметры шероховатости по ГОСТ 2789-73	$R_a, R_z, R_{max}, S, Sm, T_p$		
Класс точности	1		
Предел измерения	МВ	Диапазон, мкм	Разрешение, нм
	1	+20...–20	10
		+20...–60	20
	2	+40...–40	20
		+40...–120	40
Скорость щупа	$V_t$ , мм/с	0,15	0,5
Длина трассы	$L_m$ , мм	1,25	4,0
	$L_t$ , мм	1,5	4,8
Отсечка шага	$L_c$ , мм	0,25	0,8
Предел допускаемой основной погрешности (по параметру $R_a$ )	5 %		
Точность отображения значений	0,001 мм		

**Методика оценки неопределенности измерения.** В основе существующих методов оценки неопределенности измерения, как и определения характеристик погрешности измерения, лежат положения теории вероятности, а также аппарат математической статистики. Однако методы оценивания неопределенности измерения могут базироваться на различных законах распределения вероятностей случайных величин.



Оценивание неопределённости измерения параметров шероховатости на профилометре Hommel Tester T500 необходимо выполнять на основании рекомендаций методики, приведённой в [7; 8]. Рассмотрим её основные этапы.

*1-й этап. Определение уравнения измерения.*

В теории неопределённости за уравнение измерения, опираясь на классический подход теории погрешностей, можно принять зависимость между измеряемой величиной и величинами, влияющими на результаты измерения:

$$Y = f(x_1, x_2 \dots x_n, x_{n+1}, x_{n+2} \dots x_m),$$

где  $Y$  – величина выходная;  $x_1, x_2, x_n$  – величины входные;  $x_{n+1}, x_{n+2}, x_m$  – факторы (величины), влияющие на результат измерения.

*2-й этап. Оценка входной величины.*

Наилучшей оценкой входной величины является среднее арифметическое из ряда равноточных измерений, взятое при нормальном законе распределения вероятности:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{q=1}^{n_i} x_{iq},$$

где  $\bar{X}_i$  – входная величина,  $i = 1 \dots m$ .

*3-й этап. Определение стандартной неопределённости по типу А.*

Определение стандартной неопределённости по типу А производится по формуле

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2},$$

где  $\bar{x}_i$  – оценка среднего арифметического значения от  $i$ -х входных величин.

*4-й этап. Определение стандартной неопределённости (по типу В).*

Вычисление стандартной неопределённости (по типу В) основывается на следующей априорной информации:

- результатах предыдущих измерений величин;
- данных о приборе и сведениях по поверке;
- сведениях о предполагаемом вероятностном распределении значений величин;
- нормах точности измерений (указываются в технической документации на средство измерения);
- неопределённости используемых справочных данных и констант;
- сведениях об источниках неопределённостей, влияющих на результат измерения.

Стандартная неопределённость (по типу В) в указанных границах определяется по формуле

$$U_B(x_i) = \frac{b_{i+} - b_{i-}}{2\sqrt{3}},$$

где  $b_{i+}, b_{i-}$  – соответственно верхняя и нижняя границы отклонения измеряемой величины от результата измерений.

Если границы симметричны  $b_i = b_{i+} - b_{i-}$ , то неопределённость измерения вычисляется по формуле

$$U_B(x_i) = \frac{b_i}{\sqrt{3}},$$

где  $b_i$  – симметричные границы отклонения.

*5-й этап. Оценка выходной величины.*

Для вычисления выходной величины  $Y$  на входные величины  $x_1 \dots x_m$  заблаговременно необходимо внести поправки – известные неопределённости, имеющие систематический характер.

Выходная величина (стандартная неопределённость) определяется:

- при некоррелированных оценках входных величин:

$$U_c(Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i);}$$

- для коррелированных оценок входных величин:

$$U_c(Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} r(x_i x_j) u(x_i) u(x_j)},$$

где  $\frac{\partial f}{\partial x_i}, \frac{\partial f}{\partial x_j}$  – коэффициенты чувствительности входных величин ( $i$ -х и  $j$ -х соответственно) относительно выходной  $Y$ ;  $r(x_i x_j)$  – коэффициент корреляции оценок входных величин;  $u(x_i), u(x_j)$  – стандартные неопределённости при оценке  $i$ -й и  $j$ -й входных величин соответственно.

*6-й этап. Оценка расширенной неопределённости.*

Оценивание расширенной неопределённости производится по формуле

$$U(Y) = k \cdot u(y),$$

где  $k$  – коэффициент охвата.

Число степеней свободы определяется по формуле Велча-Саттердейта [5]:

$$V_{aff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m (\frac{\partial f}{\partial x})^4 \frac{u^4(x_i)}{v_i}}.$$

Коэффициента охвата

$$k = t_p(v_{aff}),$$

где  $V_{aff}$  – эффективное число степеней свободы;  $v_i$  – число степеней свободы при вычислении неопределённости оценки  $i$ -й входной величины;  $t_p$  – коэффициент Стьюдента (для принятой доверительной вероятности  $P = 0,95$ ).

Число степеней свободы принимаем:

$v_i = n_i - 1$  – для оценки неопределённости (по типу А);

$v_i = \infty$  – для оценки неопределённости (по типу В).

*7-й этап. Запись полного результата измерений.*

При записи полного результата измерений необходимо указать результаты расчётов следующих параметров неопределённости:

- данных входных величин –  $u_i$ ;
- неопределённости суммарной –  $U_c$ ;
- неопределённости расширенной –  $U$ ;
- эффективного числа степеней свободы –  $V_{aff}$ ;
- коэффициента охвата –  $k$ .

**Оценка неопределённости измерения параметров шероховатости профилометром Hommel Tester T500.** Рассмотренный в исследовании подход для оценки неопределённости измерения принимает во внимание только те неопределённости, которые связаны с показаниями про-



филометра при учёте мер шероховатости и отражают совместное влияние всех отдельно взятых погрешностей.

Алгоритм вычисления неопределенности измерения параметров шероховатости профилометром Hommel Tester T500:

1. Оценка отклонения профилометра проводится на основе измерений по мере шероховатости. Для этого необходимо определить следующие параметры:

- точность параметра, присвоенного мере шероховатости при калибровке;

- среднее арифметическое значение результатов 25 измерений параметра шероховатости при контроле профилометра по мере шероховатости;

- отклонение профилометра следует учитывать при оценке неопределенности измерения каждым из рассмотренных ниже методов.

По типу А вычисляется неопределенность измерений, учитывающая систематическое отклонение профилометра двумя различными способами.

Расчет неопределенности измерения по типу В позволяет находить значение неопределенности без учёта систематического отклонения.

2. Неопределенность по типу А. Стандартная неопределенность шероховатости по типу А, обусловленная источниками неопределенности, имеющими случайный характер, определяется по формуле

$$U_A(Ra) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Ra_i - \bar{Ra})^2}{n(n-1)}},$$

где  $Ra$  – среднее арифметическое отклонение профиля;  $n$  – количество измерений.

3. Неопределенность по типу В. Неопределенность измерений по типу В вычисляют для симметричных границ:

$$U_B(Ra) = \frac{b_i}{\sqrt{3}}.$$

4. Оценка суммарной и расширенной неопределенности.

Суммарная стандартная неопределенность вычисляется по формуле

$$U_C(Ra) = \sqrt{U_A^2(Ra) + U_B^2(Ra)}.$$

Расширенная неопределенность вычисляется по формуле

$$U(Ra) = k U_C(Ra),$$

где  $k$  – коэффициент охвата, равный 2 при нормальном распределении  $P = 0,95$ .

**Представление результата измерения.** Для практической реализации представленной методики в качестве исходных данных для анализа были приняты значения характеристик мер шероховатости и параметры для анализа мер шероховатости, представленные в табл. 2 и 3 соответственно.

Таблица 2  
Характеристики меры шероховатости

Параметр	Фильтр	Действительное значение, мкм	Расширенная неопределенность измерений, мкм
$Ra$	Гауссовский	3,03	0,03

Таблица 3  
Параметры анализа меры шероховатости

Параметры анализа	
Отсечка шага, $I_c$	0,25 мм
Отсечка шага, $I_s$	0,0025 мм

В качестве параметров для контроля шероховатости было принято среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$ , значения которого после обработки приведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметры шероховатости мер шероховатости

Фильтр Гаусса										
$R_a$ , мкм	3,00	3,02	3,02	3,02	3,03	3,04	3,03	3,05	3,05	3,04
Среднее значение параметра $R_a$ , мкм	3,03									
Среднее квадратическое отклонение	0,015 мкм									

Неопределенность измерений вычисляется по формулам, представленным выше.

Неопределенность по типу А:  $U_A(R_a) = 0,0005$  мкм;

Неопределенность по типу В:  $U_B(R_a) = 0,013$  мкм;

Суммарная неопределенность:  $U_C(R_a) = 0,014$  мкм;

Расширенная неопределенность:  $U(R_a) = 0,028$  мкм.

По полученным результатам делаем вывод, что данные меры могут быть использованы в качестве эталона 1-го разряда в соответствии с поверочной схемой ГОСТ 8.296-2015.

Обработка результатов измерений на профилометре Hommel Tester T500 приведена в табл. 5.

Таблица 5

Результаты измерения профилометром Hommel Tester T500

Номер измерения	$R_a$ , мкм	Среднее значение параметра $R_a$ , мкм	Среднее квадратическое отклонение	
			$S$ , мкм	$S_{\text{отн.}} \%$
1	3,03	2,97	0,05	1,68
2	3,01			
3	2,98			
4	2,95			
5	2,93			
6	2,85			
7	2,96			
8	3,01			
9	3,01			
10	3,02			
11	2,95			
12	2,94			
13	3,03			
14	3,01			
15	2,98			
16	2,95			
17	2,93			
18	2,85			
19	2,96			
20	3,01			
21	3,01			
22	3,02			
23	2,95			
24	2,95			
25	2,95			

Оценка  $S$  стандартного отклонения полученных значений параметров

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Ra_i - \bar{Ra})^2}{n-1}},$$

$$S_{\text{отн}} = \frac{S}{R} 100.$$

Получаем  $S = 0,05$  мкм или  $S_{\text{отн}} = 1,68\%$ .

Определение средних из измеренных значений параметров ( $\bar{Ra}$ ) и отклонения этих средних от значений, указанных в сертификате на образцовую меру ( $Ra_{\text{ат}}$ ) для каждого из параметров, производится по формуле

$$\delta_{\text{систем}} = \frac{Ra_{\text{ат}} - \bar{Ra}}{Ra_{\text{ат}}} 100\%, \quad \delta_{\text{систем}} = 1,98\%.$$

Неопределённость по типу А:  $U_A(Ra) = 0,01$  мкм; неопределённость по типу В:  $U_B(Ra) = 0,03$  мкм; суммарная неопределённость:  $U_C(Ra) = 0,03$  мкм; расширенная неопределённость:  $U(Ra) = 0,06$  мкм.

Смысъл учёта неопределённости при измерении параметров шероховатости поясняется схемой на рис. 2.

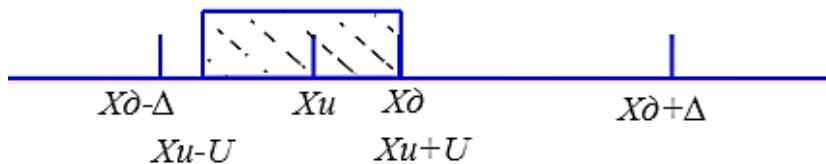


Рис. 2. Схема учёта неопределённости при поверке средства измерения

Условные обозначения на рис. 2:

Значение  $Xd = 3,03$  – это действительное значение (эталона);  $Xu = 2,97$  – показания профилометра (номинальное значение);  $U$  – расширенная неопределённость;  $\Delta$  – пределы допускаемой погрешности профилометра по параметру  $Ra$  (из паспорта на средство измерения).

Основные выводы о годности профилометра, сделанные на основании проведённого анализа, приведены в табл. 6.

Таблица 6

Условия годности прибора по характеристикам точности измерения

Формула	Результат
$S$ и(или) $S_{\text{отн}}$ $\frac{\delta_{\text{систем}}}{100\%}$	$0,05 \leq 0,15$ $0,02 \leq 0,15$
$U \leq \frac{1}{3} \Delta_{\text{пр}} - \text{пренебрегаем}$	$0,06 \leq 0,05 - \text{не пренебрегаем}$
$S \leq \sqrt{(\Delta_{\text{пр}}^2 - U^2)}$	$0,05 \leq 0,14$

Примечания:

- Если расширенная неопределённость измерений  $U$  не превышает  $1/3$  пределов допускаемой погрешности  $\Delta_{\text{пр}}$  средства измерения, то ею пренебрегают.
- Если погрешность средства измерения  $S$  не превышает квадратного корня из разности квадратов нормы погрешности  $\Delta_{\text{пр}}$  и расширенной неопределённости  $U$  измерения при поверке, то средство измерения считается годным

**Вывод.** По данным результатам поверки профилометра Hommel Tester T500 с учётом неопределённости измерений можно сделать вывод, что данное средство измерения может быть признано как соответствующее установленным метрологическим требованиям точности и пригодное к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений.

Анализ неопределённости измерений является полезным инструментом, направленным на выявление источников ошибок при измерениях. Разработанная методика оценки точности измерения профилометром Hommel Tester T500 с учётом неопределённости измерений была внедрена в производственный процесс лаборатории линейно-угловых измерений Филиала ПАО «Компания “Сухой” “Комсомольский-на-Амуре авиационный завод имени Ю. А. Гагарина”». Основные положения предложенной методики оценки неопределённости измерения могут быть положены в основу разработки метрологических рекомендаций для лабораторий, которые должны оценивать точность измерений основных параметров шероховатости изделий машиностроения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 19300-86. Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и основные параметры = Instruments for measurement of surface roughness by the profile method. Contact profilographs and profilometers. Types and main parameters: государственный стандарт СССР: утверждён и введён в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 июня 1986 г. № 1821: введён взамен ГОСТ 19299-73 и ГОСТ 19300-73: дата введения 1987-07-01 / разработан Государственным комитетом СССР по стандартам. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 9 с.
2. ГОСТ 34100.3.1-2017. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 1. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло = Uncertainty of measurement. Part 3. Guide to the expression of uncertainty in measurement. Supplement 1. Propagation of distributions using a Monte Carlo method: национальный стандарт Российской Федерации: утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. № 1066-ст: введён впервые: дата введения 2018-09-01 / подготовлен Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 125 «Статистические методы в управлении качеством продукции». – М.: Стандартинформ, 2018. – 84 с.
3. ГОСТ 34100.3.2-2017. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 2. Обобщение на случай произвольного числа выходных величин = Uncertainty of measurement. Part 3. Guide to the expression of uncertainty in measurement. Supplement 2. Extension to any number of output quantities: национальный стандарт Российской Федерации: утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2017 г. № 1067-ст: введён впервые: дата введения 2018-09-01 / подготовлен Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 125 «Статистические методы в управлении качеством продукции». – М.: Стандартинформ, 2015. – 77 с.
4. Ефремов, Н. Ю. Оценка неопределенности в измерениях: практическое пособие / Н. Ю. Ефремов. – Минск: БелГИМ, 2003. – 50 с.
5. Хакимов, О. Ш. Оценка неопределенности измерений: учеб. пособие / О. Ш. Хакимов, В. Б. Латипов. – Ташкент НИИСМС, 2008. – 110 с.
6. Холощак, К. М. Разработка измерительной системы для контроля шероховатости / К. М. Холощак, Е. Г. Кравченко // Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. В 3 ч. Ч. 1. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2020. – С. 162-164.
7. Серёдкина, Е. А. Разработка методики поверки профилометра HOMMEL TESTER T500 / Е. А. Серёдкина, Е. Г. Кравченко // Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы II Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. В 4 ч. Ч. 1. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2019. – С. 195-197.
8. Серёдкина, Е. А. Анализ методик поверки профилометра с учётом неопределенности измерений / Е. А. Серёдкина, Е. Г. Кравченко // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2018. – С. 154-156.



# Учёные записки

Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета

№ V (53)  
2021

9. Отряскина, Т. А. Исследование термодинамических процессов при стружкообразовании / Т. А. Отряскина, Е. Г. Кравченко // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № VII-1 (47). – С. 85-89.
10. Саблин, П. А. Высота микронеровностей и параметры шероховатости – комплексная оценка качества обработанной поверхности / П. А. Саблин, В. С. Щетинин // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № VII-1 (47). – С. 90-94.
11. Космынин, А. В. Обеспечение качества обработки материалов резанием посредством внедрения трансформируемых управляемых звеньев в систему станочных систем / А. В. Космынин, В. С. Щетинин, П. А. Саблин // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № V-1 (45). – С. 115-118.

**Рахчеев В. Г., Максимов И. С., Галанский С. А., Мустафин А. Г.**  
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ  
ГОЛОВОК РЕЛЬСОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

**Рахчеев В. Г., Максимов И. С., Галанский С. А., Мустафин А. Г.**  
**V. G. Rakcheev, I. S. Maksimov, S. A. Galansky, A. G. Mustafin**

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ ГОЛОВОК РЕЛЬСОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ**

### **THEORETICAL FEATURES OF THE FORMATION OF THE ROLLING SURFACE OF THE RAIL HEADS WHILE GRINDING**

**Рахчеев Валерий Геннадьевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Путь и путевое хозяйство» Самарского государственного университета путей сообщения (Россия, Самара); 443066, Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2В; тел. +7(927)760-82-75.

**Valery G. Rakcheev** – Dr. Sc. (Technical), Professor, Samara State Transport University (Russia, Samara); 2 V Svoboda str., Samara 443066, Russia; tel. +7(927)760-82-75.

**Максимов Илья Сергеевич** – старший преподаватель Самарского государственного университета путей сообщения (Россия, Самара); 443066, Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2В; тел. +7(927)694-36-53.

**Ilya S. Maksimov** – Assistant Professor, Samara State Transport University (Russia, Samara); 2 V Svoboda str., Samara 443066, Russia; tel. +7(927)694-36-53.

**Галанский Сергей Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент Самарского государственного университета путей сообщения (Россия, Самара); 443066, Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2В; тел. +7(917)111-72-82.

**Sergey A. Galansky** – Cand Sc. (Technical), Assistant Professor, Samara State Transport University (Russia, Samara); 2 V Svoboda str., Samara 443066, Russia; tel. +7(917)111-72-82.

**Мустафин Артур Галимзянович** – заведующий лабораторией Самарского государственного университета путей сообщения (Россия, Самара); 443066, Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2В; тел. +7987-917-15-06.

**Artyr G. Mustafin** – Head of the Laboratory, Samara State Transport University (Russia, Samara); 2 V Svoboda str., Samara 443066, Russia; tel. +7987-917-15-06.

**Аннотация.** Рассмотрена возможность получения и формирования поверхности катания головок рельсов в технологическом процессе шлифования рельсов. Воссоздаются условия совместного взаимодействия рабочей грани головок железнодорожных рельсов с абразивным инструментом при различных условиях механической обработки в процессе шлифования. Раскрыт критерий, связывающий высокую точность формирования поверхности катания и обеспечение эффективности процесса шлифования рельсов.

**Summary.** The possibility of obtaining and forming the rolling surface of rail heads in the technological process of rail grinding is theoretically considered. The conditions of joint interaction of the working face of the heads of railway rails, with an abrasive tool, under various conditions of mechanical processing during grinding are recreated. The criterion linking the high accuracy of the surface formation and ensuring the efficiency of the rail grinding process is disclosed.

**Ключевые слова:** шлифование рельсов, модель взаимодействия, шлифовальный круг с обрабатываемой поверхностью.

**Key words:** grinding of rails, model of interaction, grinding wheel with the processed surface.

УДК 625.144

В перспективе развития железнодорожной отрасли страны всё чаще наблюдаются тенденции и пути реализации, направленные на значительное увеличение грузонапряжённости, повышение межосевых нагрузок подвижного состава, увеличение скоростей движения, массы поездов. Все эти условия в значительной мере накладывают определённые издержки на действующую ин-

инфраструктуру. Одним из решений, ориентированных на рост эксплуатационных характеристик железнодорожного пути, является усовершенствование технологий, направленных на увеличение жизненного цикла объектов инфраструктуры, в особенности рельсового хозяйства [1; 4].

Перед путевым комплексом возникает ряд проблем, заключающихся в увеличении срока эксплуатации рельсов без снижения параметров надёжности всей конструкции железнодорожного пути. Существующие технологические решения базируются на совершенствовании и разработке операций по восстановлению эксплуатационных показателей рельсов.

Железнодорожные рельсы, применяемые на железных дорогах РФ, имеют сложный рабочий профиль. Применение рабочих поверхностей рельсов сложного профиля направлено на увеличение эксплуатационных свойств рельсов. На увеличение эксплуатационных свойств рельсов значительно влияет выполнение высокой точности формы головки рельсов. При искажении формы головки рельсов увеличивается их износ, появляются трещины и изломы, которые существенно влияют на надёжность, тем самым снижается срок службы рельсов.

С целью высокоточного формообразования рабочей поверхности рельсов на стадиях текущего содержания и ремонта пути назначается механическая обработка дорожек качения специализированными комплексами и мобильными средствами.

Шлифование производится рельсошлифовальными поездами (РШП-48), которые имеют 48 абразивных кругов. Данные круги шлифуют головку рельса по многоугольнику. При этом на рабочей поверхности головки рельсов появляются грани (см. рис. 1).

Под влиянием высоких контактных напряжений в зонах соприкосновения колёс подвижного состава и рельса в местах вершин граней из-за изменений структуры металла головки происходит образование трещин, которые приводят к выкрашиванию на поверхности катания рельсов и их излому, что снижает эксплуатационные условия участков железнодорожного пути [2, 15; 3, 7].

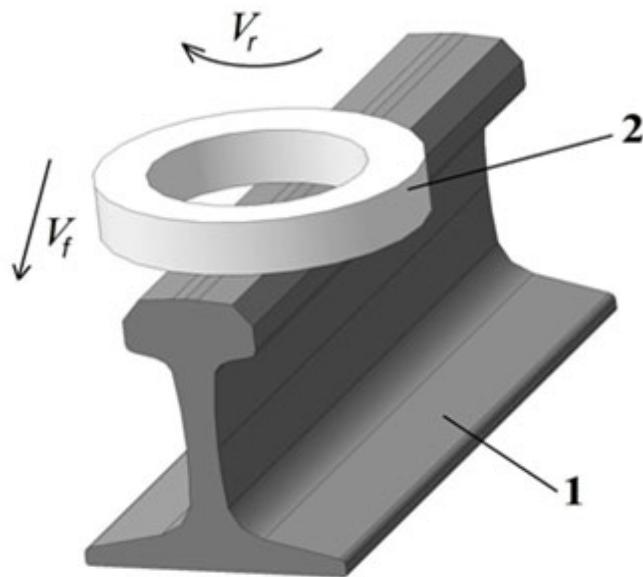


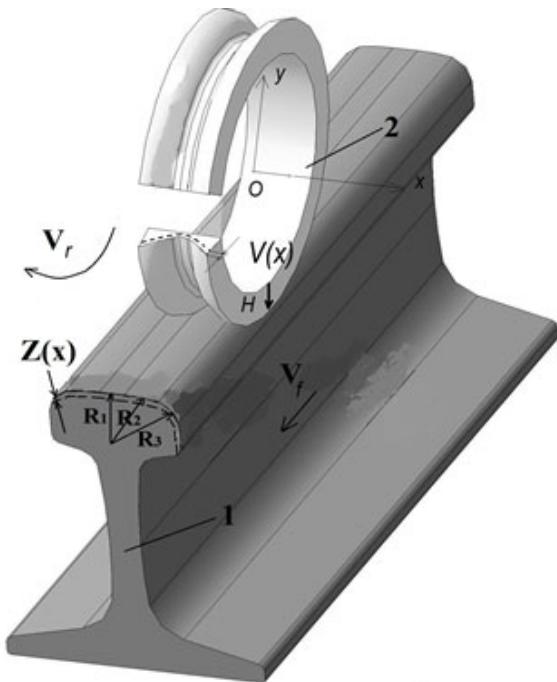
Рис. 1. Существующая схема шлифования дорожки качения и рабочей поверхности головки рельса торцом абразивного круга: 1 – рельс; 2 – шлифовальный круг

С целью повышения точности формы профильного шлифования, исключения гранёности на дорожке качения и выкружке головки рельсов предлагается обработку производить периферией абразивного круга (см. рис. 2).

