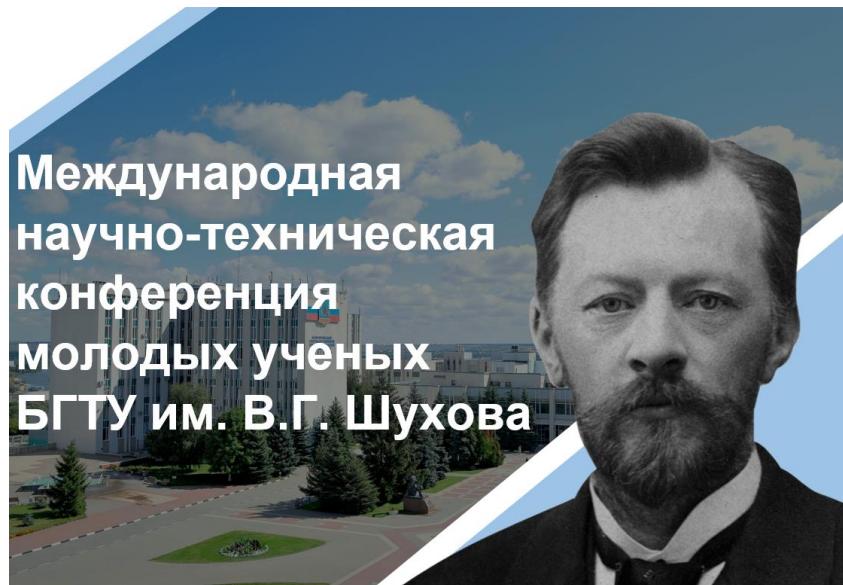


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Российская академия наук  
Российская академия архитектуры и строительных наук  
Администрация Белгородской области  
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова  
Международное общественное движение инноваторов  
«Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»



## Сборник докладов

### Часть 7

**Высокоэффективные технологические процессы  
машиностроительных производств, технологическая  
робототехника**

**Белгород  
29-30 мая 2025 г.**

УДК 005.745  
ББК 72.5+74.48  
М 43

**Международная научно-техническая конференция  
молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова  
[Электронный ресурс]:  
Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2025. – Ч. 7. – 149 с.**

ISBN 978-5-361-01461-3

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова.

Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами энергоснабжения и управления в производстве строительных материалов, архитектурных конструкций, электротехники, экономики и менеджмента, гуманитарных и социальных исследований, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745  
ББК 72.5+74.48

**ISBN 978-5-361-01461-3**

©Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2025

**УДК 670.2**

**Вдовина Ю.Н.**

**Научный руководитель: Павлюченко Д.Г., ст. преп.**

**Белгородский государственный технологический университет**

**им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия**

## **ГИБРИДНАЯ СВАРКА**

Сварка — это широкий спектр технологий, позволяющих соединять различные материалы. Существует множество способов сварки, каждый со своими особенностями. К наиболее распространенным относятся сварка электронным лучом, лазерная сварка, сварка дуговым методом и газовая сварка. Каждый из этих методов использует различные источники энергии для плавления и соединения материалов. Например, лазерная сварка использует высококонцентрированный лазерный луч, дуговая сварка — электрическую дугу, а газовая сварка — пламя горючего газа.

В стремлении улучшить качество и эффективность сварки, были разработаны комбинированные методы, например, гибридная сварка. В чем же сущность гибридной сварки? Этот метод объединяет преимущества лазерной и дуговой сварки, используя лазер для точного и глубокого проплавления материала, а дугу — для более равномерного распределения тепла и лучшего контроля процесса. В результате, гибридная сварка может обеспечить высокую скорость, прочность и качество шва, недостижимые при использовании каждого метода по отдельности.

Гибридная лазерно-дуговая сварка, технология, появившаяся в судостроении еще в прошлом веке, претерпела за прошедшие десятилетия впечатляющую эволюцию. В частности, разработка и внедрение высокоэффективных и надежных волоконных лазеров совершили революцию в этой области. Благодаря волоконным лазерам, они стали гораздо более доступными и простыми в использовании, приблизившись к статусу обыденных производственных инструментов. Востребованность гибридной лазерно-дуговой сварки ежегодно увеличивается. Этот метод сварки превосходит традиционные подходы как по скорости работ, так и по качеству получаемых сварных швов. Так, гибридная лазерно-дуговая сварка позволяет в 3–5 раз увеличить производительность сварочных работ при таком же уменьшении издержек. А принимая во внимание, что при постройке корпусов судов трудоемкость и затраты на сварку составляют примерно 40% от общей стоимости строительства корпуса судна, эффект от внедрения

гибридной лазерно-дуговой сварки возрастает кратно. Высокие свойства сварных швов подтверждает ряд испытаний гибридной лазерно-дуговой сварки. Швы обладают равнопрочностью, а ударная вязкость металла шва и околосшовной зоны при низкой температуре имеет двукратный запас.

Компоненты гибридной лазерно-дуговой сварки (Рис.1):

1. Лазерный источник — генерирует узконаправленный лазерный луч высокой мощности.
2. Дуговой сварочный источник (MIG/MAG/TIG) — формирует электрическую дугу между электродом и деталью.
3. Сварочная горелка — объединяет лазерный луч и дуговой электрод в одной зоне воздействия.
4. Металлическая заготовка — свариваемые детали.
5. Защитный газ — предотвращает окисление сварочной ванны (например, аргон или смесь аргона с CO<sub>2</sub>).
6. Подача присадочной проволоки (если используется MIG/MAG).
7. Зона сварки (сварочная ванна) — область плавления металла от воздействия лазера и дуги.
- 8.

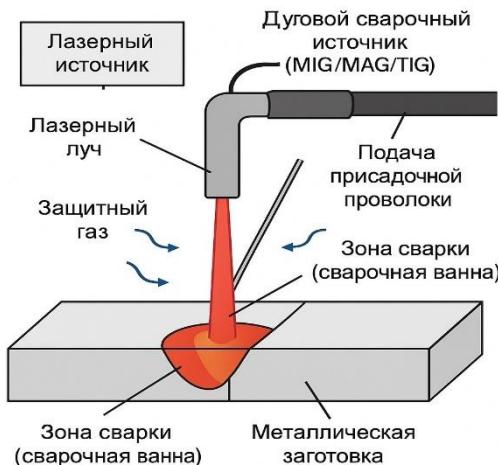


Рис.1 Схема гибридной лазерно-дуговой сварки

Описание процесса:

Гибридная лазерно-дуговая сварка сочетает два источника тепла:

1. Лазерный луч — обеспечивает глубокое проплавление благодаря высокой концентрации энергии.

2. Дуговой разряд — стабилизирует процесс, расширяет зону плавления и улучшает заполняемость зазора.

Процесс происходит следующим образом:

1. Лазерный луч фокусируется на поверхность металла и создает узкую, но глубокую зону проплавления — "ключевой канал".

2. Одновременно дуга расплавляет верхний слой металла и подает присадочную проволоку, обеспечивая заполнение зазора и устойчивость сварочной ванны.

3. Оба источника тепла действуют синхронно и в одной сварочной зоне, дополняя друг друга: лазер дает высокую скорость и глубину, а дуга — устойчивость и адаптацию к зазорам.

4. Защитный газ обдувает зону сварки, исключая воздействие кислорода и азота.

Технический прогресс в области сварочного оборудования заметно расширил возможности гибридной лазерно-дуговой сварки, особенно в контексте работы с материалами большой толщины. Если раньше стандартной считалась сварка листов толщиной около 5 мм, то современные промышленные установки уже способны выполнять сварку за один проход на толщине 10–15 мм. Более того, в лабораторных условиях удается достигать ещё более впечатляющих результатов — удачная сварка листов толщиной до 20–25 мм за один проход. Однако, несмотря на такие достижения, перенос этих технологий в серийное производство остается серьёзной проблемой. Масштабирование лабораторных решений под реальные производственные условия связано с рядом сложностей, значительно усложняющих и без того непростой процесс сварки.