Предварительно периферия абразивных кругов профилируется твёрдосплавными дисками под профиль новых рельсов или ремонтный профиль с радиусами  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  (см. рис. 3).

Отличительной характеристикой появления гранёности на рабочей поверхности головки рельсов являются различные условия взаимодействия поверхностей кругов и рельсов. Так, напри-

мер, при шлифовании рельсов периферией круга участвует в работе различное количество абразивных зёрен. Если необходимо удалить одинаковый припуск  $Z(X)$  (см. рис. 2), то на долю большего количества абразивных зёрен приходится меньший объём снимаемого металла и наоборот. В результате происходит неравномерный износ круга, который приводит к получению искажённого рабочего профиля рельсов. В связи с этим существующие технологии шлифования невозможно использовать с высокой эффективностью в условиях путевого хозяйства [4; 17].



$Z(x)$  – убираемый припуск;  $V(x)$  – радиальный износ абразивного круга;  $H$  – радиальное перемещение абразивного круга;  $V_f$  – скорость подачи абразива (скорость поезда РШП);  $V_r$  – скорость вращения абразивного круга;  $XOY$  – система координат;  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  – радиусы профиля обрабатываемого рельса

Рис. 2. Предлагаемая схема шлифования дорожки качения и рабочей поверхности головки рельса по периферии абразивного круга:  
1 – рельс; 2 – шлифовальный круг

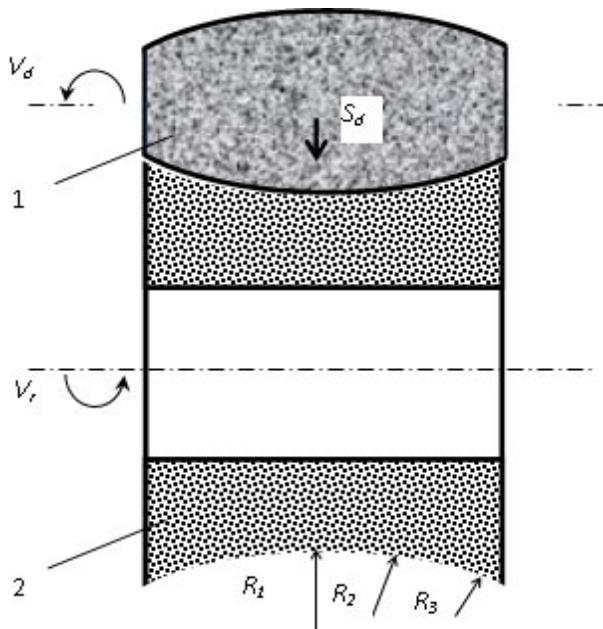
Для повышения показателей процесса шлифования выполнен теоретический анализ формообразования рабочей поверхности рельса при шлифовании периферией круга.

С этой целью предлагается рассмотреть статистическую модель, изображённую на рис. 2, описывающую технологический процесс шлифования рабочего профиля железнодорожных рельсов периферией круга. В начальном положении ось абразивного круга 2 совмещена с осью  $OX$  системы координат  $XOY$  [5, 21].

Технологический процесс шлифования описывается двумя показателями: практически убираемым припуском  $Z(X)$  и линейным радиальным износом абразивного круга  $V(X)$ , т.е.

$$H = Z(X) + V(X), \quad (1)$$

где  $H$  – радиальное перемещение круга.



$S_d$  – скорость подачи твёрдосплавного диска,  $V_d$  – скорость вращения твёрдосплавного диска

Рис. 3. Схема профилирования периферии абразивного круга твёрдосплавным диском:  
1 – абразивный круг; 2 – твёрдосплавный диск



Зависимость (1) характеризует математическую модель формообразования рабочей поверхности рельсов при шлифовании.

Представленный теоретический анализ математической модели показывает, что величина радиального перемещения круга зависит от его износа и удаляемого припуска.

Неравномерность износа периферии круга  $V(X)$  возможно описать следующим условием:

$$V(X) \neq \text{const}, X \in [0, n],$$

где  $n$  – количество поперечных сечений круга.

Несоответствие радиального износа абразивного круга  $V(X)$  влечёт за собой искажение, унаследованное после убираемого припуска  $Z(X)$  очертания рабочей поверхности железнодорожных рельсов  $\Delta X$ , но поскольку рабочая зона шлифовального круга при круглом шлифовании дублируется на обрабатываемой поверхности рельса, то величина удаляемого припуска  $Z(X)$  будет определяться по следующему выражению:

$$Z(X) = H - V(X) \neq \text{const}, X \in [0, n]. \quad (2)$$

Обеспечить высокую точность обработанной поверхности рельсов возможно в том случае, когда радиальный износ шлифовального круга будет минимальным. Потенциально создать такое условие возможно, если радиальный износ по всей рабочей поверхности абразивного круга будет равен нулю, т.е. выполнимо следующее условие:

$$V(X) = \text{const}, X \in [0, n]. \quad (3)$$

На основании представленного теоретического анализа установлено, что высокоточное формообразование поверхности катания головки рельсов при шлифовании возможно только при равномерном износе периферии абразивного круга.

Принимая во внимание такой показатель, как точность шлифования головок рельсов с равномерным износом рабочей поверхности абразивного круга, необходимым условием будет являться, чтобы режущие зёरна изнашивались равномерно. Для этого толщина слоя  $a_z$ , снимаемого одним зерном, должна быть постоянным параметром:

$$a_z(x) = \text{const}.$$

Учитывая принятый постоянный параметр, толщина слоя  $a_z(x) = \text{const}$  принимается за совокупный критерий. Следует обратить внимание на то, что обеспечение постоянства  $a_z(x) = \text{const}$  при технологии шлифования рельсов позволит выполнить условие (3), т.е. создаются условия для равномерного износа шлифовального круга. При использовании данного критерия диспергирование поверхности будет равномерным, припуск  $Z(X) = \text{const}$ , т.е. выражение (2) можно записать

$$Z(X) = H - V(X) = \text{const}, X \in [0, n].$$

В свою очередь удаляемый припуск с головки рельсов  $Z(X)$  может быть связан с толщиной слоя  $a_z(x)$ , который определится следующим образом:

$$Z(X) = \sum_{i=1}^n a_z(x) \cdot n_p,$$

где  $n_p$  – число режущих зёрен в сечении  $X$ ;  $n$  – частота вращения абразивного круга, необходимая для удаления фактического припуска  $Z(X)$ .

Теоретически обоснована и разработана аналитическая модель взаимодействия абразивного круга с обрабатываемой поверхностью головки рельсов, на основе которой выявлен критерий, показывающий процесс качественного шлифования. Этим критерием является толщина слоя  $a_z$ , снимаемого одним зерном.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Повышение эффективности привода механизма стрелочного перевода / С. Н. Иванов, К. К. Ким, М. Ю. Сарилов, М. В. Семибрата // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2019. – № IV-1 (40). – С. 46-51.
2. Рахчеев, В. Г. Осциллирующее шлифование рельсов железнодорожного пути / В. Г. Рахчеев, С. А. Галанский, И. С. Максимов // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 2 (74). – С. 46-50.
3. Рахчеев, В. Г. Повышение эффективности шлифования рельсов на основе применения модернизированных композиционных и лепестковых кругов и оптимизации системы измерения рельсошлифовального поезда / В. Г. Рахчеев, С. А. Галанский, И. С. Максимов // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 4 (70). – С. 52-58.
4. Байдакова, Н. В. О влиянии формы и зернистости абразивного зерна на эффективность шлифования / Н. В. Байдакова, С. А. Крюков // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2014: сборник статей Международной научно-технической конференции / под общ. ред. В. М. Шумячера. – Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2014. – С. 106-110.
5. Рахчеев, В. Г. Пути повышения качества шлифования рельсов железнодорожного пути / В. Г. Рахчеев, С. А. Галанский, И. С. Максимов // Наука и образование транспорту. – 2018. – № 2. – С. 164-165.
6. Автоматизированный электромеханический привод вагонных дверей / С. Н. Иванов, К. К. Ким [и др.] // Электротехника. – 2019. – № 10. – С. 11-16.



Щелкунов Е. Б., Виноградов С. В., Щелкунова М. Е., Карпенко В. А.  
E. B. Shchelkunov, S. V. Vinogradov, M. E. Shchelkunova, V. A. Karpenko

## РАБОЧИЙ ЭЛЕМЕНТ МЯГКОГО ЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА

### WORKING ELEMENT OF THE SOFT GRIPPER

**Щелкунов Евгений Борисович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: ktm@knastu.ru.

**Evgenii B. Shchelkunov** – PhD in Engineering, Associate Professor, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: ktm@knastu.ru.

**Виноградов Сергей Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности, информационных систем и физики Амурского гуманитарно-педагогического государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: sergwin72@rambler.ru.

**Sergey V. Vinogradov** – PhD in Engineering, Associate Information Security, Information Systems and Physics Department, Amur State University of Humanities and Pedagogy (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: sergwin72@rambler.ru.

**Щелкунова Марина Евгеньевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование, управление и разработка информационных систем» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kmopevm@knastu.ru.

**Marina E. Shchelkunova** – PhD in Engineering, Associate Professor, Design, Management and Development of Information Systems Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kmopevm@knastu.ru.

**Карпенко Владимир Анатольевич** – студент кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: volodya.karpenko.89@mail.ru.

**Vladimir A. Karpenko** – Student, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: volodya.karpenko.89@mail.ru.

**Аннотация.** Проведён обзор мягких захватных устройств. Представлена конструкция рабочего элемента, созданного на принципах биомеханики, который может быть использован в конструкции захватных устройств роботов для манипулирования предметами, требующими деликатного обращения. Представлены результаты испытания рабочих параметров рабочего элемента: наибольшее допускаемое давление, зависимость угла изгиба рабочего элемента от создаваемого в нём давления и максимальная грузоподъёмность при удержании.

**Summary.** A review of soft gripping devices is carried out. The article presents the design of a working element created on the principles of biomechanics, which can be used in the design of robot gripping devices for manipulating objects requiring delicate handling. The results of testing the working parameters of the working element are presented: the maximum allowable pressure, the dependence of the bending angle of the working element on the pressure generated in it and the maximum carrying capacity during holding.

**Ключевые слова:** робот, мягкая робототехника, захватное устройство, рабочий элемент, пневмопривод.

**Key words:** robot, soft robotics, gripper, working element, pneumatic drive.

УДК 621.865

**Введение.** В настоящее время к средствам автоматизации производственных процессов предъявляются высокие требования по автономности и приспособляемости к изменяющимся условиям. В связи с этим в робототехнике образовалась новая ветвь – мягкая робототехника, осно-

ванная на использовании в приводах роботов принципов биомеханики, имитирующих движения различных живых существ: тело змеи, хобот слона, щупальца осьминога или морской звезды, кисть человека и др.

Достоинствами мягких роботов являются: способность выполнять движения, недоступные традиционным потенциально жёстким роботам; возможность использования альтернативных источников движения; большая безопасность; высокая приспособляемость; простота конструкции; простота обслуживания.

Мягкие роботы находят применение в промышленном производстве, в медицине для выполнения диагностических и оперативных действий, в науке в качестве моделей живых организмов, в военном деле и др.

Для изготовления мягких роботов используют различные эластомеры (силикон, резину, желатин и др.), обладающие высокой эластичностью и прочностью на разрыв [1].

Различают полностью мягкие роботы и роботы, имеющие в конструкции как мягкие, так и жёсткие элементы (несущая конструкция, элементы управления и др.). Возможно также применение мягких элементов в конструкциях традиционных роботов.

Весьма перспективным является применение принципов биомеханики для создания мягких захватных устройств, устанавливаемых на традиционных потенциально жёстких роботах для манипулирования объектами, требующими деликатного обращения (например, в пищевой промышленности), а также объектами сложной конфигурации, неудобной для захватывания жёсткими захватными устройствами, такими как клещи, тиски и др.

В работе проведён обзор мягких захватных устройств, представлены конструкция и результаты испытания разработанного рабочего элемента (РЭ) мягкого захватного устройства робота.

**Обзор мягких захватных устройств.** Анализ литературных источников [2–14] позволил выявить следующие признаки существующих и концептуальных конструкций мягких захватных устройств:

1. Жёсткость:

- полностью мягкое захватное устройство [2; 3];
- мягкие исполнительные органы захватного устройства расположены на жёсткой основе [4];
- жёсткие элементы интегрированы в мягкую оболочку захватного устройства [5].

2. Количество исполнительных органов:

- один [6];
- несколько (два, три и более) [4; 7].

3. Количество степеней свободы:

- одна [7];
- несколько [6].

4. Форма РЭ захватного устройства:

- в виде пальца [7];
- в виде щупальца [6; 8; 9; 10];
- в виде купола [5; 11].

5. Расположение нескольких РЭ захватного устройства:

- лучами (в виде звезды с тремя, четырьмя и более лучами) [4; 12; 13];
- зеркально-симметрично [4];
- в виде антропоморфной руки [14].

6. Способ захвата объекта:

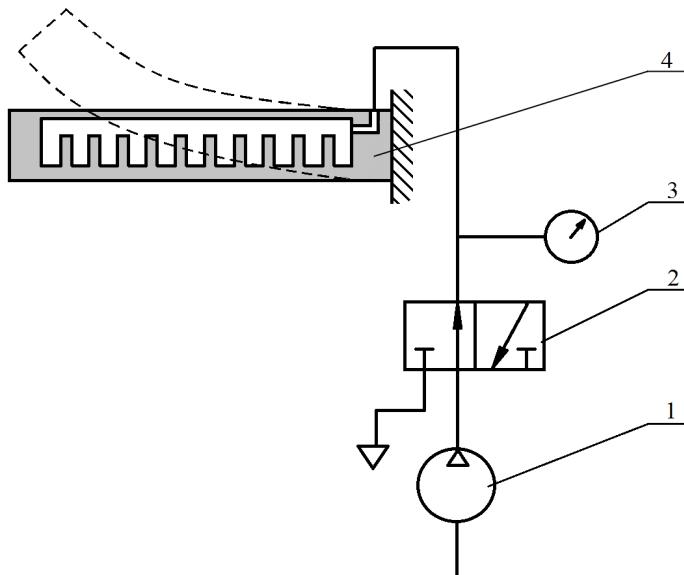
- обхватывание несколькими РЭ одновременно [7];
- обхватывание одним РЭ, имеющим форму купола [5; 11];
- обвивание одним РЭ, имеющим форму щупальца [6; 8; 9; 10].

Как правило, для мягких захватных устройств используют пневматический привод. Рабочее усилие может создаваться при нагнетании воздуха в тело РЭ захватного устройства [7] либо при откачивании воздуха [5].

**Разработка конструкции.** Для проектируемого рабочего элемента захватного устройства выбраны следующие признаки:

- жёсткость – полностью мягкий;
- количество степеней свободы – одна;
- вид применяемого привода – пневматический.

Пневматическая схема (см. рис. 1) включает пневмонасос 1, клапан 2, манометр 3 и РЭ 4.



1 – пневмонасос; 2 – клапан; 3 – манометр; 4 – рабочий элемент

Рис. 1. Пневматическая схема РЭ захватного устройства

Пневмонасос 1 служит для нагнетания воздуха в полость РЭ 4, имеющего одну степень свободы, через клапан 2. Под действием сжатого воздуха РЭ 4 изгибается и захватывает объект манипулирования. Давление в полости контролируется с помощью манометра 3, при необходимости снижение давления осуществляется с помощью клапана 2, через который воздух выпускается в атмосферу.

В качестве материала РЭ выбран двухкомпонентный силикон Artline Silicone Rubber Platinum, обладающий большой эластичностью и прочностью (см. табл. 1).

Таблица 1  
Характеристика материала Artline Silicone Rubber Platinum

Параметр	Значение
Основа	Платина
Цвет	Полупрозрачный
Вязкость по Брукфильду при 25 °C, сП	250
Диапазон температур, °C	от -50 до +250
Полное отверждение при 23 °C, ч	16

На рис. 2 показано устройство РЭ, представляющее собой герметичную камеру, состоящую из корпуса 1, разделённого перегородками 2 на отсеки, соединённые между собой каналом, верхней стенки 3 и патрубка 5. Верхняя стенка 3 гладкая, армирована льняной тканью 4, что исключает её растяжение при создании давления внутри камеры. Воздух подаётся в камеру через воздушный шланг, подсоединённый к патрубку 5. Под давлением сжатого воздуха эластичные

стенки корпуса 1 вытягиваются, заставляя верхнюю менее эластичную стенку 3 изгибаться. Внешняя поверхность верхней стенки 3 является рабочей.

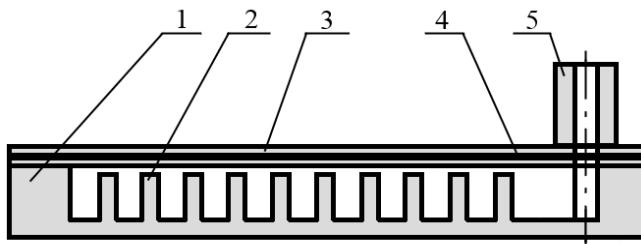


Рис. 2. Устройство РЭ: 1 – корпус; 2 – перегородки; 3 – верхняя стенка;  
4 – армирующий слой; 5 – патрубок

При проектировании РЭ использована система автоматизированного проектирования КОМПАС-3Д v17 ( $\times 64$ ).

На рис. 3 представлены 3D-модели корпуса и верхней стенки рабочего элемента. Воздушные отсеки 1 располагаются в два ряда симметрично относительно центрального воздушного канала 2. Толщина стенок и перегородок составляет 3 мм. Объём и количество камер подобраны так, чтобы обеспечить равномерный плавный изгиб РЭ при создании в нём воздушного давления. Толщина верхней стенки 6 мм.

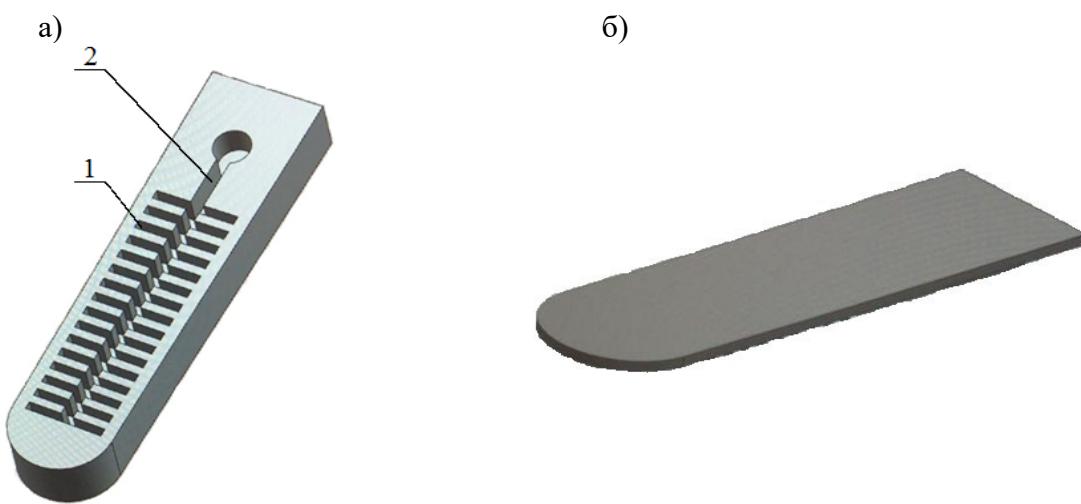


Рис. 3. 3D-модели корпуса (а) и верхней стенки (б) РЭ захватного устройства:  
1 – воздушные отсеки; 2 – центральный воздушный канал

**Изготовление опытного образца.** При изготовлении корпуса жидкий силикон заливался в форму, изготовленную методом 3D-печати (см. рис. 4, а). В форме силикон высушивался в течение 16 ч при комнатной температуре. Сборка пальца производилась путём склеивания деталей силиконом. После застывания силикона сборная конструкция для достижения высоких механических свойств выдерживалась в течение 2 ч при температуре 80 °C, а затем ещё 1 ч при температуре 100 °C.

На рис. 4, б, в, г представлены фотографии деталей РЭ, изготовленные из силикона Artline Silicone Rubber Platinum: корпус, верхняя стенка, патрубок.

На рис. 5, а представлена установка для испытания изготовленного РЭ 4 захватного устройства. В качестве системы подачи воздуха и контроля давления выбрана система нагнетания

воздуха медицинского тонометра, состоящая из насоса 1, клапана сброса 2, шлангов 3 и манометра 5 (погрешность измерения  $\pm 3$  мм рт. ст.).

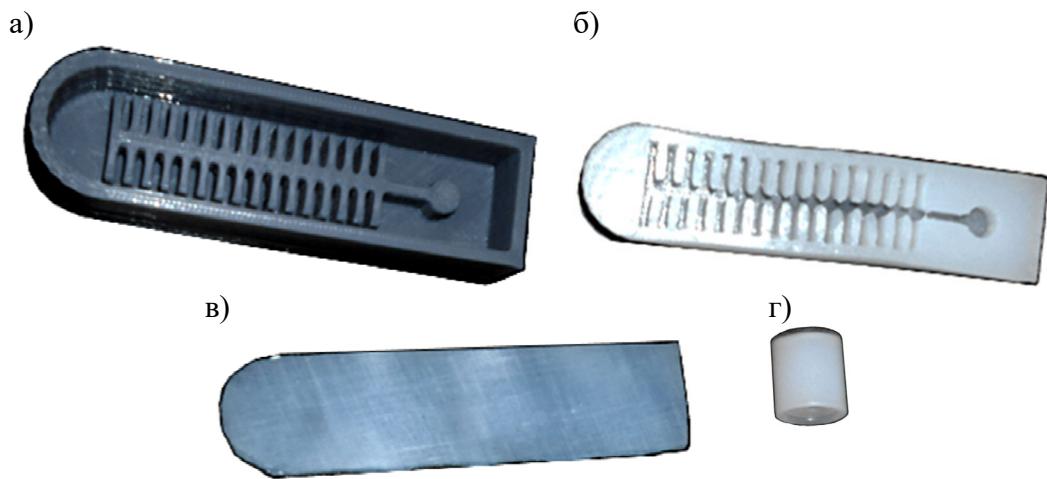


Рис. 4. Форма для отливки и детали РЭ:  
а – форма для отливки; б – корпус РЭ; в – верхняя стенка; г – патрубок

При подаче воздуха от пневмонасоса давление во внутренних отсеках РЭ повышается, вследствие чего он изгибается так, чтобы обеспечить обхват (подхват) и удержание объекта манипулирования (см. рис. 5, б).