Именно поэтому в промышленности при работе с толстолистовым металлом всё ещё широко используют многопроходную сварку, а в ряде случаев — и двустороннюю. Эти методы позволяют достичь требуемого качества шва, хотя и сопровождаются увеличением времени выполнения работ и ростом трудозатрат. Это объясняется тем, что попытки упростить процесс за счёт выполнения сварки за один проход при большой толщине металла зачастую снижают стабильность и надёжность процесса. В условиях серийного производства, где критичны постоянство качества и высокая производительность, такие компромиссы неприемлемы. Поэтому, несмотря на впечатляющие результаты лабораторных испытаний, массовое применение гибридной лазерно-дуговой сварки для толстых металлов за один проход остается ограниченным. Традиционные подходы по-прежнему занимают важное место в производственной практике. В то же время исследовательские усилия продолжаются: они направлены на устранение текущих

технологических сложностей и разработку более надёжных и производительных решений для однопроходной сварки толстолистовых материалов.

Гибридная сварка — это современный подход, объединяющий в себе лучшие качества лазерной и дуговой сварки. Благодаря такому сочетанию удается повысить эффективность процесса, улучшить качество сварных швов, а также уменьшить внутренние напряжения в материале. Эта технология позволяет работать с разными типами металлов и конструкций, что делает её особенно универсальной. Сейчас гибридную сварку активно внедряют в таких отраслях, как судостроение, производство автомобилей и авиационная промышленность. Несмотря на то, что реализация этой технологии требует серьёзных затрат и квалифицированной настройки оборудования, её перспективность не вызывает сомнений — она уверенно занимает важное место в развитии современных методов сварки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сысоев, А. В., и Ершов, В. А. «Гибридная сварка: лазерно-дуговая технология и её применение в промышленности». // Автоматическая сварка, №2, 2020, с. 10–16.
2. Калашников, А. Н. Гибридные процессы сварки: теория и практика. – М.: Машиностроение, 2019.
3. Попков Ю.В., Обернихин Д. В., Фролов Н. В. Влияние параметров контактной точечной сварки на прочность крестообразных соединений металлической арматуры. // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2015. - № 1. - С. 22–26.
4. Попов, В. И., Чернов, А. Н. «Влияние режимов гибридной сварки на формирование сварного шва». // Сварочное производство. – 2020. – №6. – С. 22–26.
5. Николаев, Е. А., Юдин, И. Н., «Повышение производительности сварки с применением лазерно-дугового гибридного процесса» // Автоматическая сварка. – 2019. – №9. – С. 18–22.

УДК 621.9

*Воронков И.Е., Воротынцев Д.Д.*

*Научный руководитель: Воронкова М.Н., канд. техн. наук, доц.*

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

# АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛА ТОКАРНОГО СТАНКА В СПЕЦИАЛЬНОМ ПРОГРАММНОМ МОДУЛЕ

Целью работы является автоматизированное проектирование технологического процесса, с получением пакета технической документации для изготовления вала. Данная задача может быть выполнена с использованием специализированных CAD-систем, таких как КОМПАС-3D, КОМПАС-Shaft 2D, Вертикаль, позволяющих выполнить в ходе проектирования проектные и проверочные расчеты.

На начальном этапе при проектировании производится создание параметризованной модели в среде КОМПАС-Shaft 2D. На этом этапе проектирования создается ступенчатый вал (Рис. 1). В КОМПАС-Shaft 2D это реализуется максимально просто и требует лишь ввода основных размеров, параметров геометрического элемента. Создание на валах шлицевых поверхностей, шпоночных пазов, фасок, канавок и других элементов упрощается дополнительными функциями программного модуля. Все остальные необходимые для построения 3D-моделей данные модуль рассчитывает автоматически. Проектирование на данном этапе происходит как по внешнему контуру детали, так и по внутреннему.

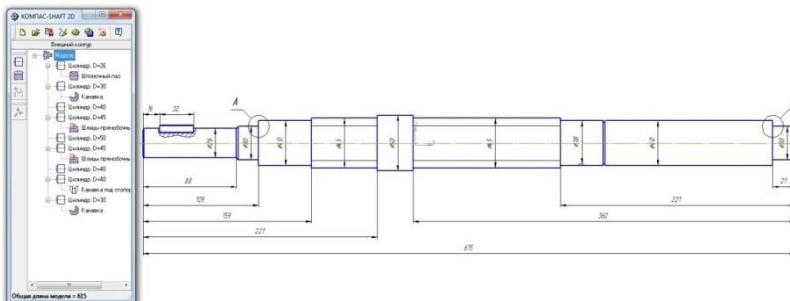


Рис.1. Эскиз ступенчатого вала в КОМПАС-Shaft-2D

После проектирования детали, как правило, выполняются проверочные расчеты. На вал действуют вращающий момент и радиальные силы. Значения внешних сил известны; геометрические характеристики вала тоже определены. Для выполнения проверочных расчетов в программном модуле к модели прикладываются действующие нагрузки (величина вращающего момента была уже введена при расчете зубчатой передачи). Прикладываемая нагрузка распределяется в соответствии с конструкцией передачи, т.е. реализуется схема нагружения, – как действует вращающий момент – на весь вал или на его определенную часть, указываются точки приложения радиальных сил или результирующего вектора, вводятся их величины и направления. Приложенные к конструкции внешние силы и моменты отображаются на модели в виде стрелок (Рис. 2).

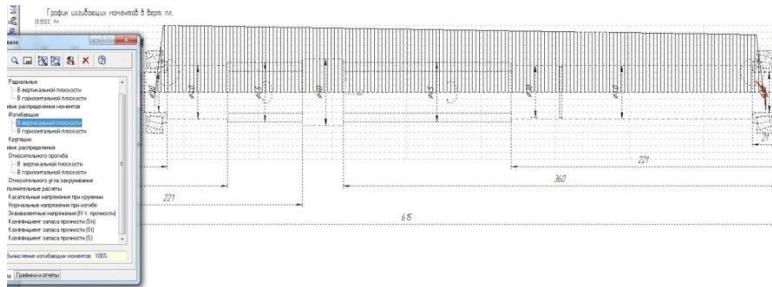


Рис.2. Расчёт и построение эпюр изгибающих моментов

В ходе проектирования генерируется трехмерная цифровая модель изделия (Рис. 3), что позволяет наглядно представлять те или иные конструктивные элементы.

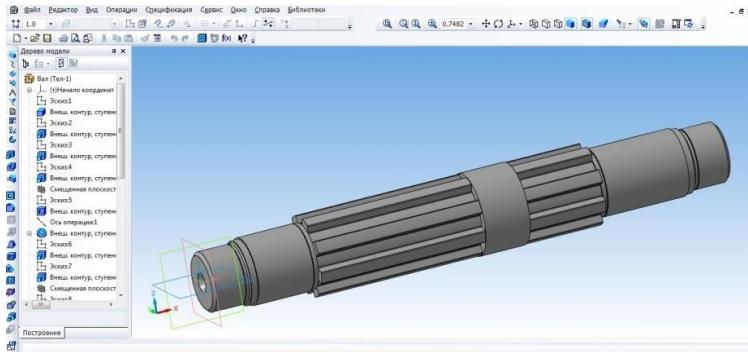


Рис.3. Генерированная трехмерная цифровая модель вала

При получении твердотельной модели вала, создаем чертеж вала (Рис. 4) с ассоциативным видом. Вид связан с моделью: изменения в модели приводят к изменению изображения в ассоциативном виде. Пока ассоциативный вид сохраняет связь с моделью, редактирование геометрических объектов, составляющих проекцию модели, невозможно. При необходимости связь между видом и моделью может быть разрушена. Для разреза/сечения имеется возможность назначить «неразрезаемые» компоненты изделия (детали или подсборки). Имеется возможность синхронизировать данные в основной надписи чертежа (обозначение, наименование, массу) с данными из файла модели.