**Испытание рабочего элемента.** В процессе испытания определялись наибольшее допускаемое давление, зависимость угла изгиба рабочего элемента от создаваемого в нём давления и максимальная грузоподъёмность при удержании.

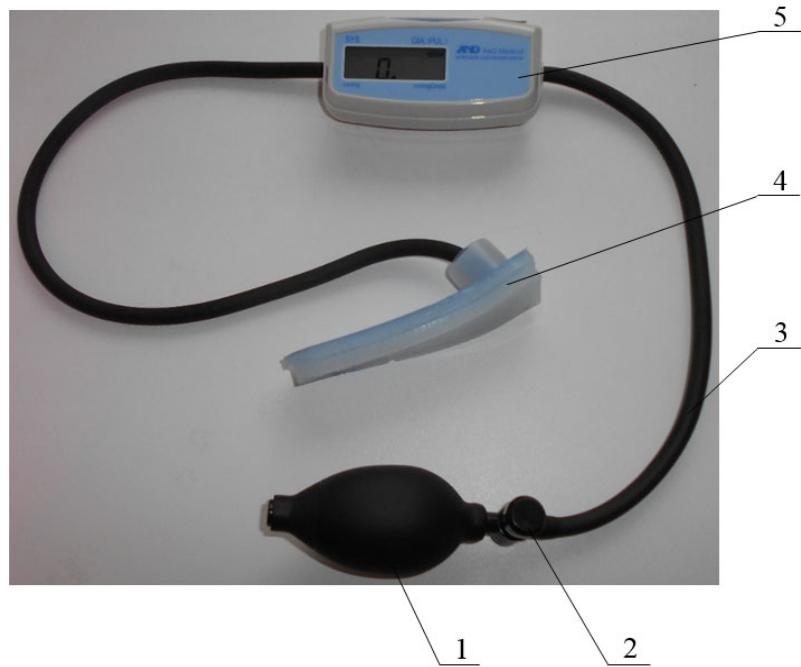
Значение наибольшего допускаемого давления в РЭ принято 170 мм рт. ст. (22,61 кПа). До этого значения наблюдался равномерный изгиб РЭ и равномерное расширение по всей рабочей длине (см. рис. 5, б).

Для определения зависимости угла изгиба рабочего элемента от создаваемого в нём давления в полость РЭ подавался воздух до создания заданного давления, после чего воздушный шланг пережимался для предотвращения стравливания воздуха через штатный клапан сброса системы подачи воздуха. После этого дуга, сформированная рабочей поверхностью РЭ в деформированном состоянии, переносилась на бумагу. Величина изгиба определялась по центральному углу  $\beta$  сектора, формируемого двумя радиусами 2 и 3 и дугой 1, образованной изогнутой рабочей поверхностью (см. рис. 6).

На рис. 7 представлена зависимость угла  $\beta$  изгиба РЭ от создаваемого в нём давления. Видно, что наибольший угол изгиба, соответствующий наибольшему допускаемому давлению, составляет  $120^\circ$ .

Максимальная грузоподъёмность при удержании объектов определялась путём подвешивания на РЭ, изогнутый под давлением 170 мм рт. ст., грузов до тех пор, пока не происходило его разгибание и груз не соскальзывал. Наибольшая масса удерживаемого груза составила 0,410 кг, что в 12 раз превышает вес самого устройства.

а)



б)



Рис. 5. Экспериментальный образец РЭ:

1 – насос; 2 – клапан сброса; 3 – шланг; 4 – рабочий элемент захватного устройства; 5 – манометр

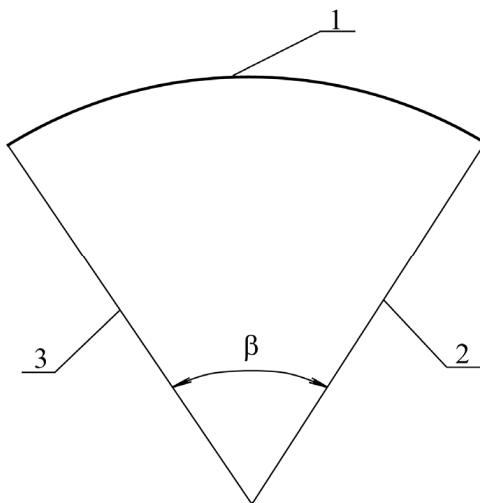


Рис. 6. Схема для определения изгиба РЭ:

1 – изогнутая рабочая поверхность; 2, 3 – радиусы

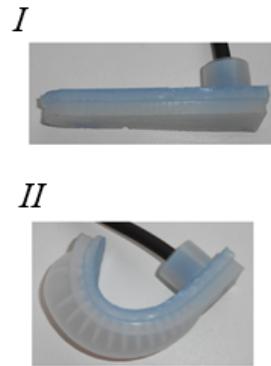
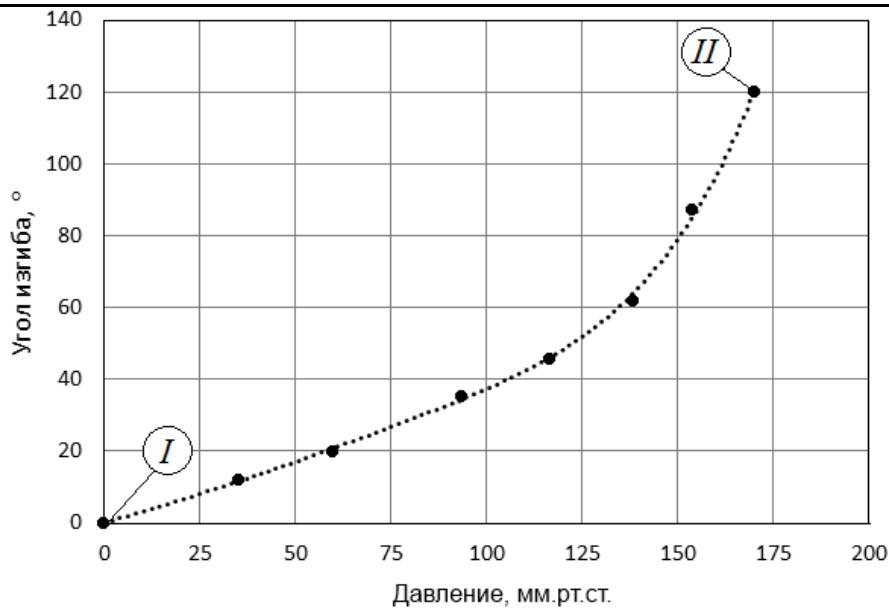


Рис. 7. Зависимость угла изгиба РЭ от давления в нём

По результатам испытания составлена техническая характеристика РЭ (см. табл. 2).

Таблица 2  
Техническая характеристика РЭ

Таблица 2

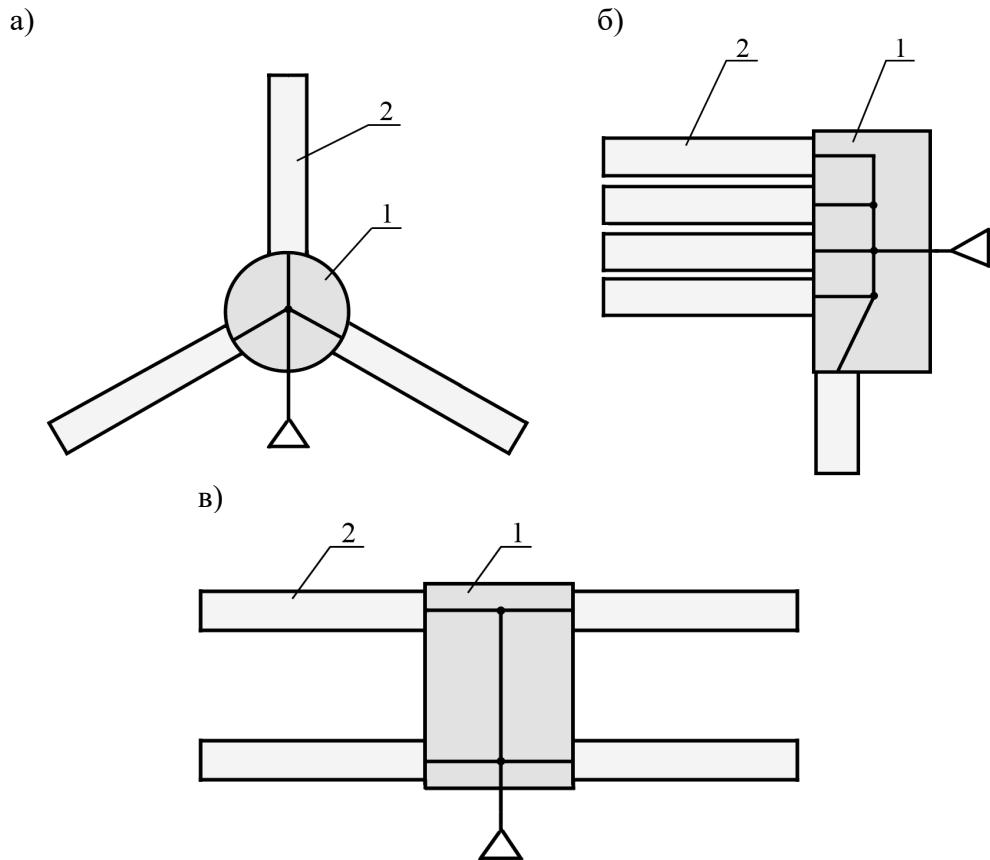
Параметр	Значение
Материал	Artline Silicone Rubber Platinum
Наибольшее допустимое давление, мм рт. ст./кПа	170/22,61
Наибольший угол изгиба, град.	120
Максимальная грузоподъёмность при удержании, кг	0,410
Длина, мм	110
Ширина, мм	30
Высота, мм	38
Масса, кг	0,034

Результаты испытаний показали, что представленный РЭ обладает достаточно высокой грузоподъёмностью и эластичностью и может быть использован в захватных устройствах роботов. На рис. 8 представлены возможные варианты размещения РЭ на корпусе захватного устройства: в виде звезды с тремя лучами; в виде пятипалой антропоморфной руки; в виде устройства с четырьмя пальцами, установленными попарно. Благодаря высокой эластичности РЭ могут адаптироваться (приспособливаться) к форме и размерам захватываемых предметов.

**Заключение.** В работе проведён обзор мягких захватных устройств роботов.

Представлена разработанная конструкция биомеханического рабочего элемента захватного устройства, изготовленного из силикона на платиновой основе.

Проведено испытание рабочих параметров изготовленного рабочего элемента: наибольшее допускаемое давление, зависимость угла изгиба рабочего элемента от создаваемого в нём давления и максимальная грузоподъёмность при удержании.



1 – корпус захватного устройства; 2 – рабочий элемент

Рис. 8. Варианты размещения рабочих элементов в захватном устройстве:  
 а – в виде звезды с тремя лучами; б – в виде пятипалой антропоморфной руки; в – в виде устройства с четырьмя пальцами, установленными попарно

В результате проведённых испытаний установлено, что рабочий элемент данной конструкции обладает достаточно высокой грузоподъёмностью и эластичностью и, следовательно, может быть использован в захватных устройствах роботов.

Объединение нескольких подобных устройств позволяет создавать (в зависимости от их количества и расположения) захватные устройства в виде звезды, антропоморфной руки и др.

## ЛИТЕРАТУРА

- Петров, М. Р. Определение диаграммы растяжения трубчатого стержня из гиперэластичного материала / М. Р. Петров, А. Н. Петрова, С. Ф. Хакимов // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2018. – № II-1 (34). – С. 29-34.
- BioMiC [Электронный ресурс] // Robotics Equipment Corporation. – Режим доступа: <http://servicerobotics.eu/en/biomic/> (дата обращения: 18.10.2020).
- A soft, bistable valve for autonomous control of soft actuators [Электронный ресурс] / Philipp Rothemund, Alar Ainla, Lee Belding, Daniel J. Preston, Sarah Kurihara, Zhigang Suo, George M. Whitesides. SCIENCE ROBOTICS 21 MAR 2018. – Режим доступа: <https://robotics.sciencemag.org/content/3/16/eaar7986> (дата обращения: 12.01.2021).
- SoftGripping [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании Soft Gripping. – Берлин, 2020 – . – Режим доступа: <https://soft-gripping.com> (дата обращения: 07.10.2020).
- Барский, Р. «Аккуратный» робот. Новый мягкий и прочный захватывающий механизм [Электронный ресурс] / Р. Барский // Наука и техника. Роботы и дроны. – 2019. – . – Режим доступа: <https://naukatehnika.com/akkuratnyj-robot.html> (дата обращения 07.10.2020).



6. Hannan M. W., Walker I. D. Kinematics and the implementation of an elephant's trunk manipulator and other continuum style robots. *J Robot Syst.* 2003 Feb; 20(2):45-63. doi: 10.1002/rob.10070. PMID: 14983840.
7. Shintake J., Sonar H., Piskarev E., Paik J., & Floreano D. (2017). Soft pneumatic gelatin actuator for edible robotics. 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 6221-6226.
8. Hoang T. T., Phan P. T., Thai M. T., Lovell N. H., Do T. N., Bio-Inspired Conformable and Helical Soft Fabric Gripper with Variable Stiffness and Touch Sensing. *Adv. Mater. Technol.* 2020, 5, 2000724. – URL: <https://doi.org/10.1002/admt.202000724>.
9. Baumgartner, M., Hartmann, F., Drack, M. et al. Resilient yet entirely degradable gelatin-based biogels for soft robots and electronics. *Nat. Mater.* 19, 1102–1109 (2020). – URL: <https://doi.org/10.1038/s41563-020-0699-3>.
10. Yang, Jingzhou & Peña-Pitarch, Esteban & Potratz, Jason & Beck, Steven & Abdel-Malek, Karim. (2006). Synthesis and analysis of a flexible elephant trunk robot. *Advanced Robotics.* 20. 631-659. 10.1163/156855306777361631.
11. Soft Gripper – Flexible Food-Grade Robot Gripper [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании On robot. – URL: <https://onrobot.com/en/products/soft-gripper> (дата обращения: 11.01.2021).
12. Phillips B. T., Becker K. P., Kurumaya S. et al. A Dexterous, Glove-Based Teleoperable Low-Power Soft Robotic Arm for Delicate Deep-Sea Biological Exploration. *Sci Rep* 8, 14779 (2018). – URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33138-y>.
13. Autonomic perspiration in 3D-printed hydrogel actuators. By Anand K. Mishra, Thomas J. Wallin, Wenyang Pan, atricia Xu, Kaiyang Wang, Emmanuel P. Giannelis, Barbara Mazzolai, Robert F. Shepherd SCIENCE ROBOTICS29 JAN 2020.
14. Xiaomin Liu, Yunwei Zhao, Dexu Geng, Shoue Chen, Xiaobo Tan, and Changyong Cao. Soft Humanoid Hands with Large Grasping Force Enabled by Flexible Hybrid Pneumatic Actuators // *Soft Robotics.* – 2020. – Vol. 8. – URL: <http://doi.org/10.1089/soro.2020.0001>.

# НАУКИ О ЗЕМЛЕ И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕНДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

## EARTH SCIENCES AND LIFE SAFETY

**Младова Т. А., Муллер Н. В.**  
**T. A. Mladova, N. V. Muller**

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРАНИЦ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА КОМСОМОЛЬСКА-НА-АМУРЕ**

### **FORECASTING THE BOUNDARIES OF FLOOD ZONES IN THE TERRITORY OF KOMSOMOLSK-ON-AMUR**

**Младова Татьяна Александровна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Кадастры и техносферная безопасность» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: vip.mladova@mail.ru.

**Tatyana A. Mladova** – PhD in Engineering, Associate Professor, Cadastre and Technosphere Security Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: vip.mladova@mail.ru.

**Муллер Нина Васильевна** – кандидат технических наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой «Кадастры и техносферная безопасность» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: only\_nina@mail.ru.

**Nina V. Muller** – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Cadastre and Technosphere Security, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). Email: only\_nina@mail.ru.

**Аннотация.** В статье определены границы зон затопления на территории г. Комсомольска-на-Амуре, приведены сведения о максимальных годовых (открытого русла) расходах воды заданной обеспеченности. Расчёты обеспеченности наивысших уровней воды заключались в следующем: в соответствии с максимальным расходом воды строятся корреляционные кривые обеспеченности, по расчётной кривой устанавливается расход воды и формируется соотношение расходов и уровней воды, соответствующее современным гидроморфологическим условиям. Верх кривой уточнялся расходами воды, измеренными в период прохождения экстремального паводка 2013 г.

**Summary.** The article defines the boundaries of flood zones on the territory of Komsomolsk-on-Amur and provides information about the maximum annual (open channel) water consumption of a given security. Calculations of the security of the highest water levels were as follows: in accordance with the maximum water consumption, correlation curves of security are constructed, the calculated curve is used to determine the water consumption and form the ratio of expenses and water levels corresponding to modern hydro-morphological conditions. The top of the curve was specified by water flow rates measured during the extreme flood of 2013.

**Ключевые слова:** зоны затопления, устье, расход воды, гидрологический пост, половодье, открытое русло, дамба.

**Key words:** flood zones, estuary, water flow, hydrological post, flood, open channel, dam.

УДК 539.3

В представленной статье в соответствии с техническим отчётом «Материалы для определения границ зон затопления на территории г. Комсомольска-на-Амуре» приведены сведения о максимальных годовых (открытого русла) расходах воды заданной обеспеченности 0,1, 0,5, 1, 3, 5, 10, 20 % и соответствующие им уровни воды по реке Амур у города Комсомольска, а также приведены сведения о максимальных уровнях воды 1, 3, 5, 10, 25, 50 % обеспеченности по реке Амур в створах озера Мылки, районе устья реки Силинки, посёлка Победа, посёлка им. Д. И. Менделеева.

Экспериментальная наука вместо непосредственного изучения реальных процессов и объектов часто переходит к компьютерным экспериментам, моделированию ввиду отсутствия денег на оборудование, приборы, материалы [2]. В статье представлена работа, исследование параметров которой опирается на действительные данные.

Расчёты обеспеченности наивысших уровней воды заключались в следующем (см. рис. 1).

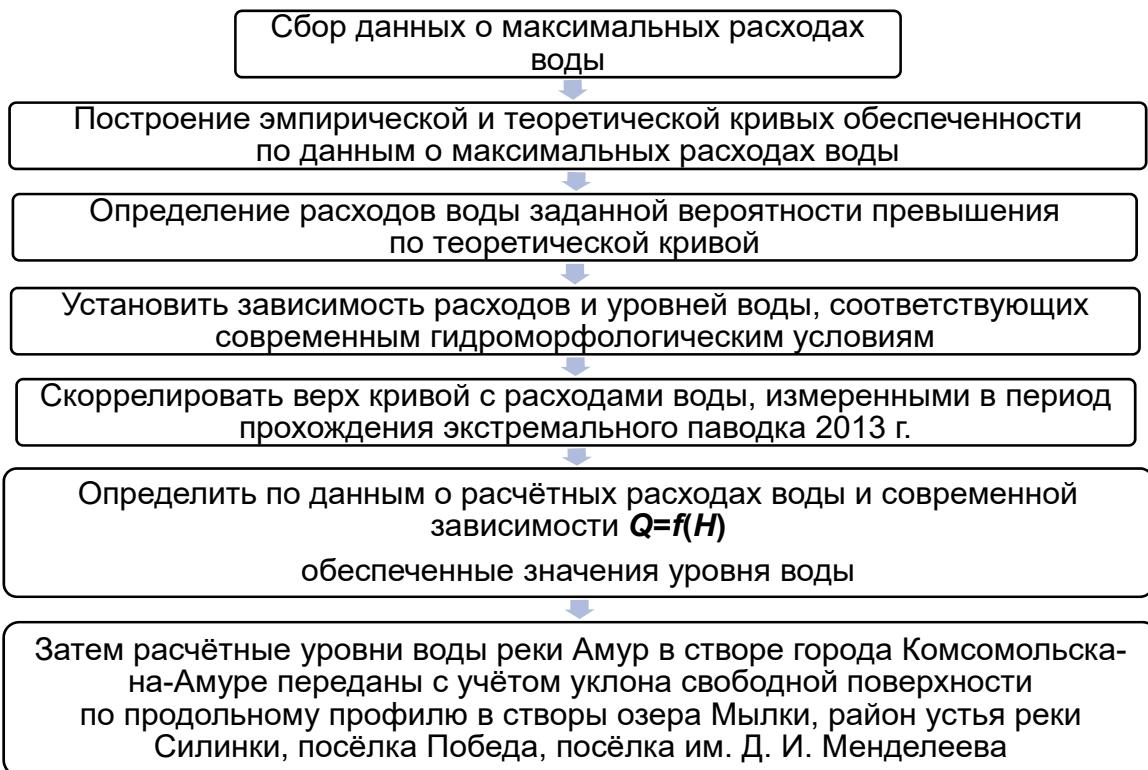


Рис. 1. Этапы расчётов наивысших уровней воды

Была проведена экспертиза уровней воды реки Амур обеспеченностью 1, 3, 5, 10, 25, 50 % реки Амур в створах района озера Мылки, района устья реки Силинки, посёлка Победа, посёлка им. Д. И. Менделеева, рекомендуемых в качестве расчётных для определения границ затопления.

В статье представлены гидрологические данные, предоставленные «Дальневосточным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ДВ УГМС) в 2013 г.

Полученные результаты расчёта максимальных уровней воды хорошо согласуются с расчётными максимальными уровнями, приведёнными в письмах ДВ УГМС за № 13.4-07/1270 от 08 октября 2013 г. и № 13.4-07/1796 от 26 декабря 2013 г. для рассматриваемого участка реки Амур.

**Гидрологическая изученность.** В гидрологическом отношении Нижний Амур является достаточно изученной рекой. Перечень стационарных гидрологических постов «Дальневосточного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ДВ УГМС) приводится на рис. 2.

Ближайшим действующим гидропостом, на котором ДВ УГМС проводит многолетние наблюдения за уровнями и стоком воды, является река Амур – город Комсомольск, расположенный на левом берегу реки Амур, на 567 км судового хода (см. прим. 1). Для получения уровенных характеристик реки этот пост принят в качестве опорного.

Для анализа гидрологического режима в районе изысканий также были использованы следующие материалы прошлых лет:

– Гидрологические условия р. Амур на участке от устья р. Буреи до г. Комсомольска-на-Амуре, арх. № 716, 2007 г.

– Реконструкция причальных сооружений, акватории затона РОП и водных подходов к ним в г. Комсомольске-на-Амуре, арх. № 1341, 2010 г.

– Оценка изменений русла реки Амур в результате прохождения экстремального паводка 2013 г., арх. № 2689.

– Оценка изменений русла реки Амур в результате прохождения экстремального паводка 2013 г., разработка и внедрение имитационной математической модели реки Амур с целью подготовки рекомендаций по комплексу защитных и руслоформирующих мероприятий на прибрежной территории Российской Федерации.