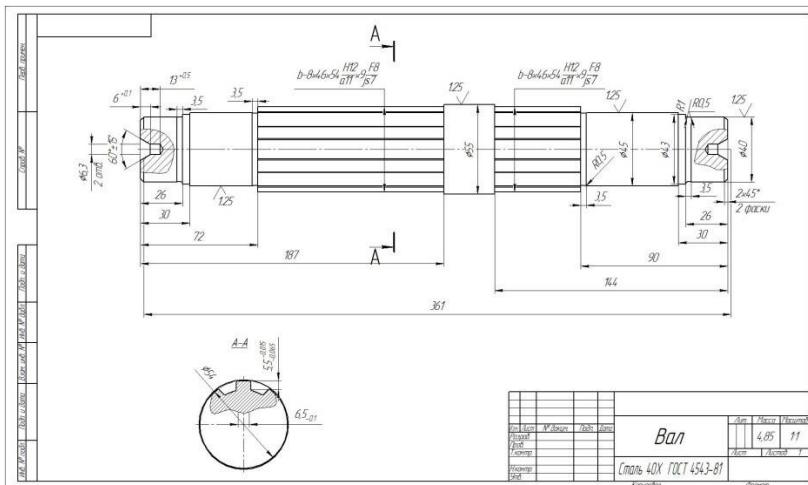


Рис. 4. Чертеж вала

Наличие 3-D модели и чертежа вала, дает возможность приступить к созданию технической документации, для этого воспользуемся Вертикаль. При добавлении ранее созданной модели, автоматически наследуется и вся информация об изделии. Приступаем к созданию последовательности механической обработки: добавляем операции, основные и вспомогательные переходы, режущие и вспомогательные инструменты, оборудование (Рис. 5).

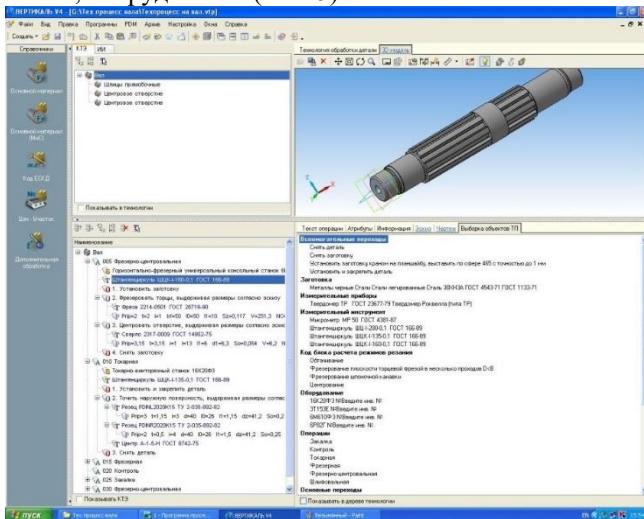


Рис. 5. Назначение операций в Вертикаль

Для каждой операции создаем эскиз обработки, после чего для каждого из переходов назначаем обрабатываемые поверхности, которые ассоциативно связаны с геометрией и подсвечиваются красным цветом (Рис. 6).

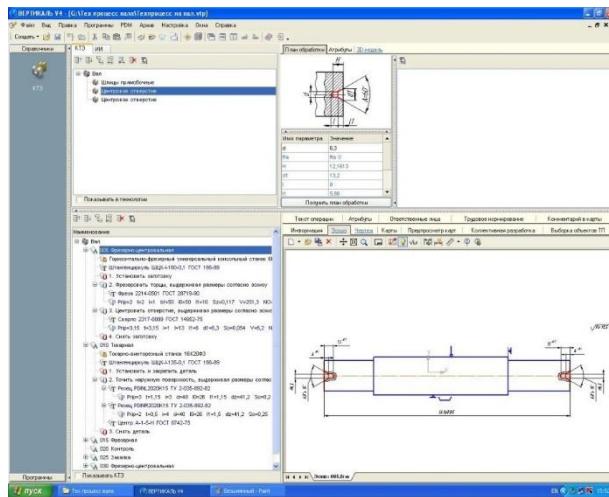


Рис. 6. Связь конструкторско-технологических элементов с объектами технологии

На каждый переход назначаем код блока расчетов, а также параметры для обработки поверхностей, при введенных данных автоматически формируются режимы резания и нормирование операций (Рис. 7).

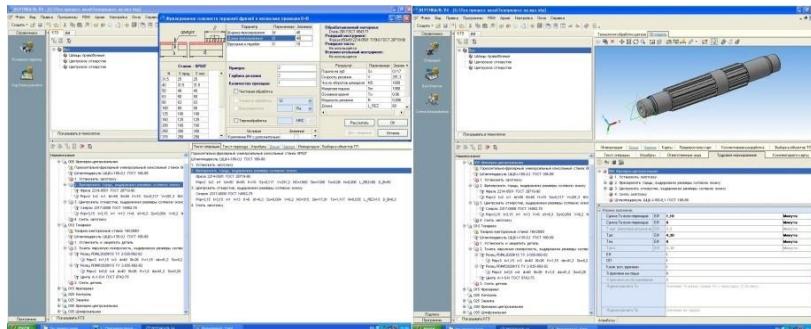


Рис. 7. Автоматический расчет режимов резания и нормирование операций в Вертикаль

После проведенных операций можно приступить к автоматическому созданию технической документации. При необходимости пакет документов можно сохранить в форматах PDF и Excel, что облегчает работу с информацией.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Расчет и конструирование деталей и узлов металлообрабатывающих станков: учебное пособие / А.А. Погонин, И.В. Шрубченко М.Н. Воронкова, А.В. Хуртасенко. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. – 138 с.

2. Хуртасенко, А.В. Автоматизированная технологическая подготовка в машиностроении: практикум: учебное пособие / А.В. Хуртасенко, И.В. Маслова, М.Н. Воронкова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – 171 с.

3. Хуртасенко, А.В. Автоматизированная конструкторско-технологическая подготовка в машиностроении. Часть 1. Автоматизированная конструкторская подготовка: учебно-практическое пособие: в 2ч. / А. В. Хуртасенко, М. Н. Воронкова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 170 с.

**УДК 67.05**

*Воронков И.Е., Баранов Д.С., Минасова В.Е.*

*Научный руководитель: Чепчурев М.С., д-р техн. наук, проф.*

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ ОБРАБОТКИ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ**

Работу современного машиностроительного производства невозможно представить без станков с числовым программным управлением. Станок с ЧПУ (числовым программным управлением) – устройство, для работы которого требуются управляющие программы. Управляющая программа станка с ЧПУ представляет из себя упорядоченный набор команд, при помощи которых определяются перемещения исполнительных органов станка и различные вспомогательные функции. Она позволяет создавать детали разных форм и размеров из различных материалов. Управляющая программа для станков с ЧПУ является составляющей частью станочного оборудования с числовым программным управлением. Перед написанием управляющей программы необходимо определить вид и основные параметры заготовки; определить операции и метод изготовления, включая метод фиксации (кулачки, планшайба, оправка) и метод поддержки, если это необходимо (задняя бабка, люнет);

выполнить подбор инструмента. Основной составляющей управляющих программ является G-код.

Рассмотрим методику составления управляющей программы для токарного станка с ЧПУ для обработки фасонного профиля (Рис. 1).

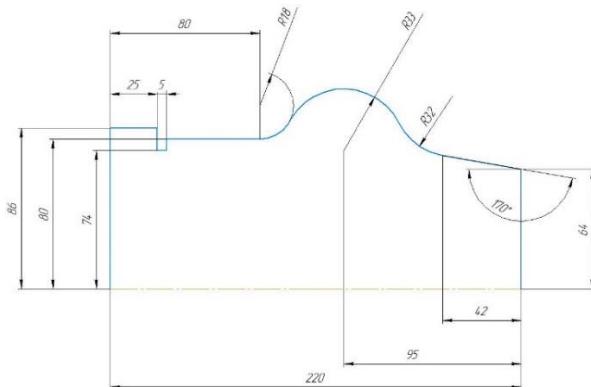


Рис. 1. Эскиз детали

В качестве стойки станка с ЧПУ будем использовать стойку Балт-Систем NC-210. Программирование обработки будем осуществлять на языке ИСО (ISO) 7 бит.

Для более полного представления о форме и размерах обрабатываемой детали создадим её 3D модель (Рис.2).