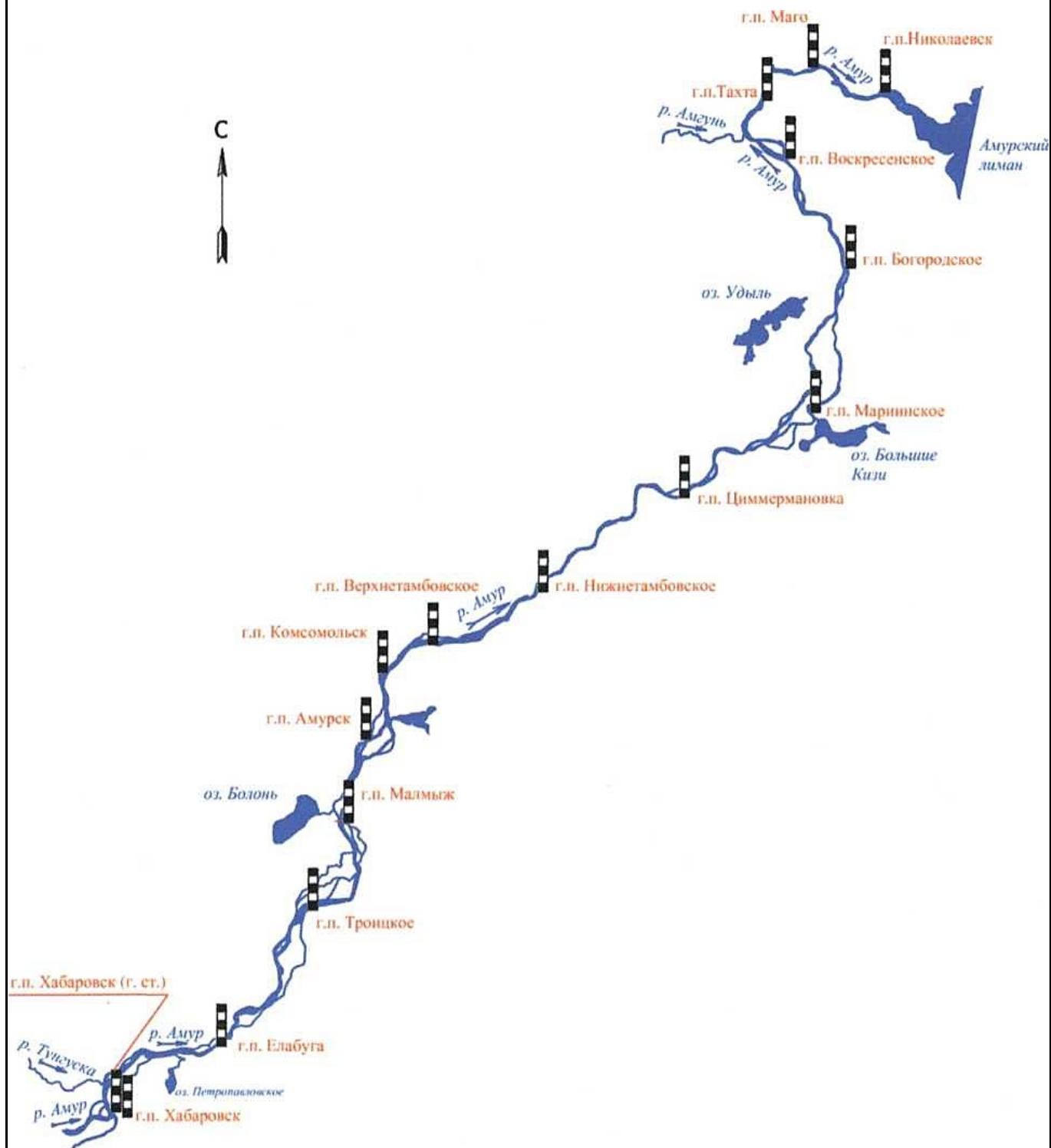


Рис. 2. Схема гидрологической изученности Нижнего Амура

**Положение территории реки Амур.** Река Амур является одной из крупнейших рек мира – средний годовой расход в устье составляет  $10\ 800\ м^3/с$ . Амур образуется слиянием рек Шилки и Аргуни, впадает через Амурский лиман и Сахалинский залив в Охотское море. Длина реки равна 2824 км, от истока Аргуни – 4440 км. По площади водосборного бассейна среди рек России Амур занимает четвёртое место с  $1855\ km^2$ , при этом 1003 тыс.  $km^2$  приходится на Российскую Федерацию, 820 тыс.  $km^2$  – на КНР и 32 тыс.  $km^2$  – на Монголию.

Река Сунгари является самым крупным притоком Амура. Её бассейн, целиком расположенный в КНР, имеет площадь около 524 тыс.  $km^2$ . Протяжённость реки – около 2000 км, а среднегодовой расход воды в устье –  $2470\ m^3/s$ . Водосборная площадь самого крупного левобережного притока Амура – Зеи – составляет 233 тыс.  $km^2$ , длина реки – 1242 км и среднегодовой расход в устье –  $1910\ m^3/s$ . Бассейн Буреи занимает 70,7 тыс.  $km^2$ , длина реки – 623 км, среднегодовой расход в устье около  $890\ m^3/s$ . Река Уссури является пограничным с КНР правобережным притоком Амура, площадь её водосборного бассейна составляет 193 тыс.  $km^2$ , длина реки – 897 км, среднегодовой расход в 147 км от устья –  $1150\ m^3/s$ .

Долина реки Амур на рассматриваемом участке трапецидальная, шириной 7-10 км. Прилегающая к долине местность холмистая, заросла смешанным лесом. На левом склоне долины в пределах большей части рассматриваемого участка прослеживается незатопляемая надпойменная терраса. Ширина этой террасы достигает 5-7 км, на ней расположен г. Комсомольск-на-Амуре. Правый склон долины – крутой, высота его достигает 200-250 м.

Река имеет левобережную пойму только в самой верхней части рассматриваемого участка. На этой пойме, заросшей кустарником и местами сильно заболоченной, расположено оз. Мылки.

Русло реки довольно извилистое. В верхней по течению части участка река течёт с юга на север. В районе 574-571 км русло делает крутой поворот, меняя своё направление с северного на северо-восточное. Ниже по течению г. Комсомольска-на-Амуре (550-449 км) река поворачивает на восток. В пределах всего рассматриваемого участка р. Амур течёт непосредственно вдоль правого высокого коренного склона долины (см. рис. 3).



Рис. 3. Правый коренной берег р. Амура в районе г. Комсомольска-на-Амуре, август 2014 г.

Левый берег в верхней части рассматриваемого участка пологий, низкий. Далее, ниже по течению, где чётко прослеживается надпойменная терраса, его высота увеличивается до 8-10 м над меженными уровнями воды. В черте города левый берег местами спланирован и укреплён бетонными плитами и камнем.

В левобережной части русла расположен обширный песчаный осерёдок (о. Комсомольский), разделяющий русло на два судоходных рукава. Длина острова при меженных уровнях достигает 4,5-5,0 км, а наибольшая ширина около 1,0-1,2 км. Приверх острова имеет хорошо выраженную и интенсивно разрушающуюся обрывистую бровку. В настоящее время наиболее возвышенная центральная его часть полностью заросла густым кустарником и лиственными деревьями (см. рис. 4, 5).



Рис. 4. Приверх о. Комсомольского, р. Амур, август 2014 г.

Мылки – пойменное озеро с площадью зеркала при среднемноголетнем уровне воды около  $12 \text{ км}^2$  и площадью водосбора равной  $71,9 \text{ км}^2$ . Форма озера вытянутая, дно относительно плоское, сложено песком, глиной и галечником. С левым рукавом Амура акватория озера соединяется узкой и короткой Мылкинской протокой. В засушливые годы озеро Мылки сильно пересыхает и представляет собой цепочку небольших водоёмов. Берега озера пологие, низкие, заросшие болотной растительностью и густым кустарником. Сложенены берега песками и суглинками, частично покрытыми с поверхности органическими отложениями.



Рис. 5. Левый берег о. Комсомольского со стороны основного русла Амура, август 2014 г.

На западной окраине г. Комсомольска-на-Амуре в озеро впадает река Большой Хапсоль. По своему характеру, особенно в верхнем и среднем течении, река близка к горному типу: значительные уклоны и скорости течения с резкими пульсациями по вертикали, сильная орографическая извилистость русла. Длина реки около 11 км. Площадь водосбора  $22,6 \text{ км}^2$ . Ширина её на устьевом

участке при меженных уровнях воды не превышает 8-10 м, местами увеличиваясь до 20 м. Глубины в русле изменяются от 0,3-0,5 м на перекатах до 1,0-1,2 м на плесовых участках.

Уклоны на устьевом участке уполаживаются и скорости течения уменьшаются. По измерениям на подъёме весеннего половодья, поверхностные скорости течения на стрежне реки изменились в пределах 0,5-1,1 м/с. Берега реки устойчивые, береговые склоны хорошо задернованы и частично заросли кустарником. Дно каменистое (см. рис. 6)



Рис. 6. Река Большой Хапсоль ниже Хумминского шоссе, апрель 2015 г.

Существующая перед посёлком Мылки дамба была возведена в начале 2000-х гг., она отделяет озеро Мылки от болотистой низменности, расположенной в непосредственной близости от территории центрального района города (см. рис. 7).



Рис. 7. Заболоченная местность, прилегающая к озеру Мылки, апрель 2015 г.

Во время паводков воды Амура заходили в озеро, резко поднимая его уровень, и болотистая низина заполнялась водой, при этом расположенная рядом городская территория (посёлок Мылки)

подтапливался. Для предотвращения подтопления жилых районов была отсыпана защитная дамба из местного песчаного и суглинистого грунта протяжённостью около 4,8 км (см. рис. 8).



Рис. 8. Укрепление внешнего откоса существующей защитной дамбы мешками с песком, сентябрь 2013 г.

Во время катастрофического паводка 2013 г. поднявшаяся вода Амура затопила территории с внешней стороны дамбы и поднялась до уровня верха существующей защитной дамбы. Для предотвращения перелива воды через гребень и разрушения дамбы были предприняты экстренные меры по укреплению дамбы и поднятию отметки верха её гребня.

Для укрепления внешней стороны гребня существующей дамбы на внешний откос в несколько рядов были уложены мешки с песком. Отсыпка дамбы продолжилась грунтом с обломками скальных пород (см. рис. 8).

Во время шквалистых порывов ветра высота волн около дамбы доходила до метра, и на некоторых участках начался перелив через гребень дамбы, сопровождающийся разрушением верхней части тела дамбы на участках протяжённостью до 100-150 м. Благодаря оперативным действиям разрушение дамбы удавалось предотвратить – образовывающиеся в теле дамбы прораны закладывались мешками с песком. Одновременно с этим происходила откачка воды с внутренней стороны дамбы насосами.

**Режим уровней воды.** Гидрологический режим рек Дальнего Востока характеризуется высокими дождевыми паводками в июле и августе, которые по своей водности значительно превышают пики весеннего половодья. Дождевое питание по бассейну Среднего Амура в среднем составляет 50-70 % общего годового стока, снеговое – 10-20 %, грунтовое – 10-30 %.

Для характеристики режима уровней воды реки Амур в районе проектируемых гидротехнических сооружений использованы многолетние наблюдения ДВ УГМС на ближайшем к участку работ гидрологическом посту р. Амур – г. Комсомольск, проработки ЗАО «Ленгипроречтранс» прошлых лет и материалы инженерных изысканий, выполненных ЗАО «Ленгипроречтранс» в 2015 г., кроме того, использовались проработки Росгидромета по оценке экстремального паводка 2013 года на р. Амур.

Гидрологический пост р. Амур – г. Комсомольск расположен на левом берегу реки, на 567 км судового хода. Уровни по опорному посту Комсомольск приводятся над нулём поста, отметка которого в системе высот БС 77 равна 12,93 м.

Графики годового хода уровней воды за характерные годы по гидрологическому посту р. Амур – г. Комсомольск показаны на рис. 9. Весеннее половодье, обусловленное таянием снежного покрова, в общем годовом ходе уровней воды выражено довольно слабо. Весенний подъём уровней начинается в конце марта – начале апреля, примерно за 20-25 дней до вскрытия реки.

Весенний ледоход в подавляющем числе случаев проходит в условиях подъёма уровней. Максимальные значения уровней воды весеннего ледохода за рассматриваемый период времени

(1984-2014 гг.) изменялись от 4,01 до 0,67 м и наблюдались с 20 апреля по 7 мая. Средняя дата наступления максимальных уровней весеннего ледохода приходится на 30 апреля при значении уровня, равном 2,1 м.

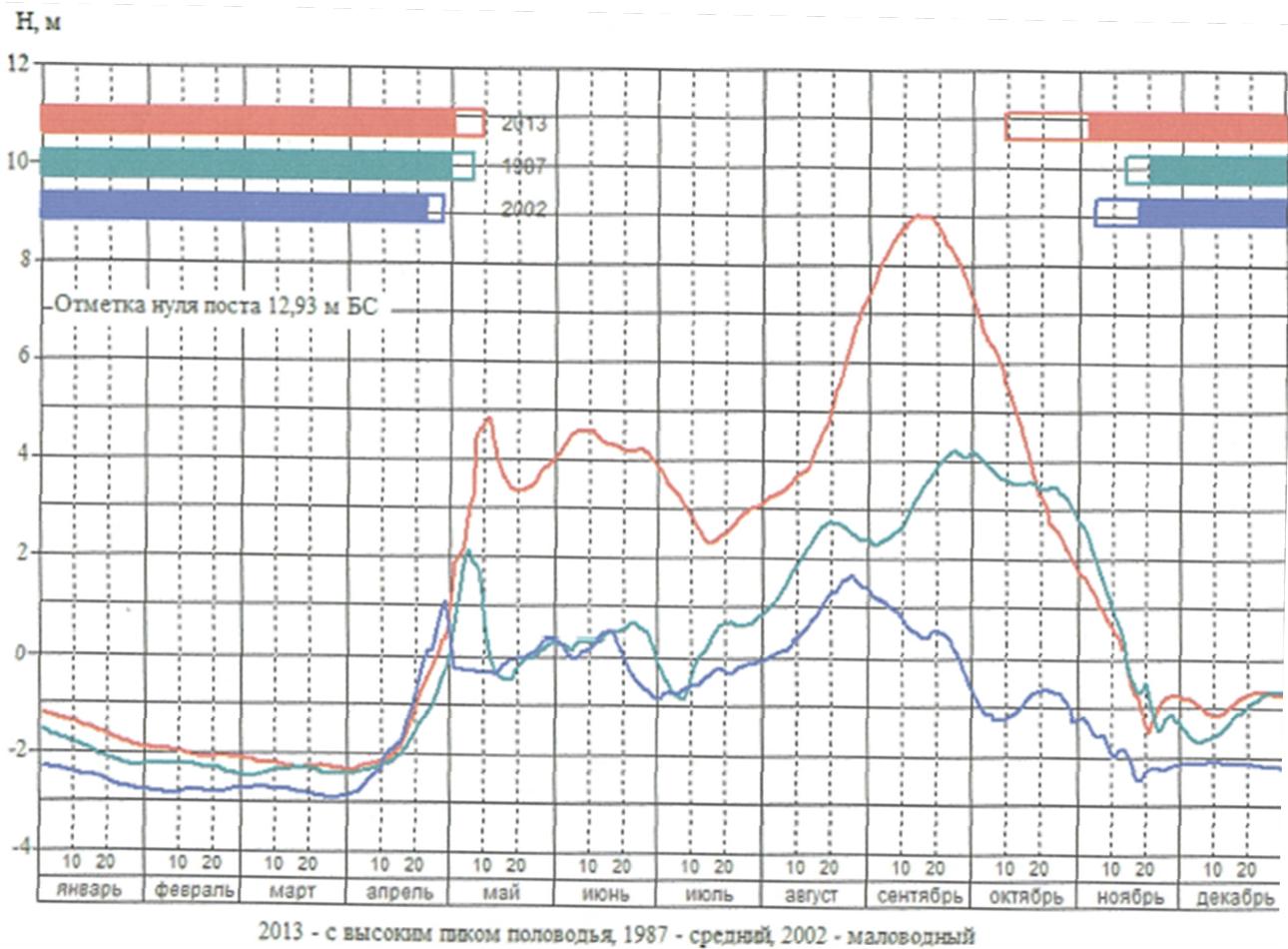


Рис. 9. Годовой ход уровней воды

Пик весеннего половодья может наблюдаться в период весенних ледовых явлений и в начале периода открытого русла. В среднем максимальные уровни весеннего половодья на 1,5-2,0 м ниже максимальных уровней открытого русла, наблюдавшихся при прохождении мощных дождевых паводков. Средняя дата наступления годового максимума приходится на 27 августа. Ранняя и поздняя даты приходятся соответственно на 1 мая и 4 октября. Наивысший уровень воды за весь период наблюдений зафиксирован в период паводка 2013 г. и составил 9,12 м над нулем гидрологического поста р. Амур – г. Комсомольск.

Минимальные навигационные уровни за многолетие на Нижнем Амуре могут наблюдаться практически в течение всего периода открытого русла (с апреля по ноябрь). Чаще всего они отмечаются в начале периода – в мае – после прохождения весеннего ледохода, а также в конце навигации, в последней декаде октября – в первой половине ноября.

Осенний ледоход проходит при относительно низких уровнях воды. Средняя дата наступления минимальных осенних уровней приходится на 17 ноября при среднем значении уровня, равном -1,5 м.

Установление ледового покрова по всему рассматриваемому участку сопровождается резким подъёмом уровней воды на 0,5-1,0 м. После этого вплоть до третьей декады марта происходит постепенное снижение уровней до минимальных годовых значений. Средний минимальный зим-

ний уровень составляет  $-1,29$  м и наблюдается в большинстве случаев в марте. Наименьшее многолетнее значение зимнего уровня воды было отмечено в марте 2002 г. и составило  $-2,90$  м.

В июле-сентябре 2013 г. на территории пяти субъектов Российской Федерации имело место катастрофическое наводнение (дождевое половодье), которое охватило почти полностью бассейн Амура и частично бассейн р. Колымы. Наводнение было вызвано большим количеством дождевых осадков, выпадавших начиная с третьей декады июля и практически весь август. На многих водомерных постах был превышен исторический максимум расходов и уровней воды (максимальное значение за весь период наблюдений). Катастрофический паводок носил сложный характер. На первую волну наводнения, сформировавшуюся на Среднем Амуре, наложилась волна паводочного стока, сформировавшаяся в бассейнах рек Сунгари (КНР) и Уссури, что привело к серьёзному осложнению паводочной ситуации на р. Амур в районе г. Хабаровска и ниже по течению, включая г. Комсомольск-на-Амуре.

Характеристика максимальных годовых уровней воды (открытого русла) приводится на основе работы «Оценка изменений русла реки Амур в результате прохождения экстремального паводка 2013 года...» выполненной под руководством ИВП РАН широким кругом научно-исследовательских и проектных институтов. В рамках данной работы были проанализированы максимальные расходы воды с 1932 г. на гидрологическом посту р. Амур – г. Комсомольск и определены их обеспеченные значения [1]. Рассматриваемая задача деформаций дна несвязного речного русла реки Амур определяется следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_i u_j}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left( v_t H \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_t} \right) \right) - l_{ij} q_j + gH \frac{\partial(H + \zeta)}{\partial x_i} - \lambda q_i |u_k| = 0, \\ \frac{\partial q_i}{\partial x_i} = 0, \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \Lambda_{ij} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x_i \partial x_j} + K_i \frac{\partial \zeta}{\partial x_i} + Q = 0, \quad i, j = \overline{1, 2}, \\ \Lambda_{ij} = -C_0 \frac{4|u_i|}{15tg\varphi} \times \begin{bmatrix} 5(1-\chi)u_1^2 + 4u_2^2 & (9-5\chi)u_1u_2 \\ (9-5\chi)u_1u_2 & 5(1-\chi)u_2^2 + 4u_1^2 \end{bmatrix} = \\ = -\frac{4C_0}{15|u_i|} \times \left( \begin{array}{l} u_1(15u_1^2 + 3u_2^2 - 5\chi(3u_1^2 + u_2^2)) \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + u_2(23u_1^2 + 5u_2^2 - 5\chi(3u_1^2 + u_2^2)) \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \\ u_2(6u_1^2 - 12u_2^2 - 10\chi u_1^2) \frac{\partial u_2}{\partial x_1}, \\ u_2(22u_1^2 + 4u_2^2 - 10\chi u_1^2) \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + u_1(6u_2^2 - 12u_1^2 - 10\chi u_2^2) \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \\ + u_1(5u_1^2 - 23u_2^2 - 5\chi(u_1^2 + 3u_2^2)) \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + u_2(15u_2^2 - 3) \end{array} \right). \end{aligned}$$

Составлена математическая модель процесса отступления берегового склона реки Амур в области слияния её с Амурской протокой, проведено сравнение полученных результатов с натуральными данными.

В качестве аналитического закона распределения принятая биномиальная кривая (распределение Пирсона III) с числовыми характеристиками: средним максимальным расходом воды  $25\,000\text{ м}^3/\text{с}$ , коэффициентом вариации ( $C_v$ ) 0,24 и соотношением коэффициентов асимметрии и вариации ( $C/C\bar{D}$ ) равным 2,5.

Переход от максимального расхода расчётной обеспеченности к соответственным уровням воды осуществлялся по кривой  $Q = f(H)$ , построенной совместно ДВ УГМС и ГГИ по данным

многолетних наблюдений, а верх кривой уточнялся расходами воды, измеренными в период прохождения экстремального паводка 2013 г.

Максимальные годовые расходы воды различной обеспеченности и соответствующие им уровни на гидрологическом посту р. Амур – г. Комсомольск приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Максимальные годовые (открытого русла) расходы воды различной обеспеченности и соответствующие им уровни, р. Амур – г. Комсомольск

Характеристика	Расходы и уровни, в %						
	0,1	0,5	1	3	5	10	20
Расход, м <sup>3</sup> /с	48 500	43 800	41 500	37 700	35 800	33 000	29 800
Уровень, м	10,5	9,3	8,7	7,7	7,2	6,4	5,6

Полученные результаты расчёта максимальных уровней воды хорошо согласуются с расчёты максимальными уровнями, приведёнными в письме ФГБУ «Дальневосточного УГМС» для рассматриваемого участка реки Амур [4].

По полученным значениям максимальных годовых уровней воды составлена схема затопления территории г. Комсомольска при уровнях воды обеспеченностью 1, 3, 5, 10 и 25 % (см. рис. 10).

Характеристика минимальных годовых уровней воды, а также максимальных и минимальных уровнях весеннего ледохода дана на основе материалов наблюдений за уровнями воды на гидрологическом посту р. Амур – г. Комсомольск за период с 1932 по 2014 гг.

Средний многолетний уровень воды периода открытого русла – уровень 50 % обеспеченности – получен обработкой ежедневных уровней воды на гидрологическом посту р. Амур – г. Комсомольск, и его значение получено равным 1,49 м над нулем поста.

Перенос характерных уровней воды от гидрологического поста р. Амур – г. Комсомольск непосредственно по территории города осуществлялся в два этапа. На первом этапе по кривым свободной поверхности расчётные уровни переносились от гидрологического поста на юго-восточную оконечность дамбы [3]. Кривые свободной поверхности построены по результатам полевого определения горизонтов высоких вод паводка 2013 г. с привлечением данных Росгидромета, а также материалов однодневных связок воды, выполненных ЗАО «Ленгипроречтранс» весной 2015 г. и летом-осенью 2014 г. (в рамках работы «Оценка изменений русла реки Амур в результате прохождения экстремального паводка 2013 года»).