Рис. 2. 3D модель обрабатываемой детали

Разбив деталь на отдельные участки (Рис. 3), проанализировав их форму и размеры было принято решение о применении в основном тексте управляющей программы блоков с подпрограммами и использовании элементов визуального программирования для отдельных поверхностей.

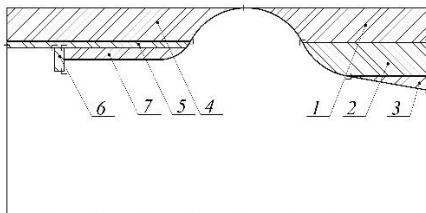


Рис. 3. Разбивка обрабатываемого контура на отдельные участки

Текст программы представлен на рисунке 4.

```
;Определение области визуализации  
(UCG,2,Z-225Z5,X-5X225)  
;Вызов подпрограммы обработки 1-го участка  
(CLS,R1/MP1)  
;Вызов подпрограммы обработки 2-го участка  
(CLS,R2/MP1)  
;Использованием визуального программирования для обработки 3-го участка  
(KNE,R,X64,L42,a10,B71.41,Q1,d1,x0.5,z0.5,p,c1,F0.5,S2000,f0.05,s5000,M3)  
;Вызов подпрограммы обработки 4-го участка  
(CLS,R4/MP1)  
;Вызов подпрограммы обработки 5-го участка  
(CLS,R5/MP1)  
;Использованием визуального программирования для обработки 6-го участка  
(TGA,Z-190,X86,I-195,074,K2,t2)  
;Вызов подпрограммы обработки 7-го участка  
(CLS,R7/MP1)
```

Рис. 4. Текст управляющей программы

Рассмотрим более подробно подпрограмму для обработки фасонного участка 1. Её текст представлен на рисунке 5.

```

MCD=1
ERF=0.01
;(UCG,1,Z-200Z100,X0X100)
T1.1M6F20S1200M3
;ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
;R (Радиус скругления)
E30=33
;Xc (Координата центра радиуса по оси абсцисс (Z-ось абсцисс))
E31=-95
;Yc (Координата центра радиуса по оси ординат (X-ось ординат))
E32=74
;D/2 (Больший полудиаметр)
E33=107
;d/2 (Меньший полудиаметр)
E34=88.72
;DELTA (Общий припуск на обработку)
E35=(E33-E34)
;i (Число проходов)
E36=10
;t (Глубина резания на проход)
E37=E35/E36
;Счетчик
E38=1
;Подвод инструмента на безопасное расстояние
GZ0XE33
;Цикл съема припуска под скругление (указать число проходов в соответствии с параметром i (E36))
(RPT,10)
;Y (Значение координаты на каждом проходе (X-ось ординат))
E39=E33-E37*E38
;поперечное перемещение инструмента на величину t (E37)
G1XE39
;X (Значение координаты на каждом проходе (Z-ось абсцисс))
E40=(SQR(E30*E30-(E39-E32)*(E39-E32))-SQR(E31*E31))
;продольное перемещение инструмента в точку X (E40)
G1ZE40
;продольное перемещение инструмента в Z0, холостой ход в обратном направлении
G0Z0
;изменение значения счетчика
E38=E38+1
(ERP)
;Подвод инструмента для чистовой обработки радиуса
G1ZE40
;Y (Значение координаты на нулевом проходе (X-ось ординат))
E39=E33
;X (Значение координаты на нулевом проходе (Z-ось абсцисс))
E40=NEG(SQR(E30*E30-(E39-E32)*(E39-E32))+SQR(E31*E31))
;Чистовая обработка по радиусу
G3XE39ZE40RE30

```

Рис. 5. Текст подпрограммы для обработки 1-го участка

Аналогично составляем подпрограммы для обработки остальных участков.

Обработку конической поверхности и выполнение канавки возможно выполнить с помощью элементов визуального программирования (Рис. 6, 7).

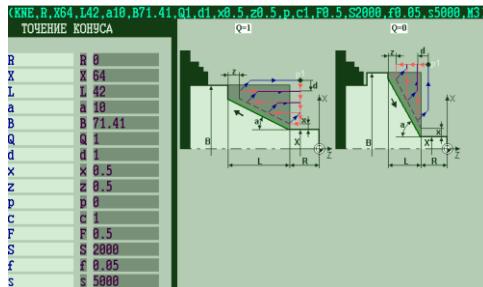


Рис. 6. Визуальный кадр схемы обработки конической поверхности

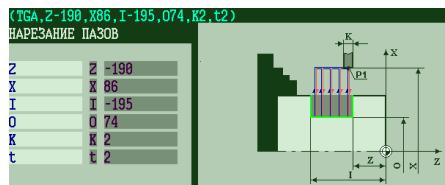


Рис. 7. Визуальный кадр схемы обработки канавки

После запуска управляющей программы мы можем наблюдать визуализацию процесса обработки фасонной поверхности детали на дисплее стойки станка с ЧПУ (Рис. 8).

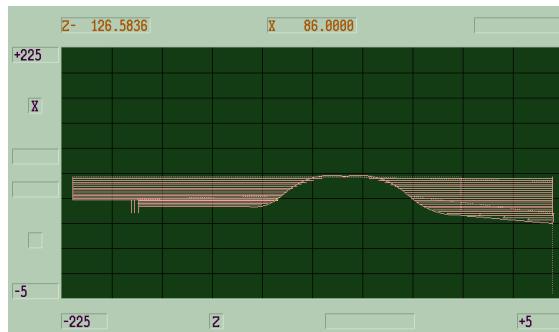


Рис. 8. Графическое представление процесса обработки

Модульный подход к программированию обработки фасонной поверхности детали с разбиением её на отдельные участки и использование встроенных подпрограмм, а также элементов визуального программирования позволяет значительно сократить процесс создания управляющей программы на этапе технологической подготовки.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Чепчурев, М.С. Оборудование с ЧПУ машиностроительного производства и программная обработка: учебное пособие / М.С. Чепчурев, Е.М. Жуков. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2015. –190 с.
2. Чепчурев, М.С. Автоматизированное проектирование технологических процессов машиностроительных производств: лабораторный практикум / М.С. Чепчурев, Е.М. Жуков. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2016. – 68 с.
3. Чепчурев, М.С. Модернизация токарных автоматов продольного точения с использованием мехатронных модулей / М.С. Чепчурев, А.В. Тюрин //Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2012. – №7. – С.10-13.

**УДК 69**

**Гусейнова Д.Ф.**

*Научный руководитель: Пахомова Л.В. канд. техн. наук, доц.  
Сибирский государственный университет водного транспорта,  
г. Новосибирск, Россия*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СБОРКИ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СУДОВ: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Судостроение является одной из важнейших отраслей промышленности, обеспечивающей транспортные потребности экономики и обороноспособность страны. Однако, современное судостроительное производство сталкивается с рядом проблем, таких как высокая трудоемкость, низкая производительность и зависимость от квалифицированных кадров [1]. Решением этих проблем является внедрение автоматизированных систем, позволяющих повысить эффективность производства, снизить себестоимость продукции и улучшить условия труда.

В последние годы наблюдается растущий интерес к использованию промышленных роботов в судостроении [2]. Роботы могут выполнять широкий спектр операций, таких как сварка, резка, сборка, покраска и другие. В частности, роботизированная сварка позволяет значительно повысить качество сварных швов и сократить время выполнения работ [3].

Целью данной работы является разработка автоматизированной системы сборки корпусных конструкций судов с применением промышленных роботов, обеспечивающей повышение эффективности судостроительного производства. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести анализ существующих технологий сборки корпусных конструкций судов и выявить наиболее трудоемкие и неэффективные операции.
- Определить требования к автоматизированной системе сборки, учитывающие специфику судостроительного производства.
  - Выбрать робототехническое оборудование, обеспечивающее выполнение необходимых операций.
  - Разработать программное обеспечение для управления роботами и координации их работы.
  - Отработать технологические процессы роботизированной сварки и сборки.
  - Провести экономическое обоснование целесообразности внедрения автоматизированной системы.

Анализ существующих технологий сборки корпусных конструкций судов

Традиционные методы сборки корпусных конструкций судов характеризуются высокой долей ручного труда и низкой производительностью. Операции сварки, резки и сборки выполняются вручную, что приводит к большой трудоемкости и высокой вероятности ошибок. Кроме того, ручная сварка может быть опасна для здоровья сварщиков из-за воздействия вредных факторов, таких как дым, газы и излучение [4].

Внедрение автоматизированных систем позволяет значительно повысить эффективность сборки корпусных конструкций судов. Роботы могут выполнять сварку, резку и сборку с высокой точностью и скоростью, что приводит к сокращению времени выполнения работ и снижению себестоимости продукции [5].

#### Разработка автоматизированной системы сборки

Автоматизированная система сборки корпусных конструкций судов должна включать в себя следующие компоненты:

- Промышленные роботы: для выполнения операций сварки, резки и сборки используются промышленные роботы различных типов и размеров. Выбор роботов зависит от конкретных задач и требований к системе.

- Система управления: Система управления обеспечивает координацию работы роботов и управление технологическими

процессами. Она включает в себя программное обеспечение для планирования траекторий движения роботов, управления сварочными параметрами и контроля качества сварных швов.

- Технологическое оборудование: для выполнения операций сварки, резки и сборки используется специализированное технологическое оборудование, такое как сварочные источники, резаки, зажимные приспособления и другие.

- Система технического зрения: Система технического зрения используется для автоматической идентификации деталей и определения их положения в пространстве. Она позволяет роботам точно выполнять операции сборки даже при наличии отклонений в размерах и форме деталей.

#### Роботизированная сварка

Роботизированная сварка является одним из наиболее перспективных направлений автоматизации судостроительного производства [6]. Она позволяет значительно повысить качество сварных швов, сократить время выполнения работ и снизить затраты на материалы.

Для роботизированной сварки используются промышленные роботы, оснащенные сварочными горелками и системами управления сварочными параметрами. Роботы могут выполнять различные виды сварки, такие как дуговая сварка, газовая сварка и лазерная сварка. Выбор вида сварки зависит от типа материала, толщины свариваемых деталей и требований к качеству сварного шва [7].

#### Роботизированная сборка

Роботизированная сборка является еще одним важным направлением автоматизации судостроительного производства. Она позволяет автоматизировать процессы установки и закрепления деталей корпусных конструкций. Роботы могут выполнять операции сверления, клепки, винтового соединения и другие.

Для роботизированной сборки используются промышленные роботы, оснащенные различными инструментами и приспособлениями. Роботы могут работать с различными типами деталей, такими как листы, профили, ребра жесткости и другие. Система управления обеспечивает координацию работы роботов и управление технологическими процессами сборки [8].

#### Экономическое обоснование

Внедрение автоматизированной системы сборки корпусных конструкций судов требует значительных инвестиций. Однако, экономический эффект от внедрения такой системы может быть существенным. Автоматизация позволяет повысить

производительность труда, снизить себестоимость продукции и улучшить качество сварных швов [9].

Экономическое обоснование целесообразности внедрения автоматизированной системы должно учитывать следующие факторы:

- Стоимость робототехнического оборудования, системы управления и технологического оборудования.
- Затраты на разработку программного обеспечения и отработку технологических процессов.
- Затраты на обучение персонала.
- Экономия от сокращения трудозатрат, снижения себестоимости материалов и повышения качества продукции.
- Срок окупаемости инвестиций.

Анализ показывает, что внедрение автоматизированной системы сборки корпусных конструкций судов является экономически целесообразным [10]. Роботизация позволяет значительно повысить эффективность судостроительного производства и снизить себестоимость продукции.

Разработка и внедрение автоматизированной системы сборки корпусных конструкций судов с применением промышленных роботов является перспективным направлением повышения эффективности судостроительного производства. Роботизированная сварка и сборка позволяют значительно повысить качество продукции, сократить время выполнения работ и снизить себестоимость.

В дальнейшем планируется проведение исследований по оптимизации технологических процессов роботизированной сварки и сборки, а также разработка новых методов управления робототехническими системами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов, И.И. Автоматизация судостроительного производства / И.И. Иванов. – СПб.: Судостроение, 2010. – 320 с.
2. Петров, П.П. Робототехнические комплексы в судостроении / П.П. Петров, В.В. Сидоров. – М.: Машиностроение, 2015. – 280 с.
3. Сидоров, В.В. Роботизированная сварка в судостроении / В.В. Сидоров, А.А. Смирнов. – СПб.: Наука, 2018. – 240 с.
4. Техника безопасности в судостроении: Справочник / Под ред. К.К. Кузнецова. – Л.: Судостроение, 1985. – 456 с.
5. Смирнов, А.А. Экономическая эффективность автоматизации судостроительного производства / А.А. Смирнов. – М.: Экономика, 2012. – 192 с.

6. Зарубежный опыт применения роботов в судостроении // Судостроение за рубежом. – 2019. – № 3. – С. 15-20.

7. ГОСТ 14771-76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Введ. 1977-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 48 с.

8. Андреев, В.П. Автоматизация сборочных процессов в судостроении / В.П. Андреев, Г.Д. Белов. – Л.: Судостроение, 1978. – 216 с.

9. Анализ затрат и выгод от внедрения робототехнических комплексов в судостроении / В.И. Козлов [и др.] // Вестник машиностроения. – 2020. – № 5. – С. 45-50.

10. Методика оценки экономической эффективности инвестиционных проектов в судостроении / Р.А. Новиков [и др.]. – СПб.: СПбГМТУ, 2017. – 120 с.

**УДК 621.9**

*Довыденко И.С., Воронков И.Е.*

*Научный руководитель: Хуртасенко А.В., канд. техн. наук, доц.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРИЗОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ**

Автоматизация проектирования технологической оснастки обеспечивает сокращение сроков технологической подготовки производства. При этом некоторые элементы оснастки, а возможно и целые конструкции, могут использоваться повторно в ходе выполнения технологического проектирования при внедрении новой продукции.

В современном машиностроении среди направлений автоматизации подготовки производства большое значение имеет проектирование приспособлений. В условиях мелкосерийного производства наибольшее распространение получили универсально-сборные приспособления (УСП). Такой вид оснащения значительно уменьшает время подготовки производства, так как сборка приспособлений из готовых элементов занимает гораздо меньше времени, чем проектирование и изготовление специальных приспособлений.

Изготавливаются 3 серии УСП, характеризующихся габаритными размерами деталей и сборочных единиц, шириной крепежных и

шпоночных пазов, расстояниями между осями, диаметром установочных отверстий. Серия определяется по ширине шпоночного паза или по диаметру крепежных элементов (серия 8, 12, 16мм): – УСП с пазами 8 мм (УСП-8), УСП-12 – 12мм, УСП-16 – 16мм. Стандартные детали УСП, входящие в одну группу имеют подобную форму. Для примера рассмотрим базовые детали (установочные плиты). Все прямоугольные плиты имеют стандартные одинаковые пазы с шагом 60 мм. Между собой плиты отличаются только количеством пазов в продольном и поперечном направлении, т. е. габаритными размерами. Геометрия формы задней и боковых поверхностей одинакова или пропорциональна у всех плит.

На современных машиностроительных предприятиях в ходе конструкторской и технологической подготовки все более широко используется компьютерное трехмерное проектирование для создания цифровых моделей деталей, сборочных единиц, режущего и вспомогательного инструмента, а также конструкций технологической оснастки. Подобные цифровые модели позволяют выполнять не только автоматизированное получение ассоциативной конструкторской и технологической документации, но и использовать их в качестве «обстановки» рабочей зоны технологического оборудования при проектировании производственных процессов в различных САМ-приложениях.

Необходимо отметить, что при создании цифровых 3D-моделей таких изделий наиболее эффективным будет использовать параметризацию как наиболее рациональное средство управления геометрией при построении объекта.

В данной статье рассматривается вопрос разработки цифровых параметризованных трехмерных моделей элементов УСП, которые используются для проектирования станочной оснастки на этапе технологической подготовки.