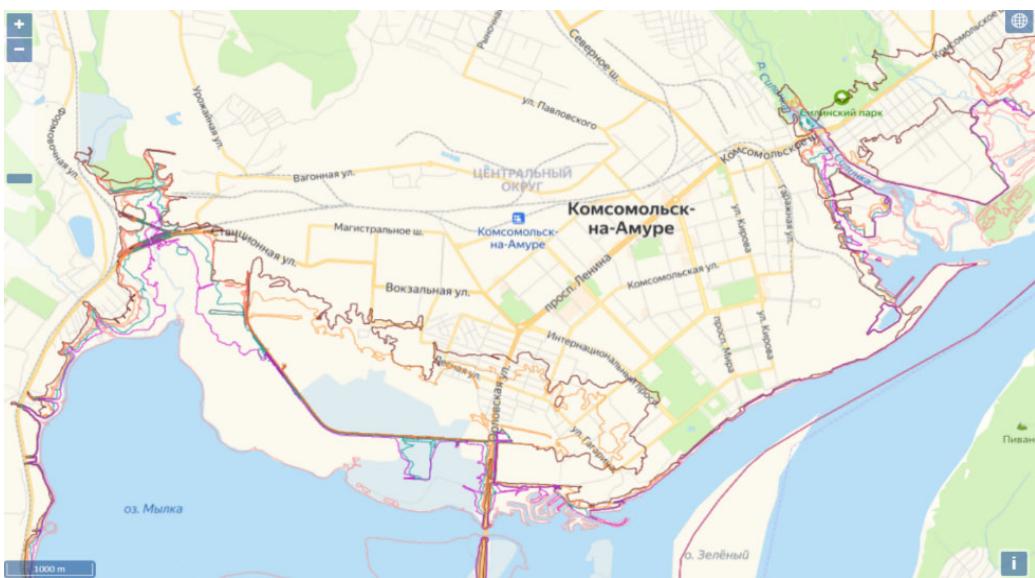


Рис. 10. Зоны затопления г. Комсомольска-на-Амуре при максимальных уровнях воды различной обеспеченности

Характерные уровни Амура, рекомендуемые в качестве расчётных на участке проектируемого гидротехнического сооружения, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характерные уровни воды р. Амур различной обеспеченности, рекомендуемые в качестве расчётных для определения границ затопления в г. Комсомольске-на-Амуре

Обеспеченность, %	Месторасположение							
	Район оз. Мылки		Район устья р. Силинки		Пос. Победа		Пос. им. Д. И. Менделеева	
	БС <sub>77</sub>	MCB	БС <sub>77</sub>	MCB	БС <sub>77</sub>	MCB	БС <sub>77</sub>	MCB
1 (1 раз в 100 лет)	21,7	24,5	21,5	24,3	21,4	24,2	21,3	24,1
3 (1 раз в 30 лет)	20,8	23,6	20,6	23,4	20,5	23,3	20,4	23,2
5 (1 раз в 20 лет)	20,3	23,1	20,1	22,9	20,0	22,8	19,8	22,6
10 (1 раз в 10 лет)	19,5	22,3	19,3	22,1	19,2	22,0	19,1	21,9
25 (1 раз в 4 года)	18,5	21,3	18,4	21,2	18,3	21,1	18,3	21,1
50 (1 раз в 2 года)	14,5	17,3	14,3	17,1	14,3	17,1	14,1	16,9

Для определения границ зон затопления территории г. Комсомольска-на-Амуре, затапливаемых при максимальных уровнях воды 3-, 5-, 10-, 25- и 50-процентной обеспеченности (повторяемость 1, 3, 5, 10, 25 и 50 раз в 100 лет), с целью внесения изменений в документы территориального планирования, градостроительного зонирования и документацию по планировке территорий в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 18 апреля 2014 г. № 360 «Об определении границ зон затопления, подтопления» определены максимальные уровни воды 3-, 5-, 10-, 25- и 50-процентной обеспеченности (повторяемость 1, 3, 5, 10, 25 и 50 раз в 100 лет).

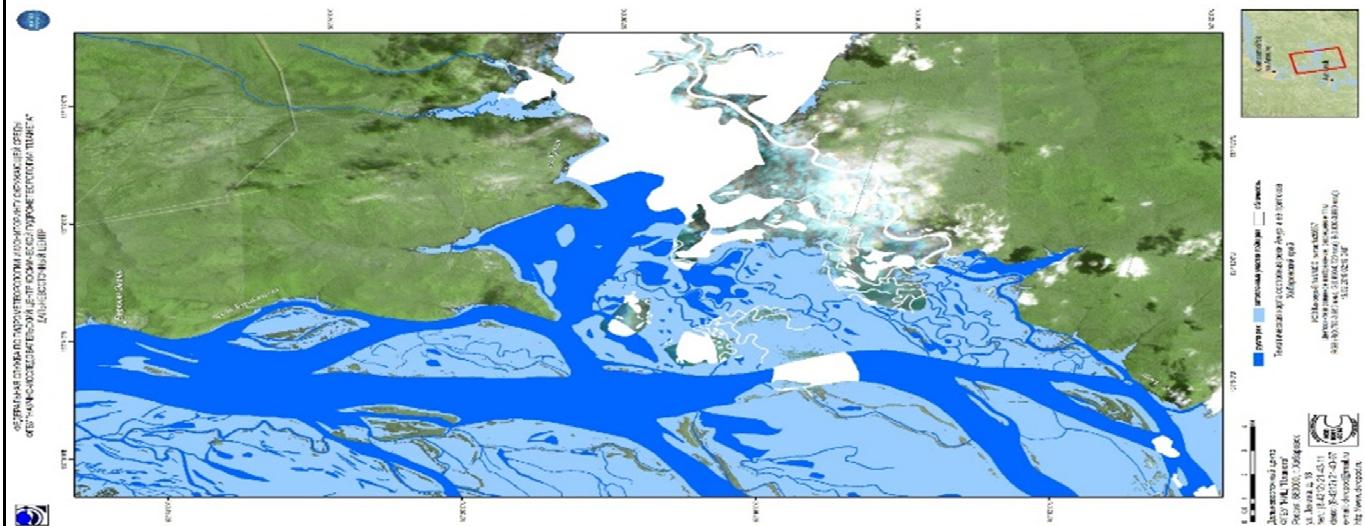


Рис. 11. Состояние реки Амур на 15 сентября 2019 г.

**Вывод.** На сегодняшний день после затопления в 2019 и 2020 гг. можно с уверенностью сказать, что расчёты по прогнозированию зон затопления не совпадают с реальной ситуацией. В реальности вода поднимается на более высокий уровень и зоны затопления распространяются на большую территорию. Это хорошо видно на рис. 11.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Потапов, И. И. Математическое моделирование гидродинамических и русловых процессов реки Амур / И. И. Потапов // Фундаментальные проблемы теоретической и прикладной механики. Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2011. – № 4 (5). – С. 2438-2439.
2. Верхотов, А. Д. О новом определении науки в связи с необходимостью решения глобальных проблем человечества, в том числе экологических / А. Д. Верхотов, В.М. Макиенко // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2013. – № III-1 (15). – С. 86-93.
3. Тарануха, Н. А. Обзор и классификация стационарных морских платформ для работы на шельфе / Н. А. Тарануха, А. С. Миронов // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2016. – № III-1 (27). – С. 93-98.
4. Кулепов, В. Ф. Применение методов теории проектирования судов для разработки параметрического ряда плавающих ледорезных машин / В. Ф. Кулепов, Ю. А. Двойченко, А. Л. Малыгин // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2013. – № III-1 (15). – С. 78-85.

## ПРИМЕЧАНИЯ

1. Здесь и далее километраж приводится по Атласу Нижнего Амура от Хабаровска до Николаевска-на-Амуре, 1996 г.

**Никифорова Г. Е., Ждакаева М. В., Литовкина А. А.**

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА БИОИНДИКАЦИИ КАК ИНСТРУМЕНТА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА  
ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ГОРОДА

**Никифорова Г. Е., Ждакаева М. В., Литовкина А. А.**

**G. E. Nikiforova, M. V. Zhdakaeva, A. A. Litovkina**

## **РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА БИОИНДИКАЦИИ КАК ИНСТРУМЕНТА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ГОРОДА**

### **IMPLEMENTATION OF THE BIOINDICATION METHOD AS A TOOL FOR ASSESSING THE CITY AIR ENVIRONMENT QUALITY**

**Никифорова Галина Евгеньевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Кадастры и техносферная безопасность» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: niki\_end\_k@mail.ru.

**Galina E. Nikiforova** – PhD in Engineering, Associate Professor, Cadastre and Technosphere Safety Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: niki\_end\_k@mail.ru.

**Ждакаева Мария Васильевна** – старший преподаватель кафедры «Кадастры и техносферная безопасность» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: lavanda121@mail.ru.

**Maria V. Zhdakaeva** – Senior Lecturer, Cadastre and Technosphere Safety Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: lavanda121@mail.ru.

**Литовкина Арина Андреевна** – студент факультета кадастра и строительства Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: arishalitovkina95@mail.ru.

**Arina A. Litovkina** – Student, Cadastre and Construction Faculty, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: arishalitovkina95@mail.ru.

**Аннотация.** В работе представлен сравнительный анализ исследований воздушной среды микрорайона города, выполненный методом биоиндикации.

**Summary.** The paper presents a comparative analysis of studies of the microdistrict air environment, performed by the bioindication method.

**Ключевые слова:** биоиндикация, выбросы, площадки исследований, хвоя, сосна обыкновенная, шкала повреждений, шкала усыхания, асимметрия, берёза повислая.

**Key words:** bioindication, emissions, research sites, needles, scots pine, damage scale, shrinkage scale, asymmetry, hanging birch.

УДК 621.1

**Введение.** Общение с природой для людей в больших городах имеет особую и всё возрастающую важность; в связи с этим экологические исследования городской фауны приобретают большое практическое значение. Соответствующие данные необходимы для наблюдения за окружающей средой, оценки стабильности городских экосистем и снижения ущерба, причиняемого зелёным насаждениям. Получение как можно больших знаний о жизненном пространстве, в котором живут и работают люди, является одной из первоочередных задач экологических исследований.

Анализ городской флоры позволяет получить объективную информацию о том, насколько вредно для организмов существующее в любом городе загрязнение воздуха, воды, почвы, зелёных насаждений, насколько эффективны те или иные природоохранные мероприятия, какова динамика экологической обстановки города.

**Описание проблемы.** На сегодняшний день в Комсомольске-на-Амуре зарегистрировано 74 тысячи транспортных средств, из которых более 65 тысяч легковых машин, остальные 9 ты-

сяч – грузовые автомобили и автобусы. Наиболее популярные в нашем городе легковые машины: Toyota Corolla, Toyota Mark II и Toyota Carina. В основном для этих марок применяемым топливом является бензин АИ-95 и АИ-92. Характеристики АИ-95 существенно выше, чем у бензина АИ-92: в нём минимальное содержание присадок, высокое октановое число. Применение такого бензина полезно для технической части автомобиля (сокращается расход топлива), повышает тяговые и динамические характеристики автомобиля. Химический состав бензина АИ-95 не включает свинец, этанол, метanol.

На рис. 1 представлены основные маршруты движения транспорта.

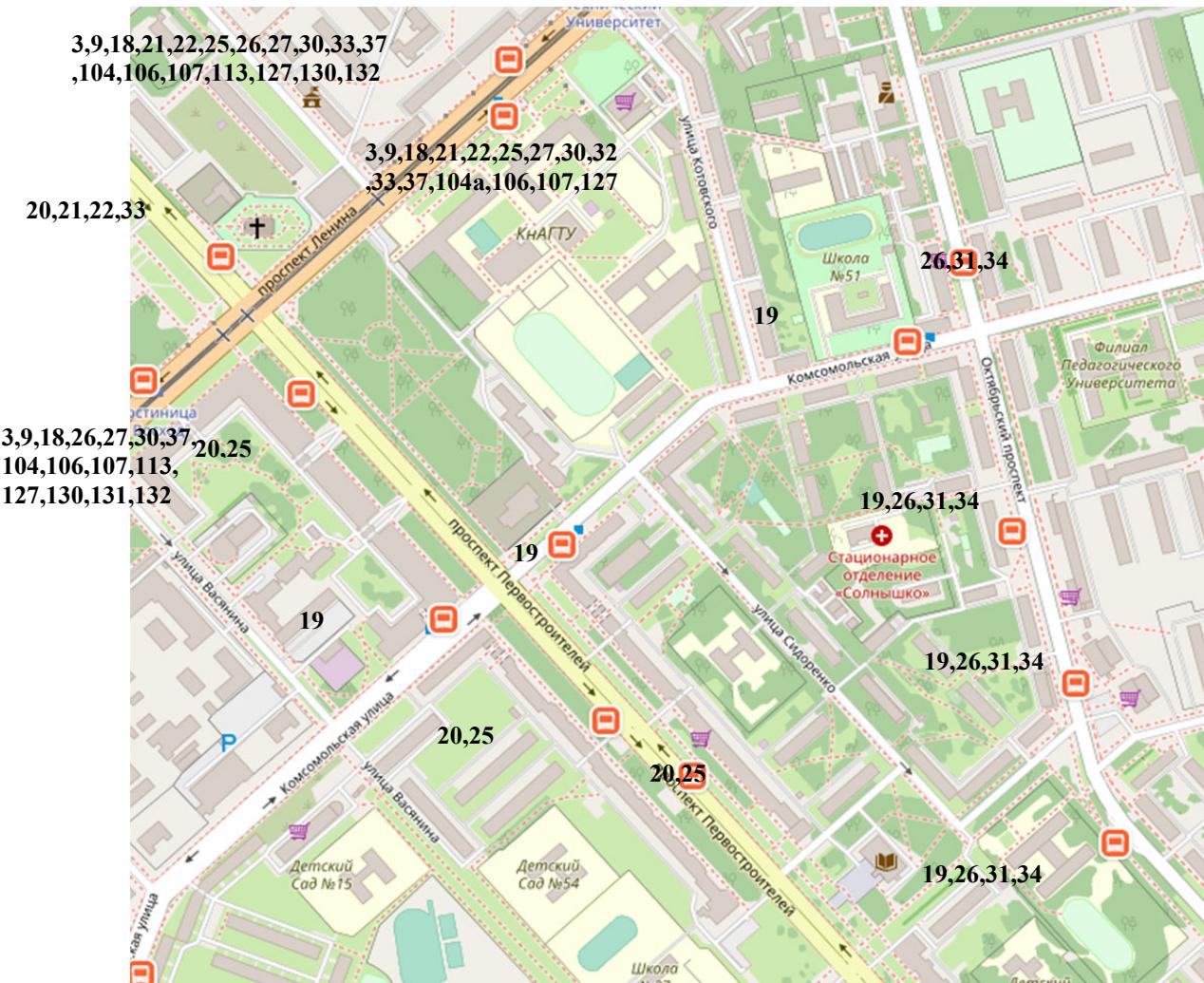


Рис. 1. Основные маршруты движения транспорта

Как следует из представленной информации, рассматриваемый район можно отнести к району с высокой транспортной нагрузкой.

Наиболее распространённое загрязняющее вещество, источником которого является автомобильный транспорт, это диоксид серы. Даже при малой ингаляционной дозе вещество может способствовать появлению неприятного вкуса во рту, раздражению слизистых оболочек глаз и дыхательных путей. Неблагоприятное воздействие на окружающую среду также очевидно: кислотные дожди, окрас листвы в жёлтый цвет. Ключевыми «абонентами» диоксида серы выступают хвойные и лиственные леса.

Следует отметить важность защиты органов дыхания у населения. Ингаляционная нагрузка может привести к развитию острых или хронических заболеваний. Именно комплексный подход

при оценке воздействия группы факторов риска позволит снизить вероятность заболеваний общего характера. Таким образом, сохранение окружающей среды увеличит силу иммунитета отдельного гражданина.

Результаты данного исследования позволяют руководителю предприятия и органам государственного управления реализовать право контингента населённых пунктов на безопасную окружающую среду.

Тема работы актуальна в связи с тем, что с течением времени промышленное развитие усиливает негативное влияние на окружающую среду, вызывая нарушение экологических систем, что приводит к исчезновению многих видов животных и растений. Основными загрязнителями являются промышленные объекты и транспорт, которые вносят наибольший вклад в отравление природы и атмосферного воздуха. Ответная реакция растений на внешние воздействия проявляется в обеднении видового состава, изменении характера роста, особенностях их состояния и накопления биомассы, морфолого-анатомической структуры [3–5].

Древесные растения, и особенно вечнозелёные хвойные породы, весьма чувствительны и более восприимчивы к негативному воздействию, в частности, аэробиогенных примесей по сравнению с листопадными видами из-за многолетнего накопления токсикантов в листовом аппарате. Таким образом, они могут быть надёжными индикаторами при анализе влияния техногенной нагрузки на экосистему. Внедряемый метод мониторинга кроме планирования мероприятий по защите населения от загрязнения даёт возможность оценить урон, наносимый деревьям и кустарникам, являющимся «лёгкими» планеты, и предусмотреть меры защиты зелёного фона города.

В литературе приводится много данных о применении метода биоиндикации для оценки качества воздуха в промышленных городах центральной части России: Воронежа, Курска, Перми и др.

**Результаты исследований.** Основной целью исследования являлось влияние автотранспорта на состояние атмосферного воздуха на разных площадках города Комсомольска-на-Амуре. Для исследования было взято два ключевых участка, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга: сквер возле университета и сквер возле библиотеки. Обе площадки находятся в зоне интенсивного движения автотранспорта с расположением от береговой полосы в 3,7 км (сквер возле университета) и 2 км (сквер возле библиотеки). В качестве биоиндикатора использовали сосну обыкновенную.

Результаты исследований по [1] приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Состояние хвои сосны обыкновенной

Виды повреждений и усыханий хвоинок	Месторасположение участка	
	Сквер возле университета	Сквер возле библиотеки
Общее число обследованных хвоинок	262	302
Количество неповреждённых хвоинок	212	206
Процент неповреждённых хвоинок	80,9	68,2
Количество хвоинок с пятнами	10	82
Процент хвоинок с пятнами	3,8	27,2
Количество хвоинок с усыханием	40	14
Процент хвоинок с усыханием	15,3	4,6

Из результатов (см. табл. 1) следует, что сквер возле университета как по шкале повреждений, так и по шкале усыхания относится к I классу (зона чистого воздуха); сквер возле библиотеки – к III классу (зона повышенной загрязнённости воздуха) [1]. Таким образом, на территории города из исследуемых участков в наиболее благоприятной экологической обстановке пребывает первая площадка – сквер возле университета. Вероятно, это связано с местом нахождения сквера возле библиотеки – он находится возле перекрёста с интенсивным движением автотранспорта,



также это связано с ограничением дорожного движения на регулируемых перекрёстках и с автомобильными пробками в час пик.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что автотранспорт в городе вносит большой вклад в загрязнение воздушной среды города.

Однако проведённые исследования являются первой попыткой разработать городскую карту загрязнения воздушной среды с помощью метода биоиндикации. Для этого необходимо использовать в качестве биоиндикаторов не только хвойные породы деревьев, доля которых среди зелёных насаждений города составляет 10-20 %, но и лиственные (берёзу).

В связи с этим были проведены дополнительные исследования, в которых в качестве биоиндикатора использовалась берёза повислая [2]. Данный метод основан на выявлении нарушений симметрии развития листовой пластины, которые верно отражают уровень техногенного воздействия на биосферу.

Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2  
Величины асимметрии листьев берёзы повислой

Исследуемая площадка	Величины асимметрии листа у берёзы повислой		
Сквер возле университета	0,1	0,1	0,07
Сквер возле библиотеки	0,07	0,05	0,06

Как следует из представленных результатов (см. табл. 2), площадки сквер возле университета и сквер возле библиотеки по величине асимметрии соответствуют V баллам, т. е. крайне неблагоприятные условия, растение находится в сильно угнетённом состоянии. Скорее всего, это связано с их территориальным расположением: сквер возле университета находится возле перекрёста с интенсивным движением автотранспорта, как личного, так и общественного, а сквер возле библиотеки, помимо расположения возле дороги с интенсивным движением автотранспорта, испытывает воздействие от грузовых машин, т. к. рядом со сквером находятся продуктовые магазины, которые требуют ежедневного завоза товара. Сопоставляя результаты исследований по скверу возле университета и скверу возле библиотеки по хвойным и лиственным биоиндикаторам, можем сказать, что влияние автотранспорта на состояние зелёных насаждений наиболее заметно у лиственных деревьев (величины асимметрии от 0,07 до 0,1 – крайне неблагоприятные условия).

Подводя итоги исследований, можем сказать, что лиственные деревья в большей степени испытывают на себе воздействие  $\text{SO}_2$ , что подтверждается их изменениями (величина асимметрии в диапазоне от 0,009 до 0,1).

**Выводы.** Полученные данные помогут муниципалитетам в формировании плана озеленения, причём ещё на стадии проектирования каких-либо территорий городской застройки.

Реализация метода биоиндикации позволяет не только выявить наиболее проблемные территории города, но и рекомендовать их озеленение в определённой очерёдности, а также подбирать нужные растения для озеленения конкретных площадок.

Из лиственных деревьев можно рекомендовать посадить дуб, ясень, клён, берёзу, орех маньчжурский, бархат и другие (кроме черёмухи, потому что её нет в гидроплане парка) высотой до 2 метров, потому что такие породы лучше приживаются. Из хвойных можно высаживать ель, пихту, кедр, сосну высотой не более 1,5 метров.

Мероприятия, направленные на благоустройство общественных пространств, повысят комфорт места жительства, тем самым снижают рост эмиграции с Дальнего Востока. Наполненность городских массивов зелёными насаждениями улучшает привлекательность районов для риелторских услуг. Ведь города в центре России не часто снабжены требуемым количеством парковых зон, аллей, скверов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Жарикова, В. К. Индикация загрязнения атмосферы по состоянию хвои сосны обыкновенной [Электронный ресурс] / В. К. Жарикова, В. С. Рудницкая // Международная научно-практическая конференция «Первые шаги в науку». – Режим доступа: <https://pandia.ru/text/80/285/91190.php> (дата обращения: 12.04.2021).
2. Здоровье среды: методика оценки. Оценка состояния природных популяций по стабильности развития: методическое пособие для заповедников / А. С. Захаров [и др.]. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.
3. Жукова, А. А. Биоиндикация качества природной среды: пособие / А. А. Жукова, С. Э. Мастицкий. – Минск: БГУ, 2014. – 112 с.
4. Литовкина, А. А. Метод биоиндикации как способ оценки качества воздушной среды города / А. А. Литовкина, Г. Е. Никифорова // Современные тенденции в науке и образовании. – Нефтекамск: Научно-издательский центр «Мир науки», Издателска Къща «COPoC», 2019. – С. 401-404.
5. Алгоритм оценки опасности выбросов предприятия за «цикл жизни» и после закрытия / И. П. Степанова, А. Н. Степанов, Е. И. Гореликова, Ю. Г. Лещев // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2012. – № IV-1 (12). – С. 100-108.

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**  
**BUILDING AND ARCHITECTURE**

**Галкина Е. Г., Зубкова К. С.**  
**E. G. Galkina, K. S. Zubkova**

**АНАЛИЗ УСПЕШНОГО ОПЫТА ОРГАНИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ЖИЛЫХ КВАРТАЛОВ В РОССИИ**

**ANALYSIS OF SUCCESSFUL EXPERIENCE IN ORGANIZATION OF MODERN RESIDENTIAL APARTMENTS IN RUSSIA**

**Галкина Елена Георгиевна** – кандидат культурологии, доцент кафедры «Дизайн архитектурной среды» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: arhigeg@mail.ru.