На примере плиты (УСП-12) прямоугольной облегченной (7081-5061-5067), взятой из атласа элементов УСП, покажем реализацию параметризованной модели в среде Компас-3D. Данная плита характеризуется геометрическими параметрами, среди которых можно выделить постоянные и изменяющиеся в зависимости от требуемого типоразмера. Постоянные параметры:

- параметры отверстий;
- параметры направляющих пазов;
- шаг между отверстиями;
- расстояние от края плиты до первого паза.

К переменным параметрам относятся:

- длина плиты;
- количество отверстий;
- расстояние от центра до крайних пазов, которое зависит от количества отверстий.

Таким образом, необходимо определить вводимые переменные в параметризованной модели. В нашем случае обозначим L – длина плиты, L1 – расстояние от центра плиты до крайних пазов, L2 – расстояние между крайними пазами, n – количество отверстий, определяющее длину плиты.

Для создания полностью параметризованной цифровой модели необходимо выполнить, прежде всего, параметризацию геометрии в эскизах. Пример одного из параметризованных эскизов для рассматриваемой плиты показан ниже (Рис. 1).

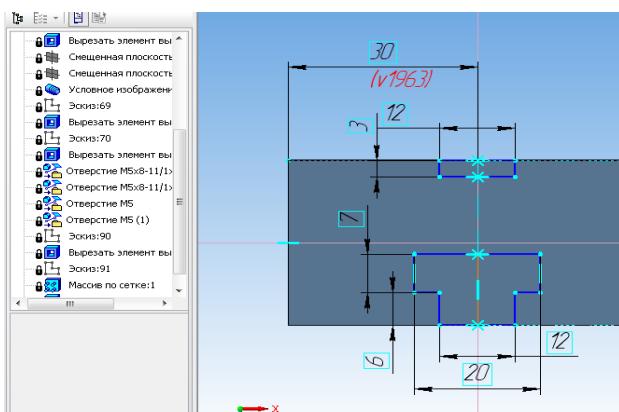


Рис. 1. Пример параметризованного эскиза

Отметим, что модель полностью параметризована (Рис. 2), т. е. выполнены ограничения в геометрии эскизов относительно друг друга, а также установлена ассоциативность между значениями вводимых переменных и параметрами формообразующих операций. Отверстия в плите созданы массивом элементов формата  $3 \times n$ , где 3 – количество пазов в поперечном направлении, а n – количество отверстий, задаваемых в продольном направлении длины плиты.

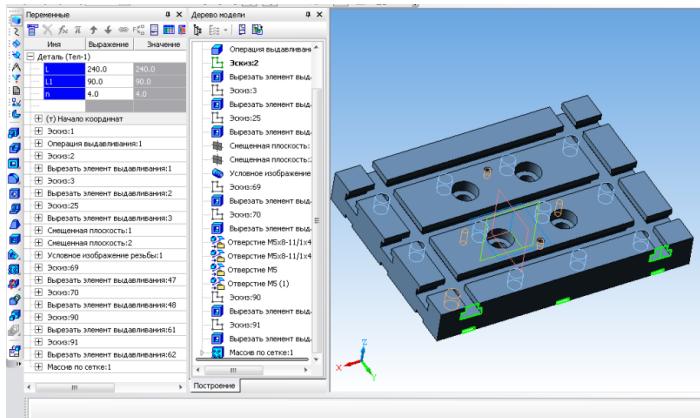


Рис. 2. Создание параметризованной модели

Для автоматического получения 3D–модели в соответствии с требуемым типоразмером плиты создается таблица с переменными в Excel (Рис. 3).

	A	B	C	D	E
1	Обозначение	L	L1	n	
2	7081-5061	180	60	3	
3	7081-5062	240	90	4	
4	7081-5063	300	120	5	
5	7081-5064	360	150	6	
6	7081-5065	420	180	7	
7	7081-5066	480	210	8	
8	7081-5067	600	270	10	

Рис. 3. Таблица параметров элементов (переменных) в Excel

Эта таблица читается системой параметризации Компас-3D и сохраняется как внутренняя локальная таблица значений переменных. При этом переменные в параметризованной модели плиты должны быть определены как «внешние».

Для присвоения требуемых значений внешним переменным файла необходимо открыть содержащуюся в этом файле таблицу переменных и выбрать из нее нужную строку. Значения переменных, находящиеся в ячейках этой строки, будут переданы в файл для автоматического формирования каждой новой объемной модели плиты (Рис. 4).

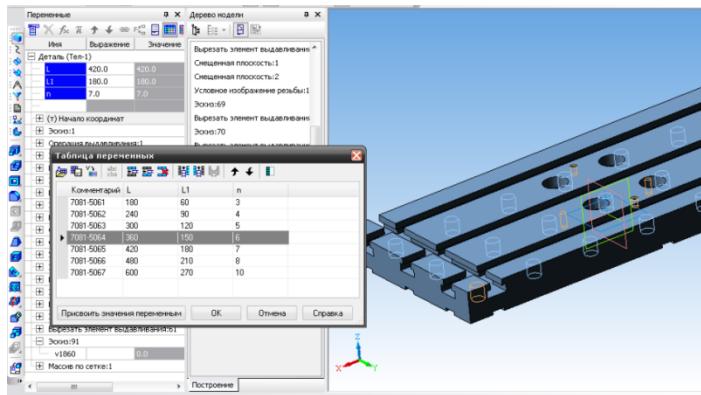


Рис. 4. Выбор параметров модели из таблицы переменных

Полученная модель будет использоваться в дальнейшем для создания интегрированных и локальных библиотек и баз данных стандартных элементов УСП. Достоинство в том, что конструктору не нужно каждый раз в атласе УСП выбирать из прямоугольных плит нужную ему и вычерчивать её. Аналогично можно создавать остальные детали проектируемого приспособления в автоматическом режиме. Затем остается произвести сборку (сопряжение) элементов между собой. С объемной модели приспособления можно получить ассоциативный чертеж с необходимым количеством проекций, видов, разрезов и сечений.

Применение параметризации при создании 3-D моделей позволит облегчить работу конструктора приспособлений и сократить время на проектирование. Предлагаемый к использованию метод построения цифровых моделей весьма удобен и универсален, и может быть реализован в различных областях не только высшего технического образования, но и машиностроения в целом. Следует отметить, что предлагаемый способ может быть легко и быстро адаптирован в соответствии с потребностями и новыми идеями.

Использование параметризованных моделей УСП, а также полученных на их основе библиотек стандартных изделий значительно повышает производительность труда проектировщика при разработке технологической оснастки и тем самым сокращает сроки технологической подготовки.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Хуртасенко, А.В. Автоматизированная конструкторско-технологическая подготовка в машиностроении. Часть 1. Автоматизированная конструкторская подготовка: учебно-практическое пособие: в 2ч. / А. В. Хуртасенко, М. Н. Воронкова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 170 с.
2. Кузнецов, В.С. Универсально-сборные приспособления в машиностроении. Альбом чертежей / В.С Кузнецов, В.А. Пономарев – М.: Машиностроение, 1971.
3. Ганин, Н. Б. Автоматизированное проектирование в системе КОМПАС-3D V12. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 368 с.

**УДК 004.896**

*Дуюн И.А.*

*Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИМУЛЯЦИОННОЙ СРЕДЫ**

**Введение.** Развитие беспилотных авиационных систем (БАС) является одним из перспективных направлений современной робототехники и мекатроники. Данная тенденция обусловлена растущим спросом на автономные системы, способные выполнять сложные задачи в динамически изменяющейся среде, вопрос создания эффективных алгоритмов управления приобретает особую актуальность. Внедрение методов искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (ML) в процессы навигации, планирования траектории и координации групп БАС позволят повысить их автономность, надежность и адаптивность к внешним условиям.

Исследования в области автономного управления БАС развиваются на стыке нескольких дисциплин, включая робототехнику, мекатронику, машинное обучение, обработку сенсорных данных и теорию автоматического управления. Современные работы охватывают широкий спектр задач, включая навигацию, планирование траекторий, групповое взаимодействие дронов и предиктивное управление в реальном времени. [1-9].