**Elena G. Galkina** – PhD in Cultural Studies, Associate Professor, Design of Architectural Environment Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Russia, Khabarovsk Territory, Komsomolsk-on-Amur, Lenin Ave., 27. E-mail: arhigeg@mail.ru.

**Зубкова Ксения Сергеевна** – магистрант кафедры «Дизайн архитектурной среды» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: ksenia.k150897@gmail.com.

**Ksenia S. Zubkova** – Master's Degree Student, Design of Architectural Environment Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk Territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: ksenia.k150897@gmail.com.

**Аннотация.** В статье даются основные понятия структурных единиц жилого квартала; обозначены наиболее важные принципы создания среды комфортного жилого квартала; рассматриваются примеры организации комфортной среды жилых кварталов в России; анализируется успешный опыт формирования дворовых пространств на примерах реализованных в регионах комплексных проектов крупнейших российских девелоперских компаний.

**Summary.** The article gives the basic concepts of the structural units of a residential area; examples of organizing a comfortable environment in residential areas in Russia are considered; the successful experience of creating courtyard spaces is analyzed using examples of complex projects of the largest Russian development companies implemented in the regions.

**Ключевые слова:** проектирование, микрорайон, жилой квартал, двор, дворовое пространство, придомовая территория, благоустройство, комфорт, застройка, безопасность, безбарьерная среда.

**Key words:** design, microdistrict, residential area, courtyard, courtyard space, adjoining territory, landscaping, comfort, development, security, barrier-free environment.

УДК 711

На сегодняшний день вопрос качества новостроек, а также благоустройства дворов и кварталов крайне актуален.

Прежде чем ознакомиться с лучшими находками в проектировании и строительстве жилых кварталов России, необходимо изучить само понятие.

Жилой квартал (ЖК) – это структурная единица жилого района, представляющая собой территорию, со всех сторон ограниченную улицами.

Жилые районы делятся на микрорайоны, которые в свою очередь подразделяются на кварталы. В зависимости от величины города, этажности застройки могут изменяться размеры жилых районов и количество населения в них. По этим же причинам из структуры жилых районов может выпадать понятие «микрорайон». Размер микрорайона обуславливается пешеходной доступностью: расстояние от самого удалённого жилого дома до необходимой организации (например, библиотеки, поликлиники, аптеки, кинотеатра, отделения банка или почты) составляет 15-20 минут пешком, т.е. 500-800 м.

В микрорайонах кроме жилых домов располагаются детские сады, а при достаточной площади микрорайонов – общеобразовательные школы. Объекты ежедневного обслуживания – магазины, столовые, аптеки, парикмахерские и бытовые мастерские – могут располагаться в отдельных зданиях или на первых этажах жилых домов. В жилых районах возможно размещение гаражей-стоянок, а также детских и спортивных площадок.

Большое количество времени люди проводят в своих квартирах, т.е. в жилых кварталах, поэтому при проектировании жилой среды и строительстве домов необходимо учесть все критерии для обеспечения комфортного проживания.

Наиболее важными принципами создания комфортного жилого квартала являются:

- учёт всей необходимой инфраструктуры при строительстве (транспортная доступность, инженерные сети, необходимые социальные и обслуживающие предприятия). В таком микрорайоне людям, которые заселились в первые сданные ЖК, не приходится ждать появления обещанной линии метро или школы;

- вовлечённость жителей в создание и поддержание уюта и комфорта на общей территории. На это влияет большое количество факторов: размер территории, этажность застройки, уровень шума, эстетика и уникальность места и др.;

- создание преимущества пешеходов и велосипедистов перед автотранспортом;
- создание безбарьерной, доступной среды;
- проявление особого внимания к деталям жилой среды, в том числе колористическое решение объектов микрорайона и жилого района, комплексный подход к которому рассматривается в научных исследованиях [5].

Также стоит отметить, что важными требованиями к благоустройству в настоящее время являются: простота форм и экономичность решений, отказ от применения дорогостоящего декора, продуманность пропорций, правильное использование материалов и высокое качество работ.

Чем больше новых жилищных комплексов будет строиться по данным принципам, тем меньше будет спроса на некачественное жильё, убыточнее «старания» недобросовестных застройщиков, комфортнее жизнь людей.

К сожалению, на сегодняшний день большинство жилых кварталов в нашей стране нельзя назвать комфортными. К множеству новостроек также возникают вопросы в плане организации качества среды. Однако появляются достаточно серьёзные предпосылки того, что ситуация может поменяться в лучшую сторону в ближайшие годы. Потребитель становится более избирательным, а значит, спрос на некачественное жильё постепенно падает. Некоторые застройщики организуют более комфортное жильё, создавая серьёзную конкуренцию на рынке.

Например, ПИК – крупнейшая российская девелоперская компания, реализующая комплексные проекты в девяти регионах России. Жилые кварталы, спроектированные ПИК, успешно эксплуатируются в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Челябинске, Калуге, Ярославле, Тюмени, Ростове-на-Дону и других городах.

Жилой комплекс «Бунинские луга» (см. рис. 1) расположен на окраине Москвы. Архитектурный облик зданий не имеет особых «изысков». Фасады лаконичны и минималистичны (см. рис. 2). Это делает облик комплекса простым и современным.



Рис. 1. ЖК «Бунинские луга»

В то же время за счёт цветовых акцентов создаётся иллюзия уникальности каждого здания. Ведь в условиях, когда все дома однотипны, а благоустройство неинтересно, человеку сложнее установить эмоциональную связь, идентифицировать себя с местом.



Рис. 2. Примеры решения фасадов жилого комплекса «Бунинские луга»

Инфраструктура жилого комплекса включает в себя школы и детские сады, детскую и взрослую поликлинику, наземные и подземные паркинги, многофункциональный образовательный комплекс. В зелёных дворах нет доступа для автомобилей, есть игровые и спортивные площадки, а также места для тихого отдыха (см. рис. 3). Рядом с проектом открыта уникальная детская площадка «Пирамиды», на её территории разработаны террасы, навесы и кафе, разноуровневые горки, лазательная паутинка, тоннели и настоящий ручей с плотинами – всё это создаёт уникальное творческое пространство для детей и их родителей.



Рис. 3. Дворовые пространства жилого комплекса

Также проектом предусмотрено большое количество «мелочей», делающих кварталы комфортнее. Например: индивидуальные кладовые, корзины для кондиционеров, чтобы не портить эстетику фасадов, а конденсат отводится через специально предусмотренные дренажные каналы. Входы в здания организованы на уровне земли с минимальным порожком, что позволяет беспрепятственно попадать внутрь маломобильным группам населения. Все лифты в домах современные и просторные, любой жильец без проблем сможет попасть на свой этаж с коляской, велосипедом, новым холодильником или диваном.

Ещё один успешный застройщик-девелопер – «LEGENDA». Компания, объединившая в себе ряд профильных специалистов, за плечами каждого из которых большой опыт и множество успешных проектов. Теперь они объединены в «LEGENDA» ради улучшения качества жизни людей путём создания безупречной архитектуры и комфортной среды.

В проекте «LEGENDA Дальневосточного» (см. рис. 4) целью стало возродить традицию добрососедства и тихих семейных вечеров. Высокий уровень значения получают камерность, однородность социального окружения, главенство семейных ценностей, уют и комфорт, более при-

ватная атмосфера. Дизайнерские и архитектурные новшества обеспечивают правильный баланс между личным и общественным, технологичным и естественным, наполняют жизнь восточным спокойствием.



Рис. 4. LEGENDA Дальневосточного

Если территория двора достаточно кулаарна и среда в целом располагает к соучастию, вероятность установления добрососедских отношений и ответственности за чистоту во дворе выше. Человек будет чувствовать свою связь с местом, бережнее относиться к пространству, в котором ему комфортно находиться и проводить время.

Концепция благоустройства двора продолжила тему природных материалов, начинающихся с фасадных решений комплекса. Референсами для поиска решений стали дальневосточные мотивы – эстетика располагающих к созерцанию традиционных японских садов.

Внутренний двор разделён на несколько зон, по сути представляющих собой самодостаточные пространства, ориентированные на жителей разного возраста и интересов, – взрослые, ребёнок будет видеть свой дом и свой двор с разных сторон (см. рис. 5).

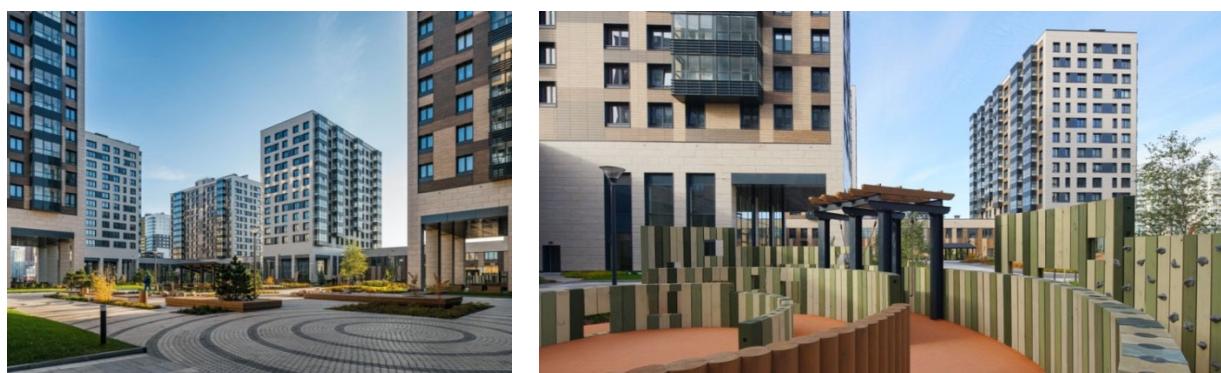


Рис. 5. Дворовое пространство от «LEGENDA Дальневосточного»

Помимо различных декоративных элементов, спортивных снарядов и уличной мебели, каждая из площадок по-разному замощена – вид на двор хорош как с первых, так и с верхних этажей. Отдельно стоит отметить озеленение: отсутствие подземного паркинга под двором (он расположен только под зданием) позволяет высадить деревья и кустарники – и таких зелёных участков много по всей внутренней дворовой территории.

Интересный квартал организовал застройщик «Конкорд Менеджмент и Консалтинг» в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. «Лахта Парк» – это малоэтажный квартал с живописным расположением (см. рис. 6). Комплекс находится в Приморском районе Санкт-Петербурга, на берегу Лахтинского разлива, окружён заказником, рядом находится Финский залив

и «Лахта Центр» – новая доминанта современной бизнес-активности города. Закрытая охраняемая территория, развитая инфраструктура, близость к природе, малая этажность – несомненные преимущества квартала.



Рис. 6. Жилой комплекс «Лахта Парк»

Особенностью комплекса можно считать то, что в нём присутствуют как многоквартирные дома, так и таунхаусы и даже пентхаусы (см. рис. 7). Все дома имеют панорамное остекление.

Обустройство «Лахта Парк» включает в себя следующие объекты инфраструктуры: множество детских площадок; площадку для выгула и дрессировки собак; салоны красоты, магазины и бассейн; велосипедные дорожки; вертолётную площадку; открытые и крытые паркинги (см. рис. 7).



Рис. 7. Средовые решения обустройства «Лахта Парка»

Непрерывно ведутся улучшение и благоустройство территории комплекса апартаментов профессиональной управляющей компанией, что позволяет сделать проживание ещё более комфортным, а прогулки приятными.

В оформлении комплекса реализовано сочетание минималистичной архитектуры и комфортной среды. Дома возведены по кирпично-монолитной технологии строительства. Отделка фасадов выполнена в едином стиле из экологичного керамогранита.

«Суходольский квартал» в городе Екатеринбург (см. рис. 8) создан российской девелоперской компанией «Брусника», которая специализируется на строительстве жилых многоэтажных домов в крупных городах Урала и Сибири. Главный офис находится в Екатеринбурге.



Рис. 8. Жилой комплекс «Суходольский квартал»

Жилой комплекс представляет собой квартал европейского качества с камерными дворами и большим общественным пространством поблизости. Двор каждого дома – зелёный сад. На первых этажах – квартиры с небольшими террасами и панорамными окнами. Рядом – остановка общественного транспорта, с которой можно добраться до центра. В районе на момент заселения уже была сформирована вся необходимая инфраструктура.

Внутри каждого из четырёх домов-кварталов – кулуарный тихий двор-сад (см. рис. 9). Во дворе нет машин и посторонних людей, высажено более 40 видов растений, а также постелен газон. Деревья посажены взрослые, со сформированной кроной. Растения имеют разную плотность и высоту и цветут в разное время года. Поэтому двор разнообразен и в каждое время года имеет своё колористическое решение.



Рис. 9. «Суходольский квартал». Двор

В центре квартала располагается общественное пространство (см. рис. 10), где для взрослых есть зоны отдыха с фонтанами, а для детей – множество игровых площадок с качелями, лабиринтами, пружинками, песочницами и навесом. Также проектом предусмотрен многофункцио-

нальный спортивный корт для игры в баскетбол, волейбол и теннис. Рядом расположены уличные тренажёры, площадка для воркаута. Уличная мебель, в том числе детское оборудование, сделана из дерева: не промерзает, не накаляется, не промокает.



Рис. 10. Суходольский квартал. Общественное пространство.

Важно отметить, что следование принципам создания комфортного общественного пространства является неотъемлемым условием современного жилого проектирования и строительства. Своевременное создание необходимой инфраструктуры при строительстве жилого квартала, создание преимущества пешеходов и велосипедистов перед автотранспортом, вовлечение жителей в создание и поддержание уюта и комфорта на общей территории, создание доступной среды и обращение особого внимания на разработку её деталей, а также простота форм и экономичность решений, отказ от применения дорогостоящего декора, продуманность пропорций, правильное использование материалов и высокое качество работ – всё это является важными требованиями, предъявляемыми к формированию архитектурной среды в настоящее время. Также необходимо учитывать современный подход к формированию среды с ориентацией на дизайн-код города [6]. Любой хороший застройщик, работая над жилым кварталом (архитектурой, благоустройством и др.), должен представлять конечной целью комфорт людей всех возрастных и социальных групп.

## ЛИТЕРАТУРА

1. СП 82.13330.2016. Благоустройство территорий. Актуализированная редакция. – Взамен СНиП III-10-75; введ. 16-12-2016 / Техэксперт. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054208> (дата обращения: 12.10.2020).
2. Теодоронский, В. С. Объекты ландшафтной архитектуры: учеб. пособие для вузов / В. С. Теодоронский, И. О. Боговая. – М.: МГУЛ, 2003. – 300 с.
3. Дизайн архитектурной среды: учебник для вузов / Г. Б. Минервин, А. П. Ермолаев, В. Т. Шимко, А. В. Ефимов, Н. И. Щепетков, А. А. Гаврилина, Н. К. Кудряшев. – Москва: Архитектура-С, 2006. – 504 с.
4. Илья Варламов – varlamov [Электронный ресурс] / Видеохостинг YouTube. – URL: <https://www.youtube.com/user/ilyavarlamov> (дата обращения: 10.10.2020).
5. Димитриади, Е. М. Комплексный подход к формированию колористики городской среды // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о человеке, обществе и культуре. – 2020. – № I-2 (41). – С. 9-13.
6. Сохацкая, Д. Г. Предметно-функциональный код как компонент дизайна-кода // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о человеке, обществе и культуре. – 2019. – № IV-2(40). – С. 62-66.

Галкина Е. Г., Полещук А. Д.  
ДИЗАЙН-КОНЦЕПЦИЯ БЛАГОУСТРОЙСТВА ПАРКА КУЛЬТУРЫ И ОТДЫХА  
«СУДОСТРОИТЕЛЬ» (г. КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ)

Галкина Е. Г., Полещук А. Д.  
E. G. Galkina, A. D. Poleshchuk

## ДИЗАЙН-КОНЦЕПЦИЯ БЛАГОУСТРОЙСТВА ПАРКА КУЛЬТУРЫ И ОТДЫХА «СУДОСТРОИТЕЛЬ» (г. КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ)

### DESIGN CONCEPT OF IMPROVEMENT OF THE SUDOSTROITELEY PARK OF CULTURE AND RECREATION (KOMSOMOLSK-ON-AMUR)

**Галкина Елена Георгиевна** – кандидат культурологии, доцент кафедры «Дизайн архитектурной среды» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: arhigeg@mail.ru.

**Elena G. Galkina** – PD in Cultural Studies, Associate Professor, Design of Architectural Environment Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Russia, Khabarovsk Territory, Komsomolsk-on-Amur, Lenin Ave., 27. E-mail: arhigeg@mail.ru.

**Полещук Анна Дмитриевна** – студентка 5-го курса кафедры «Дизайн архитектурной среды» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: anna.kozhukhar98@gmail.com.

**Anna D. Poleshchuk** – Student, Design of Architectural Environment Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Russia, Khabarovsk Territory, Komsomolsk-on-Amur, Lenin Ave., 27. E-mail: anna.kozhukhar98@gmail.com.

**Аннотация.** В жизни города и горожан огромную роль играют общественные пространства, которые формируют городскую среду не меньше, чем здания. С каждым днём урбанисты, архитекторы и дизайнеры акцентируют своё внимание на формировании публичных пространств в структуре открытых территорий, к которым относятся парки, скверы, городские набережные и др. Городские парки призваны организовывать досуг населения, обеспечивать эффективное времяпрепровождение, целью которого является восстановление сил, достижение работоспособного состояния организма. Однако центральный парк города Комсомольска-на-Амуре не отвечает вышеупомянутым требованиям, т. к. находится в заброшенном состоянии. Как должны выглядеть современные парки и почему это важно для города, рассмотрено в статье на примере парка «Судостроитель» г. Комсомольска-на-Амуре.

**Summary.** In the life of the city and its citizens, a huge role is played by public spaces that form the urban environment, no less than buildings. Every day, urbanists, architects and designers focus their attention on the formation of public spaces in the structure of open areas, which include parks, squares, city embankments and others. City parks are designed to organize leisure activities of the population, provide effective time for recreation, the purpose of which is to restore strength, achieve a healthy state of the body. However, the Central Park of the city of Komsomolsk-on-Amur does not meet the above requirements, as it is in an abandoned state. What modern parks should look like and why this is important for the city, let's look at the example of the Central Park of Komsomolsk-on-Amur.

**Ключевые слова:** дизайн, благоустройство парка, архитектурное пространство, городская среда, общественное пространство.

**Key words:** design, park improvement, architectural space, urban environment, public space.

УДК 008:72

Городская среда влияет на наше физическое и психическое состояние, здоровье и благополучие, а это значит, что поддержание комфортной, активной и продолжительной жизни в городе с каждым годом имеет всё большее значение. Так, г. Комсомольск-на-Амуре является выраженным представителем города советской эпохи, градообразующими предприятиями которого стали два оборонных завода: авиастроительный и судостроительный. При проектировании генерального



плана преимущество отдавалось прямым проспектам (пр. Первостроителей, пр. Мира, пр. Ленина). В городскую структуру также обязательным было включение системы общественных пространств – парков и скверов. Одним из них стал парк «Судостроитель», который является центральным парком культуры и отдыха г. Комсомольска-на-Амуре. История его создания началась ещё в июне 1935 года, однако окончательно парк был сформирован только в 1948 году [4].

Несмотря на новую идеологию в организации общественных территорий, советские парки всё же имели внешний облик традиционных садов прошлого. Так, центральный парк города имеет крестообразное расположение главных аллей, что характерно для садов при монастыре, а масштаб и открытость планировки, фонтаны и скульптурные группы типичны для парков эпохи классицизма.

Развитие центрального парка города шло медленно, т.к. до Великой Отечественной войны на него выделялись незначительные средства. Однако в 1941 году были построены основные парковые сооружения: эстрада, летний кинотеатр, спортивный зал и общественный туалет. К этому времени парк «Судостроитель» имел ограждение и опорные столбы, которые соответствуют его современному облику.

Центральный парк города принадлежал заводу им. Ленинского комсомола (ЗЛК), и на его содержание выделялась значительная часть бюджета, благодаря чему развивали благоустройство территории парка и поддерживали памятники ландшафтной архитектуры в хорошем состоянии. Со временем в результате политических и экономических изменений в стране ЗЛК был переименован в Амурский судостроительный завод, и т. к. завод не выполнял заказы, началось сокращение финансирования, а позже вообще прекратились расходы на содержание парка. Парк «Судостроитель» был снят с баланса. И если во времена Советского Союза парк являлся центром городской жизни, здесь проводились соревнования и игры, оздоровительная работа, культурное воспитание и встречи с ветеранами, то сегодня главная общественная территория в Центральном округе находится в глубоко запущенном состоянии.

Тем не менее парк «Судостроитель» г. Комсомольска-на-Амуре с 1998 года числится в перечне выявленных объектов культурного наследия Хабаровского края как памятник ландшафтной архитектуры. Парк требует охраны и особого внимания. Однако общее состояние территории и парковых объектов оставляет желать лучшего. Ограждение и опорный столбы находятся в полуразрушенном состоянии, фонтан утратил свой первоначальный вид. Центральная скульптура имеет сильные повреждения и требует серьёзной реставрации.

Формообразование парка определили три входные группы, сохранившиеся до настоящего времени, которые представляют собой арочные симметричные композиции, выполненные в стиле советской неоклассики с использованием основных декоративных приёмов, но имеющие свои отличительные черты. Например, главные восточные ворота парка, которые располагаются по улице Кирова, представляют собой полукруг с колоннами и широкой центральной аркой. Входная группа с Аллеи Труда оформлена высокими центральными пилонами с арками, более скромные и упрощённые ворота находятся со стороны улицы Краснофлотской. К настоящему времени все входные группы утратили декоративные изображения фризов, выполненные в технике сграффито, а также нарушена часть лепного декора [4]. Северная и южная арочные композиции надстроены дополнительными центральными арками, которые опираются на пилоны. Центром композиции парка является место двух пересекающихся аллей. Здесь располагается большой фонтан круглой формы, в центре которой скульптура мальчика с рыбой (см. рис. 1).

При анализе существующих архитектурных объектов в окружении парка центральным можно определить Дворец культуры судостроителей, который также находится в запущенном состоянии, несмотря на своё значимое градостроительное расположение. Площадь Юности перед ДК была преображена в 2017 году, здесь по проекту была проведена замена брусчатки, освещения, установлены новые скамьи и урны, появились два фонтана. Тем не менее существуют большие недочёты в организации благоустройства этого общественного пространства. Так, на площади Юности в летнее время нет возможности укрыться в тени деревьев или навесов, фонтаны находятся в нерабочем состоянии. За Дворцом культуры располагается спортивный зал борьбы, продо-

вольственный магазин и предприятие общественного питания. В структуру центрального парка данные сооружения не включены, не имеют комфортных пешеходных путей и достаточного количества парковочных мест.



Рис. 1. Фонтан со скульптурой в центре парка «Судостроителей»,  
г. Комсомольск-на-Амуре, 2020 год

Современное и открытое пространство городской среды, которое доступно каждому горожанину и находится близко к центральным районам, будет востребовано при условии комфортности и безопасности среды [2].

В результате участия города в 2019 году в федеральной программе «Формирование комфортной городской среды» в парке «Судостроитель» была оборудована площадка с установленными на ней столами для тенниса, которые стали популярны среди молодёжи и старшего поколения. Также здесь установили скамьи, обрезали и вырубили старые деревья, провели новое освещение. Сегодня в планах администрации г. Комсомольска-на-Амуре приоритетной задачей является благоустройство центральных аллей парка (укладка брусчатки). В рамках проекта запланированы работы по созданию скейтпарка для молодёжи, возобновление инженерной коммуникации фонтана и реставрация скульптуры. «Процесс реализации федерального приоритетного проекта “Формирование комфортной городской среды”, рассчитанного на 2017–2022 годы, не оставил в стороне и студенческую молодёжь г. Комсомольска-на-Амуре. Студенты кафедры “Дизайн архитектурной среды” Комсомольского-на-Амуре государственного университета принимают активное участие, сотрудничая с администрацией города: Управлением архитектуры и градостроительства, Отделом планировки и застройки города, Управлением жилищно-коммунального хозяйства города», – об этом в своей статье пишут Н. В. Гринкруг и Е. Г. Галкина [2].

На проектном этапе к работе были привлечены студенты архитекторы-дизайнеры Комсомольского-на-Амуре государственного университета. В рамках архитектурно-дизайнерского проектирования была выполнена 3D-модель чаши фонтана для дальнейших работ по её восстановлению.

Несмотря на некоторые изменения и потери декоративных элементов, парк «Судостроитель» в большей степени сохранил свою уникальную территорию, ограждение, входные группы, структуру генерального плана, а также характерные стилистические признаки архитектуры советской неоклассики. Но всё же этого недостаточно для полного возрождения функционирования парка.

Исходя из вышеуказанного, для комфортного досуга и отдыха граждан необходимо дополнительно сформировать отдельные функциональные зоны (детские площадки, зоны тихого отдыха, спортивные зоны). Необходимо, применяя инновационные решения и используя новейшие технологии производства, восстановить в современной интерпретации основные парковые сооружения, находящиеся в настоящее время в полуразрушенном состоянии (эстраду, летний киноте-

атр, спортивный зал, общественные туалеты), организовать площадки для тихого и активного отдыха.

Городской парк – это важное общественное пространство города, предназначенное для всех слоёв городского населения: детей, пожилых людей, людей с инвалидностью, горожан с домашними животными, всех, независимо от возраста, пола и рода занятий. Хороший парк не только предназначен для разных поколений, но и помогает их общению. В практическом отношении это выражается в том, что на детской площадке не только находятся игровые элементы для детей, но и располагается теневой навес и места для сидения, где могут отдохнуть родители, которые пришли в городской парк погулять с детьми. Ведь публичные пространства выполняют прежде всего социальную функцию – притяжения социума, поэтому в парке необходимо учитывать интересы всех групп населения. В этой связи необходимо исследовать архитектурные примеры общественных парковых пространств.

Зарубежная и отечественная практика создания городских парков и общественных пространств демонстрирует ряд новых тенденций, которые, прежде всего, связаны с осознанием глобальной экологической роли в жизни людей: это и озеленённые пространства рекреации, и появление абсолютно новых технических средств для формирования парковых ландшафтов, и интеграция публичных пространств с городскими структурами, колористические средовые решения [6, 9-13].

Например, приключенческий ботанический сад для детей в Австралии (Children's WILD PLAY Garden) площадью более 6500 квадратных метров, который был создан для детей в возрасте до 12 лет архитекторами студии ASPECT в Сиднее. В этом парке посетители могут путешествовать через заросли бамбука и перемещаться по мостикам (см. рис. 2). Далее, по пути встречаются артезианский бассейн с ручьями, фонтаны. Такой подход к проектированию парка обуславливает доступное изучение природы детьми. Среда парка для них абсолютно безопасна.

Архитектурная идея становится реализуемой на основе структурирования архитекторами игр детей. Проектируя парк, архитекторы много времени наблюдали за детьми и фиксировали все движения и активности, которые увлекают детей, но при этом не грозят им никакими травмами. Так как через данный парк можно проложить огромное количество маршрутов для путешествия и на каждом из них ребёнок будет чувствовать себя первопроходцем, дети возвращаются сюда снова и снова и парк пользуется популярностью [1].



Рис. 2. Ботанический развлекательный парк для детей, Австралия

Помимо защиты культурно-исторического и природного наследия возникает потребность на получение нового эмоционального опыта. Так появляются парки как мультимедиа-комплексы, а парки с сильной смысловой идеей и продуманным дизайном становятся местом притяжения не только городских жителей, но и туристов и являются отдельной достопримечательностью, частью бренда города, как, например, парк культуры и отдыха, расположенный в г. Краснодаре (см. рис. 3). Благодаря финансированию футбольного клуба «Краснодар» и развитию детскo-

юношеского спорта, бизнесмен Сергей Галицкий выделяет значительную часть бюджета на парк общей площадью в 22,7 гектара, который располагается около стадиона и неоднократно сравнивается с московским парком «Зарядье». Финансирование строительства парка происходит в рамках частной инициативы, и муниципальный бюджет не привлекается.



Рис. 3. Фрагмент парка культуры и отдыха «Краснодар», г. Краснодар

Но, в отличие от г. Краснодара, Комсомольск-на-Амуре достаточно молодой город, поэтому центральный парк должен отвечать всем современным требованиям и запросам граждан. В этом случае сохранение парка «Судостроитель» таким, какой он есть – это есть сохранение его аутентичности, однако, оставляя визуальную форму парка, мы должны наполнить её абсолютно новым содержанием.

Универсальность и многогранность – главные составляющие общественной зоны, иначе городской парк может превратиться в типичное дворовое пространство. Поэтому существует «Сила десяти» – некая концепция для повышения эффективности разработки общественных пространств городской среды. В основе данной концепции лежит идея о том, что общественное пространство должно иметь не менее десяти причин, определяющих его существование, или десять пунктов, необходимых для популяризации того или иного общественного пространства. Однако это не означает, что достаточно разместить десять разных скульптур в парковой зоне.

Для включения парка в городскую среду необходимо создать причины, чтобы люди, которые пришли впервые в это общественное место, возвращались сюда вновь. Для решения этой задачи можно проводить танцевальные вечера в летнее время или организовать литературные кружки на эстрадной площадке, или поставить пианино, чтобы люди приходили играть на нём. Современные молодые люди сегодня не выпускают смартфон из рук, а значит, парки могут использовать это как преимущество, например, для осуществления виртуальных прогулок с помощью дополненной реальности, или же размещения информационных табличек с QR-кодами (см. рис. 4), чтобы таким способом интересно рассказать об исторической ценности этого места. Большие старинные деревья можно популяризовать, связав с ними легенды, поставить информационные таблички, чтобы они становились частью городской культуры и истории.

Таким образом, необходимо непрерывно развивать общественное пространство парка, проводя различного рода фестивали или культурные программы, тогда люди будут возвращаться в это место, оно будет привлекательно как для горожан, так и для бизнесменов. Более того, успешный городской парк будет приносить доход городу благодаря проведению ярмарок или выставок. Не стоит забывать о всесезонности территории, воздействии времени на процесс развития парков. Необходимо учитывать функционирование пространства не только в «праздничном» режиме или в летний период, но и в зимнее время года. Например, центральная площадь парка «Судостроитель» может служить местом для катания на коньках.



Рис. 4. Пример использования QR-кода, ВДНХ, г. Москва

Авторы работы [3] считают, что «организация общественных пространств, их комплексное благоустройство позволяют решить не только архитектурные и ландшафтные проблемы, но и создать места притяжения для горожан, что может подтолкнуть развитие города по новым направлениям». Рост и развитие городов требуют преобразования ландшафтного дизайна парков, поэтому и возникает потребность в проведении реконструкции и благоустройства. Территория должна быть приспособлена к современным условиям, но при этом следует максимально сохранить исторически ценные объекты и имеющуюся растительность. Также необходимо учитывать современный подход формирования среды с учётом дизайн-кода города [7].

В конце 1940-х годов территория парка «Судостроитель» была практически лишена озеленения, исключение – редкие молодые саженцы, поэтому для того, чтобы в короткий срок озеленить парк и максимально высушить территорию, было выбрано одно из противоречивых решений до сегодняшнего дня – высадка тополей. Однако не был учтён факт активного цветения тополя, во время которого в центральном парке города некомфортно находиться долгое время, особенно людям, которые страдают аллергическими реакциями. В таком случае, проблему можно решить высадкой новых, но взрослых деревьев, которые могли бы заменить тополь. Это могут быть берёзы, лиственницы, клёны, рябины и др. Примером колористического решения ландшафта может послужить парк «Краснодар» (см. рис. 5), где озеленили территорию так, что парк меняет цвет в зависимости от сезона.



Рис. 5. Пример колористического решения озеленения территории в парке «Краснодар», г. Краснодар

Современное общественное пространство заключается в свободном доступе и передвижении, в наличии комфортных мест для пребывания людей и сбора дружеских компаний. При проектировании общественных пространств необходимо использовать новые, передовые технологии, но в то же время уделять внимание окружающей среде и экологии. Тогда актуальный и качественный дизайн современного пространства не утратит новизны для будущих поколений.

На сегодняшний день отмечается масштабный рост работ по реставрации архитектурных объектов культурного наследия, вследствие чего повышается уровень комфорта для отдыха населения, создаются не только эффектные, но и эффективные территории. Общественные пространства являются важной и неотъемлемой частью любого города. Результат работы урбанистов, архитекторов и дизайнеров указывает на важность развития данного направления. Поэтому парк «Судостроитель» должен перейти от стадии пассивного зелёного пространства к стадии активного общественного пространства города.

Развитие нового направления в создании актуального, современного облика города и улучшения его пространственной организации предполагает конструктивный подход со стороны городской администрации, бизнеса и самих горожан. Главным в данном подходе является осознание важности общественных пространств не только как элемента архитектурного пространства, но и как элемента развития социальной структуры, которая имеет огромное значение в повышении культуры общественных коммуникаций и уровне комфортного проживания в городской среде.

## ЛИТЕРАТУРА

1. TripAways [Электронный ресурс] / Children's WILD PLAY Garden в пригороде Сиднея. – Режим доступа: <https://tripaways.com/ru/article/view/childrens-wild-play-garden-v-prigorode-sidneya> – свободный. – Загл. с экрана.
2. Галкина, Е. Г. Проблемы в организации общественных пространств современного города и варианты их решения в студенческих проектах (на примере города Комсомольска-на-Амуре) / Е. Г. Галкина, Н. В. Гринкруг // Современные научно-практические технологии. – 2019. – № 3-2. – С. 140-145.
3. Гринкруг, Н. В. Единство природно-архитектурного пространства в ландшафтном дизайне Комсомольска-на-Амуре / Н. В. Гринкруг // XXVI Международная конференция ISUF 2019 Серия конференций ИОР: Земля и наука об окружающей среде. – 2019. – Т. 459.
4. КГБУ «Хабаровский краевой центр охраны памятников истории и культуры» [Электронный ресурс] / Парки города Комсомольск-на-Амуре. – Режим доступа: <http://nasledie27.ru/novosti-npc/212-parki-goroda-komsomolsk-na-amure.html> – свободный. – Загл. с экрана.
5. Сотникова, В. О. Ландшафтная архитектура: учебное пособие / В. О. Сотникова. – 2-е изд. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 145 с.
6. Димитриади, Е. М. Комплексный подход к формированию колористики городской среды / Е. М. Димитриади // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о человеке, обществе и культуре. – 2020. – № 1-2 (41). – С. 9-13.
7. Сохацкая, Д. Г. Предметно-функциональный код как компонент дизайн-кода / Д. Г. Сохацкая // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о человеке, обществе и культуре. – 2019. – № IV-2 (40). – С. 62-66.



Гринкруг Н. В., Михайлова Т. М.  
N. V. Grinkrug, T. M. Mikhailova

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПАНЕЛЬНОМ ДОМОСТРОЕНИИ

### MODERN TRENDS IN PANEL HOUSING CONSTRUCTION

**Гринкруг Наталья Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Дизайн архитектурной среды» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: das@knastu.ru.

**Natalia V. Grinkrug** – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Architectural Environment Design, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk Territory, Komsomolsk-on-Amur, Lenin str, 27. E-mail: das@knastu.ru.

**Михайлова Тамара Михайловна** – студентка кафедры «Дизайн архитектурной среды» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; тел. 8(914)177-15-89. E-mail: m.miesha97@mail.ru.

**Tamara M. Mikhailova** – Student, Department of Architectural Environment Design, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk Territory, Komsomolsk-on-Amur, Lenin str, 27; тел. 8(914)177-15-89. E-mail: m.miesha97@mail.ru.

**Аннотация.** В статье рассмотрены старые и новые тенденции в панельном домостроении, конструкции, материалы. Приводится сравнение.

**Summary.** The article discusses old and new trends in panel housing construction, structures, materials. A comparison is given.

**Ключевые слова:** современность, панельные дома, бетон, утеплитель, материал.

УДК 712

«Панельный дом». При таком словосочетании наше воображение рисует одинаковые, се-рые потрёпанные строения. Скромное количество квадратных метров и «типичные» планировки – стандарт для России, к которому все привыкли. Однако панельное строительство уходит в про-шлое, при этом цены на квартиры не всегда доступны.

Панельный дом – здание, возведённое из готовых железобетонных плит. На заводах изго-товляют отдельные «части» дома, которые в дальнейшем при строительстве собираются, как кон-струектор [1]. В СССР дома из сборного железобетона получили распространение из-за скорости возведения.

Можно вспомнить типовые планировки 60-70 годов: тесные комнаты, микрокухня и объ-единённый санузел. Современные «панельки» возводятся по индивидуальным проектам, благода-ря чему обеспечивается разнообразие планировок: квартиры с раздельными санузлами, простор-ными кухнями, комнаты разного метража. Примером может служить жилой комплекс Grona Lund, расположенный во Всеволожске [3]. Отличительной чертой квартир стали кухни-столовые, пло-щадь которых до 28 м<sup>2</sup>. Также имеются сауны в квартирах, террасы и остеклённые балконы (см. рис. 1). Этот проект ломает все стереотипы о панельных домах.

При строительстве хрущёвок не предполагалось, что советские и российские граждане будут жить в них поколениями. Соответственно, в пятиэтажных зданиях даже не предполагались лифты, не говоря уже о пандусах для мам с колясками и маломобильных граждан. Сейчас же строительные компании и заказчики максимально стараются организовать безбарьерную среду. В некоторых до-мах даже выделяются маленькие помещения для хранения колясок на первом этаже [3].



Рис. 1. Жилой комплекс Grona Lund, Всеволожск

### Конструкции

В принципе, панельные дома проигрывают монолитным и монолитно-кирпичным зданиям. К недостаткам, помимо вышеперечисленных, можно отнести и наличие межпанельных швов. Именно они промерзают и пропускают влагу, из-за этого уменьшается комфортность проживания в зданиях. Конечно, разрабатываются новые строительные технологии и материалы. Если сравнивать старую и новую панель, то, несмотря на усовершенствования, панель останется панелью. По параметрам современные здания кардинально отличаются от советского периода: толщина наружных и внутренних стен увеличилась, кухни просторнее, потолки выше. В XXI веке, в первом десятилетии, появились серии панельных домов, такие как И-155, П-111М, П-3МК «Флагман» [1]. Существующие КОПЕ, П-44, П-3М и другие модернизировались. Их параметры могут различаться, но от старого панельного фонда они серьёзно отличаются.

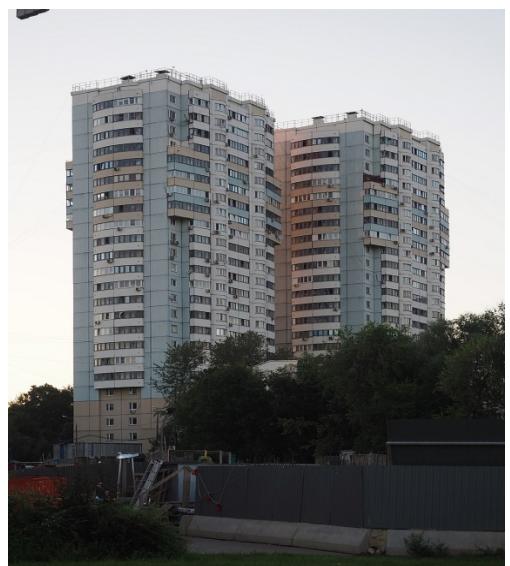


Рис. 2. И-155, одна из панельных типовых серий жилых домов

Серия домов И-155 – одна из панельных типовых серий жилых домов с 2001 года по настоящее время (см. рис. 2) [1]. П-111М – одна из серий типовых крупнопанельных жилых домов [1] с 1996 года по настоящее время (см. рис. 3). П-3МК «Флагман» – улучшенная версия П-3М. П-3М – серия многосекционных панельных домов с 1996 года, в виде немного модифицированных серий продолжается до настоящего времени (см. рис. 4). КОПЕ – серия многосекционных панельных домов, строящихся с 1982 по 2017 год (см. рис. 5). П-44 – типовая серия панельных домов, спроектированная в конце 1970-х годов и строящаяся по 2016 год (см. рис. 6) [1].



Рис. 3. П-111М, одна из серий типовых крупнопанельных жилых домов

Сейчас ведётся работа по совершенствованию. Как выше говорилось, швы – самое большое и слабое место панелек, основные работы и разработки в сфере домостроительства связаны с усовершенствованием герметизации швов. Проблемы со звукоизоляцией и теплоизоляцией частично были решены. К сожалению, проектов с эффективными способами улучшения межпанельных стыков не много. Один из них – это закрытие базальтовым утеплителем. Этот способ не только улучшает звукоизоляцию, но и уменьшает возможность промерзания швов [5]. Также застройщики производят трёхслойные стены, которые в свою очередь состоят из двух пластов бетона, а между ними находится непосредственно утеплитель [5].



Рис. 4. П-3М, серия многосекционных панельных домов

На западе для панельных домов используют конструкции, состоящие из пяти и даже шести слоёв [6].

На данный момент большинство компаний за рубежом используют инновационные техники и технологии, которые рассчитаны на изготовление производимых поштучно изделий: перекрытий, стеновых панелей, дюбера. Из данных изделий создают традиционные панельные здания, в которых пространственная жёсткость распределяется по трём сторонам и контуру. Это позволяет уменьшить напряжение и усилия в целом в конструкции здания или обеспечить их снижение в отдельных конструктивных элементах.

В стеновых панелях с перекрытиями из многопустотного настила безopalубочного формирования герметизация стыков осуществляется с помощью применения высококачественного герметика с высокой точностью геометрии [6].



Рис. 5. КОПЕ, серия многосекционных панельных домов

Посредством современных конструктивных решений производится стягивание вертикальных стыков при их монтаже, что позволяет проводить герметизацию стыков и скрывает их на фасаде здания. Это достигается с помощью применения условной плоскости – монтажного горизонта.

Улучшить панель более чем реально, но это почти всегда означает повышение себестоимости строительства.



Рис. 6. П-44, типовая серия панельных домов

### **Плюсы и минусы**

Учитывая вышеперечисленное, мы должны отметить, что подход к строительству панельных домов изменился в лучшую сторону. Тем не менее существуют как достоинства, так и недостатки. Плюсы:

- Доступные цены. Панельное строительство – самое дешёвое. Затраты на строительство включают в себя и человеческие ресурсы. Для того чтобы возвести дом из железобетонных плит, требуется куда меньше материалов и людей, чем при монолитном и кирпичном строительстве.
- Скорость – панельное строительство сравнивается с конструктором, т.е. рабочим не приходится ждать, когда застынет бетон, готовые детали собираются за несколько месяцев.
- Ровные стены – дома не требуют тщательного ремонта и выравнивания, что позволяет сэкономить время и средства.
- Контроль качества – части дома производятся на заводах при тщательном и строгом контроле и с соблюдением всех технологических норм.
- Дом не даёт усадку – постройки из панелей дают меньшую усадку, чем монолитные и кирпичные, что в свою очередь исключает появление трещин.



Но железобетон не идеален и имеет свои особенности, о которых нужно знать. Минусы:

- Стыки – самое уязвимое место, несмотря на современные технологии строительства.
- Слышимость – панельные дома уступают в шумоизоляции зданиям, построенным из монолита и кирпича.

- Перепланировка невозможна – практически каждая стена в панельках несущая. Если есть задумка изменить пространство за счёт сноса стен, есть риск для жизни. Разрешены только незначительные изменения, к примеру, расширение дверного проёма, однако для этого потребуется согласование.

- Отсутствие подземных парковок. Панельные дома – это недорогой сегмент, «эконом класс». Подземная парковка – сложное и серьёзное строительство, следовательно, в сборных домах за редким исключением подземных парковок нет.

Для подробного рассмотрения плюсов и минусов на примере города Комсомольска-на-Амуре использованы статьи Д. Г. Сохацкой [9; 10].

Раньше панельные дома должны были стать перевалочным пунктом. Сегодня же застройщики по-другому оценивают строительство, будущее видится в железобетонном строительстве. Процент строящегося жилья из железобетонных панелей растёт каждый год. И на сегодняшний день это самый доступный вариант на фоне экономического кризиса и постоянного роста цен. Технологии панельного строительства с каждым годом совершенствуются, качество домов улучшается. Например, сейчас появляются панели с проложенными внутри системами коммуникаций: электрические разводки с розетками, водопровод и канализация. Всё это позволяет ускорить процесс панельного строительства и упростить ремонт.

К тому же у застройщиков появились возможности использовать комбинированные технологии монолитно-панельного строительства. В таких случаях перекрытия отливаются непосредственно из монолита, а вертикальные конструкции собираются из панелей, например, в Финляндии эту технологию активно используют несколько десятилетий, а в нашей стране – с 1990-х годов [8].

В заключение можно сказать, что есть большие возможности для того, чтобы развиваться в сфере панельного строительства и дальше. Кое в чём панельки всё же уступают монолитно-каркасным и кирпичным аналогам, к примеру, даже при всех стараниях невозможно сделать панельные дома такими же сейсмоустойчивыми, как монолитно-каркасные сооружения. Также архитектурные изыски и вычурности невозможны для крупных железобетонных панелей. Для такого гораздо лучше подходят новые строительные технологии.

Практика показывает, что панельное и крупнопанельное строительство выгодно, когда оно производится в больших объёмах, так было во времена СССР, когда нужно было в короткие сроки обеспечивать народ жильём. Стоит упомянуть и об утеплителе, ведь благодаря применению разных современных утеплителей панельные здания соответствуют всем санитарным нормам и правилам. Для изготовления панелей, кроме традиционного бетона, используют другие современные наполнители с теплоизолирующими свойствами: ячеистый бетон, керамзитобетон и др. Также домостроительные комбинаты наладили выпуск сэндвич-панелей (панели с несколькими слоями утеплителя) [6].

Для справки: в 2020 году в крае введено в эксплуатацию на 5,4 % больше жилья. Всего за счёт населения было построено 320,1 тысяч квадратных метров общей площади жилых домов, или 27 %. В 2019 году показатель составлял 23 %.

Подводя итог вышесказанному, хотим отметить, что всё современное панельное строительство не стоит на месте и может в некоторых случаях конкурировать с монолитно-каркасной технологией. Сейчас нет альтернативных технологий, способных обеспечить требуемое и опимальное количество бюджетного жилья при коротких сроках возведения и низкой стоимости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Комсомольск-на-Амуре [Электронный ресурс] / Wikipedia.org – свободная энциклопедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Комсомольск-на-Амуре> (дата обращения: 05.06.2021).
2. Международный и российский опыт благоустройства и озеленения городов [Электронный ресурс] / Студенческая библиотека онлайн, 2013-2021. – Режим доступа: [https://studbooks.net/2329476/nedvizhimost/mezhdunarodnyy\\_rossiyskiy\\_optyt\\_blagoustroystva\\_ozeleneniya\\_gorodov](https://studbooks.net/2329476/nedvizhimost/mezhdunarodnyy_rossiyskiy_optyt_blagoustroystva_ozeleneniya_gorodov) (дата обращения: 06.06.2021).