Моделирование и отработка алгоритмов управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) в симуляционных средах является важным этапом разработки многоагентных робототехнических систем. Существуют различные платформы для симуляции полётов дронов, предоставляющие реалистичную физику и инструменты для исследований в области управления полётами [1-6]. Одна из таких платформ – открытая среда gym-pybullet-drones, ориентированная на специалистов по робототехнике и обучению с подкреплением. Она позволяет моделировать динамику квадрокоптеров с учётом столкновений и аэродинамических эффектов, включая нисходящие воздушные потоки (эффект downwash), а также содержит встроенные контроллеры (например, PID) для стабилизации полёта [7-9].

В данной работе представлены результаты моделирования динамики движения группы квадрокоптеров с использованием среды gym-pybullet-drones [9]. Вычислительный эксперимент проводился по двум сценариям: движение трёх дронов по круговым траекториям и движение двух дронов по синусоидальным траекториям. В обоих сценариях движение дронов предусматривалось на разных высотах, но в первом случае - в одном направлении, а во втором - во встречных направлениях, при этом исследовалось влияние нисходящих потоков воздуха на динамику движения квадрокоптеров.

Основная часть. В каждой сессии вычислительных экспериментов использовался стандартный PID-контроллер (класс DS LPIDControl) для управления двигателями квадрокоптеров. Физическая модель симулятора включала расширенный режим PyBullet с учётом аэродинамических эффектов (Physics.PYB\_DW), благодаря чему имитировалось влияние нисходящего потока воздуха от каждого дрона на находящиеся ниже аппараты. В ходе экспериментов регистрировались траектории полёта дронов, их линейные и угловые скорости, а также отклонения от заданной траектории – эти данные позволили количественно оценить эффективность контроля и степень воздействия эффекта downwash.

В первой сессии моделировался совместный полёт трёх квадрокоптеров, каждый из которых двигался по круговой траектории вокруг общей центральной точки, но на своей фиксированной высоте (рис. 1).

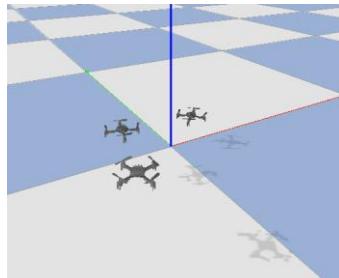


Рис. 1. Схема траектории движения квадрокоптеров первой сессии

Радиусы окружностей и угловая скорость движения дронов были одинаковыми, однако высоты полёта различались, что позволяло оценить влияние вертикального расслоения на точность следования траектории. Управление всеми аппаратами осуществлялось единым PID-контроллером, который стабилизирует их положение, корректируя углы наклона и тягу двигателей для удержания заданной траектории. Моделирование показало, что при таких условиях PID-регулятор успешно удерживает дроны на круговых траекториях. Наблюдаемые отклонения оказались незначительными: регулятор автоматически вносил корректировки в управление при малейших отклонениях от траектории, обеспечивая устойчивость системы даже при наличии возмущений от аэродинамического взаимодействия между дронами.

Во второй сессии исследовалась ситуация, в которой два квадрокоптера летят в одной вертикальной плоскости по синусоидальной траектории навстречу друг другу (рис. 2). Один дрон (верхний) двигался по заданной синусоиде на высоте около 1 м, тогда как второй (нижний) следовал по идентичной встречной траектории на высоте около 0,5 м. Оба аппарата поддерживались тем же PID-контроллером.

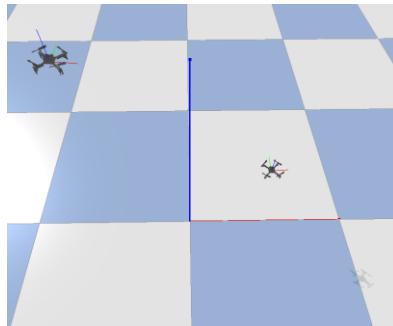


Рис. 2. Схема траектории движения квадрокоптеров второй сессии

В этой сессии особое внимание уделялось явлению downwash: включение в симуляцию аэродинамического эффекта нисходящего потока от верхнего квадрокоптера позволило проследить его влияние на нижний аппарат. По результирующим траекториям и параметрам движения выявлено, что нижний дрон испытывает воздействие потока воздуха от верхнего. В частности, при пролёте нижнего квадрокоптера непосредственно под верхним наблюдаются отклонения его траектории и просадки по высоте. PID-контроллер реагирует на эти возмущения – в моменты воздействия downwash он увеличивает скорость вращения моторов нижнего дрона, компенсируя потерю подъёмной силы. В целом траектории движения обоих дронов близки к заданным синусоидальным, однако у нижнего аппарата фиксируются небольшие колебания курса и высоты именно вследствие аэродинамического взаимодействия с лидирующим дроном.

**Выводы.** Результаты первой сессии показали, dass PID-контроллер способен успешно поддерживать заданные круговые траектории движения нескольких квадрокоптеров. Вторая сессия продемонстрировала существенное влияние нисходящих воздушных потоков на нижний квадрокоптер. При пролёте верхнего дрона над нижним у последнего возникали кратковременные просадки высоты и заметные колебания углов наклона (особенно по тангажу и рысканию). Контроллер компенсировал потерю подъёмной силы у нижнего аппарата увеличением оборотов его двигателей, однако эффект downwash приводил к небольшим периодическим отклонениям траектории нижнего квадрокоптера. Эти результаты наглядно подтверждают важность учёта аэродинамических взаимодействий при управлении группой беспилотников. Таким образом, проведённое исследование подтверждает работоспособность симуляционной платформы gym-pybullet-drones для моделирования и анализа полёта

нескольких дронов и связанных эффектов. Полученные данные полезны для дальнейшей оптимизации алгоритмов управления многоагентными системами БПЛА, позволяя учитывать влияние аэродинамических эффектов и вносить корректизы в работу контроллеров с целью предотвращения потери устойчивости полёта.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Малинина Н. В. Управление БПЛА при помощи искусственного интеллекта // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 32. С. 1408–1418.
2. Шашихин В. Н., Мерзляков К. Д. Синтез стабилизирующего управления квадрокоптером на основе линейных матричных неравенств // Мехатроника, автоматизация, управление. 2022. Т. 23. №7. С. 376–383. – DOI 10.17587/mau.23.376-383.
3. Вольников М. И. Моделирование движения беспилотных летательных аппаратов // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2023. № 3(21). С. 42–48. – DOI 10.30987/2658-6436-2023-3-42-48.
4. Гиргидов Р. А. Имитационное моделирование роя с использованием произведения Адамара // Вестник Московского университета. Серия 15: Вычислительная математика и кибернетика. 2023. № 3. С. 10–22. – DOI 10.55959/MSU/0137-0782-15-2023-47-3-10-22.
5. Сурмин В. И., Аникеев Е. А. Оптимизация маршрутов и управления траекториями беспилотных летательных аппаратов с помощью алгоритмов искусственного интеллекта // Моделирование информационных систем и технологий: материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 02 апреля 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, 2024. С. 448–454. – DOI 10.58168/MoInSyTe2024\_448-454.
6. Набиев Т. К., Шиманчук Д. В. Расчёт траекторий движения группы БПЛА в строю // Процессы управления и устойчивость. 2024. Т. 11, №1. С. 121–128.
7. Башкиров А. В., Хорошайлова М. В., Свиридова И. В. Методика настройки оптимальных параметров ПИД-регулятора для управления траекторией беспилотного летательного аппарата с использованием нейронных сетей // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2024. Т. 20, № 3. С. 115–121. – DOI 10.36622/1729-6501.2024.20.3.017.

8. Доржиев, А. С. Обучение с подкреплением для беспилотных летательных аппаратов // Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук : Сборник научных трудов по материалам XXIX международной научной конференции, Санкт-Петербург, 12 июля 2020 года. – Санкт-Петербург: Центр Научных Публикаций Международной Объединенной Академии Наук, 2020. С. 5–8. – DOI 10.18411/sciencepublic-12-07-2020-02.

9. Дуюн, И. А., Дуюн Т. А., Рыбак Л. А. Моделирование динамики движения группы дронов с применением открытой платформы gymbullet-drones // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 5. С. 137–148. – DOI 10.34031/2071-7318-2025-10-5-137-148.