3. Гасанова, Н. А. Архитектура в постсоветском мире [Электронный ресурс] / LIVEJOURNAL. – Режим доступа: <https://ngasanova.livejournal.com/2575598.html> (дата обращения: 05.06.2021).
4. Кайдалова, Е. В. Ландшафтная архитектура: конспект лекций / Е. В. Кайдалова. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2019. – 162 с.
5. Ачкасова, В. А. Постсоветский ландшафт 2010-х: зоны интересов и «центры силы» / В. А. Ачкасова // Управленческое консультирование. – 2013. – № 10. – С. 63-70.
6. Механизмы формирования позитивного образа России в странах постсоветского пространства / С. В. Беспалов, А. В. Власов, П. В. Голубцов, А. А. Казанцев, А. В. Караваев, В. Н. Меркушев. – М.: Евразийская сеть политических исследований, ИАЦ МГУ по изучению общественно-политических процессов на постсоветском пространстве, 2007. – 114 с.
8. Строительство жилых зданий из крупных панелей. Из опыта Главкиевстроя / А. М. Бойченко [и др.]. – М.: Опыт жилищного строительства, 1961. – 130 с.
9. Сохацкая, Д. Г. Символический код как компонент дизайн-кода культурного пространства города Комсомольска-на-Амуре / Д. Г. Сохацкая // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о человеке, обществе и культуре. – 2020. – № VIII-2 (48). – С. 52-57.
10. Сохацкая, Д. Г. Традиционные модели описания города / Д. Г. Сохацкая // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о человеке, обществе и культуре. – 2018. – № I-2 (37). – С. 50-53.

## НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ SCIENTIFIC LIFE

**Марьин С. Б., Куриный В. В., Вялов А. В.**  
**S. B. Maryin, V. V. Kuriny, A. V. Vyalov**

### **К ЮБИЛЕЮ КАФЕДРЫ «АВИАСТРОЕНИЕ»: ИСТОРИЯ СТУДЕНЧЕСКОГО КОНСТРУКТОСКОГО БЮРО САМОЛЁТОСТРОИТЕЛЬНОГО ФАКУЛЬТЕТА**

### **TO THE ANNIVERSARY OF AIRCRAFT ENGINEERING DEPARTMENT: THE HISTORY OF THE STUDENT DESIGN BUREAU OF AIRCRAFT BUILDING FACULTY**

**Марьин Сергей Борисович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Авиастроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

**Sergey B. Maryin** – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

**Куриный Владислав Викторович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

**Vladislav V. Kuriny** – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Computer-Aided Design Systems, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

**Вялов Александр Вениаминович** – кандидат технических наук, доцент (Россия, Комсомольск-на-Амуре).  
E-mail: avvs56@mail.ru.

**Aleksandr V. Vyalov** – PhD in Engineering, Associate Professor (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: avvs56@mail.ru.

**Аннотация.** В статье представлены сведения по истории студенческого конструкторского бюро самолётостроительного факультета Комсомольского-на-Амуре политехнического института.

**Summary.** The article presents information on the history of the student design bureau of the aircraft building faculty of the Komsomol-on-Amur Polytechnic Institute.

**Ключевые слова:** история, студенческое конструкторское бюро, самолётостроительный факультет, летательный аппарат, экраноплан.

**Key words:** history, student design bureau, aircraft building faculty, aircraft, ekranoplan.

УДК 908(470+571.620)

В этом году кафедра «Авиастроение» (Технология самолётостроения) Комсомольского-на-Амуре государственного университета отмечает свой 60-летний юбилей. В этой статье будут представлены сведения по истории студенческого конструкторского бюро самолётостроительного факультета Комсомольского-на-Амуре политехнического института (КнАПИ), с 1993 года Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, в настоящее время Комсомольского-на-Амуре государственного университета (КнАГУ). История студенческого конструкторского бюро неразрывно связана с историей кафедры «Авиастроение».

Студенческое конструкторское бюро (СКБ) самолётостроительного факультета (ССФ) было создано по инициативе студентов-самолётчиков, а также молодых преподавателей А. Г. Генова и А. И. Никитина в 1968 году.

СКБ ССФ было организовано в институте первым, на других факультетах СКБ будут формироваться позднее, а официальные приказы по вузу об их создании датируются серединой 80-х годов.

Главное направление работ СКБ на начальном этапе было связано с проектированием, постройкой и испытаниями летательных аппаратов серии ЭЛА (экспериментальный летательный ап-

**Марьин С. Б., Куриный В. В., Вялов А. В.**

К ЮБИЛЕЮ КАФЕДРЫ «АВИАСТРОЕНИЕ»: ИСТОРИЯ СТУДЕНЧЕСКОГО  
КОНСТРУКТОСКОГО БЮРО САМОЛЁТОСТРОИТЕЛЬНОГО ФАКУЛЬТЕТА

парат), использующих эффект влияния экрана, второе направление работы СКБ – создание рекордных летательных аппаратов, третье направление работы СКБ – создание лёгких многоцелевых и других видов летательных аппаратов, изготовление моделей.

Всего за годы существования СКБ в его стенах было спроектировано, построено и испытано почти полтора десятка аппаратов различного назначения.

В 1976 году коллектив СКБ стал лауреатом премии Хабаровского комсомола в области науки и техники.

Кроме создания летательных аппаратов студенты в СКБ также принимали участие в научно-исследовательской работе.

Первыми научными руководителями СКБ самолётостроительного факультета были А. Г. Генов и А. И. Никитин, преподаватели кафедры «Технология самолётостроения». Официально СКБ было признано приказом министерства высшего образования структурной единицей института со штатом из одной единицы (начальник СКБ) в 1970 году. Первым начальником СКБ был официально утверждён В. В. Фролов. Затем начальниками СКБ были В. И. Елин, П. Г. Ткаченко, И. В. Чепурных, Н. Н. Надёжкин. Также в этой должности работали В. В. Тишаков, Е. В. Леонкин, А. Л. Морозов, С. В. Белых, А. А. Перевалов.

Выделение штатной должности начальника СКБ ССФ было связано с тем, что бюро работало по реальным хоздоговорам, заключаемым с предприятиями (ОКБ им. П. О. Сухого, МАИ). Многими работами фактически руководили студенты. Руководителями хоздоговоров в разное время были В. В. Фролов, В. П. Котляров, П. Г. Ткаченко, И. В. Чепурных.

Первой работой СКБ ССФ было проектирование «Гибколёта» – безмоторного летательного аппарата, выполненного по схеме бесхвостка со стреловидным гибким крылом, взлёт и посадка которого могли быть произведены с помощью ног пилота. Позднее такие летательные аппараты стали называться дельтапланами. Студентами В. П. Котляровым и В. В. Фроловым было выполнено проектирование, затем была изготовлена модель аппарата и проведены испытания. При выполнении одного из испытательных полётов модель получила повреждения, и работу в этом направлении решили не продолжать, так как уже полученный опыт позволял перейти к более серьёзным разработкам.

Начались работы по проектированию летательных аппаратов направления ЭЛА. В процессе развития этой тематики были выполнены проектировочные работы и затем изготовлена модель экраноплана ЭЛА-5 (обозначение по номеру варианта проекта). В работе участвовали студенты В. П. Котляров, В. В. Фролов, С. И. Феоктистов. В 1970 году модель демонстрировалась в Москве на выставке научно-технического творчества молодёжи (НТТМ-69) на ВДНХ СССР и была удостоена бронзовой медали выставки. Это была первая медаль ВДНХ, полученная в институте.

Опыт, полученный при работе над ЭЛА-5, был использован при создании аппарата ЭЛА-7 «Альбатрос». Работа над ним велась группой студентов с 1969 по 1971 годы. По итогам проведённых проектировочных и исследовательских работ в 1970 году был выполнен и защищён дипломный проект В. П. Котляровым и В. В. Фроловым. В 1971 году по этой тематике защитили колективный дипломный проект С. И. Феоктистов, В. Д. Блощинский, Л. В. Мостовой, А. И. Сыпало, В. А. Яковлев и др. Активное участие в проектировании и изготовлении аппарата принимали А. Я. Маранов, П. Г. Ткаченко. Консультирование осуществлял А. И. Никитин. Летательный аппарат ЭЛА-7 был изготовлен и прошёл испытания. Испытания ЭЛА-7 проводились летом 1971 года на озере Мылки. Из-за малой тяги винта аппарат не развивал скорость более 25 км/ч, двигался в переходном режиме и не выходил на режим чистого глиссирования. Было сделано несколько неудачных попыток вытащить экраноплан на глиссирование, буксируя его за катером «Амур». Основные испытания проводились по исследованию эффекта разгрузки за счёт поддува воздушной струи от винта под днище центроплана на швартовах. Разгрузка достигала 100 кг при максимальной тяге винта.

Дальнейшим развитием серии ЭЛА стал экраноплан ЭЛА-8 «Утка», который проектировали с учётом выявленных недостатков конструкции экраноплана ЭЛА-7. В 1973 году результаты



работы использовали В. И. Елин, А. Ф. Лядвин, В. Е. Сидоров при выполнении коллективного дипломного проекта.

Аппарат изготавлили в одном из цехов авиационного завода в первой половине 1974 года силами студентов дневного и вечернего отделений. Руководили строительством студенты-самолётчики братья-близнецы Геннадий и Юрий Дрыгины.

Первая попытка взлёта ЭЛА-8 была предпринята в середине июня 1974 года в районе посёлка имени Менделеева (старая площадка) возле лодочной стоянки. Аппаратом управлял П. Г. Ткаченко. В процессе разбега экраноплан попал на волну от проходившей рядом моторной лодки. В результате воздушный винт, чиркнув по воде, разрушился. Серьёзно пострадала и мотор-рама. После восстановления экраноплан проходил испытания осенью 1974 года на Хорчинском озере и осенью 1975 года на озере Мылки. Поддув обеспечивал разгрузку до 250 кг, скорость на пробежках – до 30 км/ч. Позднее студенты под руководством И. В. Чепурных доработали аппарат, установив на нём лыжное шасси, и в марте 1976 года испытали модификацию ЭЛА-8М на аэросанной трассе на правом берегу р. Амур в районе пос. Менделеева. Аппарат развивал большую скорость и имел значительную аэродинамическую разгрузку, но неустойчивая работа силовой установки и плохое состояние аэросанной трассы помешали ему выйти на расчётный режим движения. В работе над экранопланом и в испытаниях участвовали Г. А. Железняк, В. Д. Борисенко, В. И. Козубенко, О. В. Сущинский. В испытаниях принимали участие Н. Н. Надёжкин, В. А. Тихомиров, В. Г. Носов, А. В. Косыгин, В. И. Асавлюк.

После работ по ЭЛА-8 в СКБ ССФ приступили к проектированию нового экраноплана. Проектирование экраноплана ЭЛА-13 выполняли И. В. Чепурных, Н. Н. Надёжкин, Н. Дубовицкая, В. И. Асавлюк.

В 1977 году молодые преподаватели и сотрудники университета И. В. Чепурных, В. А. Макаров, Н. Н. Надёжкин, В. Г. Носов и В. И. Асавлюк приступили к строительству экраноплана ЭЛА-13, в конструкции которого постарались максимально учесть опыт эксплуатации предыдущих аппаратов.

Экраноплан ЭЛА-13 проходил испытания летом 1978 и 1979 годов на амурской протоке Беренда возле пионерского лагеря «Амурчонок». По результатам испытаний 1978 года, когда были совершены две неудачные попытки полёта в экранном режиме, провели доработки конструкции. Центровку аппарата изменили за счёт смещения кабины пилота и силовой установки вперёд, увеличили площадь горизонтального оперения, убрали роговую компенсацию на руле высоты, значительно повысили жёсткость проводки управления в канале тангажа. В результате получили экраноплан ЭЛА-13М. На нём в 1979 году было выполнено несколько десятков полётов. Аппарат продемонстрировал хорошую устойчивость и управляемость на режимах как вблизи экрана (10-20 см от воды), так и вдали от него (до 10 м). При полёте змейкой угол крена доходил до 150°, скорость полёта – до 110 км/ч. Летал на экраноплане В. Г. Носов, который по специальности был авиационным инженером, а не лётчиком-испытателем.

Второе направление работы СКБ ССФ было связано с созданием рекордных аппаратов. В 1972 – 1974 годах под руководством сотрудника ФОКБ им. П. О. Сухого Б. В. Ракитина (главный конструктор спортивных самолётов Су-26, Су-29, Су-31 и их модификаций) был разработан проект экспериментального рекордного гидросамолёта-амфибии ЭРА-9.

Первыми над этим самолётом работали дипломники 1972 года выпуска: П. Г. Ткаченко, А. Я. Маранов, Л. С. Маранова, А. П. Лачкова, С. Г. Седой, В. В. Горобец, А. В. Прошева, С. Ф. Стреха. Это был коллективный дипломный проект с глубокой проработкой агрегатов. Позднее при разработке и изготовлении макета гидросамолёта ЭРА-9 активное участие принимал В. А. Тихомиров и другие студенты. В 1974 году по ЭРА-9 выполнили коллективный дипломный проект выпускники В. А. Тихомиров, А. А. Трегубов, В. Г. Сенин, Е. В. Сергеев, А. С. Соболев, Б. Л. Соколов, Л. П. Коробова, Л. Н. Чернецкая, В. А. Шкуратов. В работе над ЭРА-9 принимали участие А. А. Башев, А. А. Зернов, А. В. Садаков, А. Ф. Гладких, А. А. Казаков, А. Б. Сокол, защищившие дипломный проект по этой теме в 1975 году.

Был изготовлен натурный макет ЭРА-9, который демонстрировался в 1978 году на выставке НТТМ-78 (ВДНХ СССР) и был удостоен бронзовой медали выставки.

Третье направление работы СКБ связано с созданием лёгких многоцелевых летательных аппаратов. В 1980 – 1981 годы был построен одноместный гидросамолёт «Полибол», названный так по начальным буквам фамилий авторов: П. В. Полищук, В. Н. Литвинского и Д. Н. Бочарова. Взлётный вес гидросамолёта – 290 кг, размах крыла – 8 м. Во время испытаний самолёт потерпел аварию, наскочив поплавком на мель, и после этого не восстанавливался. Но это была не первая работа молодых конструкторов. В 1978 – 1979 годах, ещё будучи студентами, они построили виропланер – планер, у которого вместо крыла был несущий винт диаметром 6,2 м, который раскручивался от набегающего потока. В проектировании, изготовлении и испытаниях аппарата непосредственное участие принял К. В. Жеребко. Виропланер вначале испытывался на поплавках, после установки полозьев – по льду на р. Амур. В ходе испытаний весной 1979 года при буксировке виропланера за мотоциклом «Урал» был выполнен подлёт высотой до 2 м, при повторном заезде аппарат потерпел аварию при разбеге.

В рамках научно-исследовательских работ по изучению характеристик шасси самолётов на воздушной подушке в 1981-1982 годах В. Н. Литвинский и П. В. Полищук начали изготовление одноместного самоходного аппарата на воздушной подушке (АВП). Длина АВП 3,8 м, ширина 1,9 м, двигатель «Вихрь-30». Поступательное движение и путевое управление обеспечивались истечением воздуха из кормовой и боковых заслонок. На этапе доработки конструкции АВП и испытаний в 1984 году к работе подключился И. В. Чепурных. На этапе изготовления корпуса АВП работали студенты В. Н. Дегтярев, И. Ю. Жуков, А. А. Витязев, Ю. В. Кузнецов. На этапе монтажа систем, доработки конструкций работали студенты В. С. Черкас и А. М. Иванов. АВП был построен и прошёл испытания на суше и воде.

В 1982 году в Москве на выставке НТТМ-82 (ВДНХ СССР) демонстрировался созданный в СКБ ССФ микросамолёт «Колибри», который был удостоен серебряной медали выставки. Автор проекта студент С. А. Андреев. Самолёт имел минимальные размеры, его фюзеляж составляла только кабина пилота. По компоновке он напоминал известный самолёт Дж. Беде BD-5 «Micro». Первоначальной отличительной особенностью «Колибри» было то, что исходный вариант самолёта – моноплан с низко расположенным крылом – можно было на земле за несколько минут трансформировать в биплан. Однако эта идея не была доведена до рабочего состояния из-за сложности и малой жёсткости разработанной конструкции выпуска и уборки второго крыла, и в дальнейшем С. А. Андреев перешёл к схеме чистого биплана. В создании самолёта участвовали студенты А. А. Акимов, В. П. Лукашевич, А. Г. Соломатин, В. В. Гаврилюк, Ю. В. Васильев, А. Л. Морозов и др. В 1989 году на Всесоюзном конкурсе сверхлёгких летательных аппаратов СЛА-89 в г. Риге «Колибри» совершил два первых полёта.

В 70-90 годах прошлого века при аэроклубе авиационного завода Комсомольска-на-Амуре активно работала планерная школа, где впервые поднялись в воздух многие школьники и студенты. Летали курсанты на планерах Бро-11 и КАИ-12 «Приморец». Среди инструкторов планерной школы были и студенты-самолётчики, активно работавшие в СКБ. С 1981 по 1986 годы на производственных площадях школы было построено несколько планеров первоначального обучения Бро-11М, Са-9 и Са-9М. В работе по изготовлению планеров принимали участие студенты А. В. Осипов, В. А. Баюсов, А. В. Белаш, А. В. Александров, И. Я. Каримов.

В 1987 и 1989 годах планеры демонстрировались на Всесоюзных конкурсах СЛА в Москве и Риге.

В 1984 году Е. В. Леонкиным было выполнено проектирование и изготовление дистанционного пилотируемого летательного аппарата (ДПЛА) Грач-4. В 1985 году на выставке НТТМ-85 (ВДНХ СССР) ДПЛА Грач-4 был удостоен серебряной медали.

В 1995-1996 годы под руководством Е. В. Леонкина студентами В. А. Гниляком, А. В. Курьяновым и С. С. Ермишкиным была построена реплика первого российского удачно летавшего самолёта «Кудашев-3» в масштабе 7/8. Оригинал был разработан экстраординарным профессором Киевского политехнического института князем Александром Сергеевичем Кудашевым в 1909 го-



ду. Реплика самолёта «Кудашев-3» демонстрировалась на международном авиакосмическом салоне MAKS-97 в Москве.

С апреля 2017 года в СКБ ведутся работы по изготовлению самолёта, предназначенного для первоначального лётного обучения. За основу конструкции взят североамериканский проект двухместного самолёта CH 750 STOL. В работах по изготовлению самолёта участвуют студенты, в том числе и иностранные. Изготовлены фюзеляж, консоли крыла, оперение, выполнены работы по монтажу силовой установки.

В настоящее время в СКБ также ведутся работы по проектированию и изготовлению беспилотных летательных аппаратов.

В статье представлены не все сведения, связанные с деятельностью СКБ ССФ, и, естественно, есть неточности при описании некоторых событий. Работа по сбору материалов о работе СКБ продолжается, все замечания и дополнительную информацию можно передать лично авторам статьи или выслать на электронную почту по адресу: [as@knastu.ru](mailto:as@knastu.ru).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иващенко, В. Пора зрелости: Комсомольскому-на-Амуре государственному техническому университету 50 лет / В. Иващенко. – Хабаровск: Дальневосточное книжное издательство «Приамурские ведомости», 2005. – 192 с.
2. Колыхалов, Д. Г. Взлётная полоса университета: самолётостроительному факультету КнАГТУ 50 лет / Д. Г. Колыхалов, С. И. Феоктистов. – Комсомольск-на-Амуре, 2010. – 138 с.

# Содержание

## АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Гусева Р. И., Гусева Ж. И.

МОДУЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И УЧЁТА ОТКАЗОВ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ ВЕРТОЛЁТА .....	4
--	---

## ЭНЕРГЕТИКА

Шаломов В. И.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАМЕЩАЮЩЕЙ ТУРБИНЫ С ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ СВЕЖЕГО ПАРА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ТУРБОУСТАНОВОК СЕМЕЙСТВА Т-100 .....	11
Ющенко Л. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРЕМЕЩАЮЩЕГОСЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ .....	19

## УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

Иванов С. Н., Колесник М. Б., Колосенко Ю. Б.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СОВМЕСТИМОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ЛИНЕЙНЫМ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА .....	24
--	----

Игнатьев Ф. Ю., Колесникова О. В., Лелюхин В. Е.

ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДИМОСТИ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ .....	30
---	----

Колесникова О. В., Рупинец И. С.

ВЛИЯНИЕ СЕРИЙНОСТИ НА СТРАТЕГИЮ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ .....	38
--	----

Соловьев В. А., Малюкова А. И.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ РУБИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ .....	47
---	----

Фецов С. С.

О МОДЕЛИРОВАНИИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПОРИСТЫХ САМОРАЗОГРЕВАЮЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ОБЪЁМОВ .....	52
--	----

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

Кравченко Е. Г., Алтухова В. В., Серёдкина Е. А., Гамаюнова А. С.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ .....	55
---	----

Рахчеев В. Г., Максимов И. С., Галанский С. А., Мустафин А. Г.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ ГОЛОВОК РЕЛЬСОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ .....	65
--	----

Щелкунов Е. Б., Виноградов С. В., Щелкунова М. Е., Карпенко В. А.

РАБОЧИЙ ЭЛЕМЕНТ МЯГКОГО ЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА .....	70
---	----

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНEDЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Младова Т. А., Муллер Н. В.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРАНИЦ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА КОМСОМОЛЬСКА-НА-АМУРЕ .....	79
---	----

Никифорова Г. Е., Жданакаева М. В., Литовкина А. А.

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА БИОИНДИКАЦИИ КАК ИНСТРУМЕНТА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ГОРОДА .....	91
--	----

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Галкина Е. Г., Зубкова К. С.

АНАЛИЗ УСПЕШНОГО ОПЫТА ОРГАНИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ЖИЛЫХ
--

КВАРТАЛОВ В РОССИИ .....	96
--------------------------	----

Галкина Е. Г., Полещук А. Д.

ДИЗАЙН-КОНЦЕПЦИЯ БЛАГОУСТРОЙСТВА ПАРКА КУЛЬТУРЫ И ОТДЫХА «СУДОСТРОИТЕЛЬ» (Г. КОМСОМОЛЬСКА-НА-АМУРЕ) .....	103
--	-----

Гринкруг Н. В., Михайлова Т. М.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПАНЕЛЬНОМ ДОМОСТРОЕНИИ .....	110
--	-----

## НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

Марын С. Б., Куриный В. В., Вялов А. В.

К ЮБИЛЕЮ КАФЕДРЫ «АВИАСТРОЕНИЕ»: ИСТОРИЯ СТУДЕНЧЕСКОГО КОНСТРУКТОСКОГО БЮРО САМОЛЁТОСТРОИТЕЛЬНОГО ФАКУЛЬТЕТА .....	116
---	-----

Научное издание

Учёные записки КнАГТУ

2021 № V (53)

Науки о природе и технике

Выпускающий редактор

С. Н. Иванов

Подписано в печать 25.09.2021

Дата выхода в свет 29.09.2021

Формат А4.

Бумага офисная 80 г/м<sup>2</sup>.

Усл. печ. л. 13,63.

Уч.-изд. л. 17,18.

Тираж 200. Заказ 30394.

Отпечатано в типографии

КнАГУ

681013,

г. Комсомольск-на-Амуре,

пр. Ленина, д. 27.