**УДК 621.81, 744.44, 004.925.8**

**Жердев А.Д., Долгополова А.С., Прокопова П.С.**

**Научный руководитель: Маслова И.В., канд. техн. наук, доц.**  
**Белгородский государственный технологический университет**  
**им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия**

## **ПОДХОДЫ ПОСТРОЕНИЙ ЧЕРТЕЖЕЙ В САПР КОМПАС-3Д**

Система автоматизированного проектирования (САПР) КОМПАС-3Д - одна из наиболее распространённых систем автоматизированного проектирования, используемых в образовательных учреждениях и в машиностроительной промышленности России. Для студентов, осваивающих дисциплины, связанные с инженерной графикой и проектированием, изучение КОМПАС-3Д становится важным этапом формирования профессиональных компетенций. Разнообразие подходов построений чертежей позволяет студентам выбирать оптимальные подходы к созданию проектной документации, учитывая специфику задач и требования ГОСТ.

САПР КОМПАС-3Д предоставляет широкий набор инструментов для создания плоских чертежей и объёмных моделей. Для обучающихся, которые только начинают работать с программой, важно освоить базовые функции: а) знание инструментов создания построения линий, окружностей, прямоугольников, дуг, которые и являются основой для построения геометрических элементов, отражающих детали, схемы и т.п. элементы в машиностроении; использование различных типов привязок для точного построения (например, к концам отрезков или центрам окружностей); владение инструментами редактирования, такими как удлинение примитивов, зеркальное

копирование, поворот и др.; б) умение создавать слои, виды и разрезы, знание команд, которые создают эти дополнительные обозначения: автоматическое создание проекций на основе 3D-модели; ручное построение видов в 2D-чертежах с использованием команд и панели «Геометрия»; настройка разрезов и сечений для отображения внутренних элементов детали; в) использование команд простановки обозначений на чертежах: простановка размеров (линейных, угловых, диаметральных) в соответствии с ГОСТ 2.307-2011; создание выносок, текстовых примечаний и технических требований; использование таблиц (например, спецификаций) для оформления чертежей; г) использование встроенных библиотек и шаблонов для ускорения формирования изображения: применение стандартных элементов (болты, гайки, шайбы) из библиотек КОМПАС; настройка шаблонов чертежей для удобства быстрого выполнения работы.

Разнообразие подходов построений чертежей в КОМПАС-3D проявляется в возможности выбора из различных методов построения графических объектов, в зависимости от задачи, уровня подготовки студента и требований преподавателя. Рассмотрим основные подходы.

Первый вариант: построение чертежа на основе 3D-модели. Подходит для задач, где требуется создать деталь с последующим оформлением чертежа. Алгоритм включает: создание 3D-модели с использованием операций выдавливания, вращения, вырезания; автоматическое формирование ассоциативных видов (основного, фронтального, бокового) на чертеже; добавление разрезов, сечений и размеров (рис. 1, а).

Имеется ряд преимуществ, таких как: высокая точность, из-за ассоциативной связи чертежа и модели; автоматизация создания проекций; возможность быстрого внесения изменений в модель и чертеж. Но также нужно и учитывать недостатки, ведь данный подход требует навыков работы с 3D-моделированием (иначе не избежать ошибок) и может быть избыточным для простых задач.

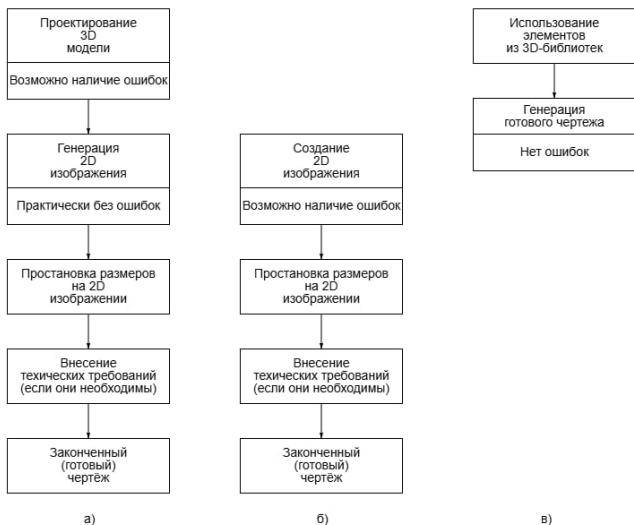


Рис. 1. Сравнение подходов:

- а) – 3D моделирование; б) – 2D моделирование;
- в) – использование библиотек

Второй вариант: ручное построение 2D-чертежа. Используется для выполнения заданий по изучаемым дисциплинам (или при выполнении какого-либо проекта), где акцент делается на освоении инженерной графики. Студент создаёт чертеж с нуля, используя инструменты эскизирования и размерной простановки на плоскости (рис. 1, б).

К преимуществам этого подхода можно отнести следующие: развивает у обучающихся понимание ГОСТов и правил оформления чертежей; подходит для простых деталей или схем; не требует глубоких знаний 3D-моделирования.

Следует учитывать, что данный подход требует больше времени на построение. Также всегда существует высокая вероятность появления ошибок при выполнении чертежа.

Подход создания чертежа с использованием элементов библиотек является самым быстрым, в особенности при создании сложных чертежей. Обучающемуся требуется выбрать из предоставленных библиотек нужные детали (болты, гайки, подшипники и т.д.), выбрать вид, ГОСТ (если нужно), настроить параметры элемента (из-за возможности связи ассоциативной зависимости 2D и 3D изображения). Пользователи могут изменить размер в чертеже, он изменится и в модели, и наоборот.

Подход имеет определенные преимущества: интеграция с российскими стандартами (ГОСТ, ЕСКД) – система изначально заточена под российские нормы машиностроения; автоматическое обновление чертежа при изменении модели, как следствие, экономия времени на правках; «богатые» библиотеки стандартных деталей – не нужно вручную рисовать крепеж, подшипники, валы; гибкость настройки из-за возможности создавать свои библиотеки фрагментов (например, типовые узлы предприятия);

Недостатком может являться то, что хоть и элементы берутся из библиотек, все равно, иногда, требуется ручная доработка (не все размеры и обозначения проставляются автоматически).

Для эффективного освоения КОМПАС-3D и использования данных подходов студентам рекомендуется:

1. Изучить ГОСТ:

- ознакомьтесь с основными стандартами ЕСКД (ГОСТ 2.301-68, ГОСТ 2.307-2011) для правильного оформления чертежей;
- обратите внимание на правила нанесения размеров, обозначения разрезов и шрифтов.

2. Попрактиковаться на простых задачах:

- начните с построения простых деталей (втулка, фланец) в 2D, затем переходите к 3D-моделированию;
- выполняйте задания с разными подходами, чтобы понять их особенности.

3. Использовать учебные ресурсы:

- воспользуйтесь встроенной справкой КОМПАС-3D или видеоуроками на официальном сайте АСКОН;
- изучите примеры чертежей из методических пособий.

4. Проверять чертежи:

- используйте функцию проверки геометрии в КОМПАС для выявления ошибок;
- убедитесь, что размеры и виды соответствуют исходной задаче.

Подходы построений чертежей в САПР КОМПАС-3D разнообразны. У каждого есть свои преимущества и недостатки. Освоение различных подходов - от ручного построения до автоматизированного создания чертежей на основе 3D-моделей, позволяет адаптироваться к требованиям актуальных федеральных государственных образовательных стандартов и будущей профессиональной деятельности на реальном производстве. Регулярная практика, изучение ГОСТ и использование учебных ресурсов помогут студентам уверенно работать в КОМПАС-3D и создавать качественные чертежи.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Компьютерное твердотельное 3D-моделирование: практикум: учеб. пособие / А.В.Хуртасенко, И.В. Маслова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014.–127с.
2. Официальный сайт АСКОН [Электронный ресурс]. URL: <https://ascon.ru> (дата обращения: 16.05.2025).
3. Веселова А. Школа САПР Анны Веселовы [Электронный ресурс]. URL: <https://veselowa.ru/> (дата обращения: 18.05.2025).

**УДК 629.1.07**

***Каблучко И.П.***

***Научный руководитель: Дуганова Е.В., канд. техн. наук, доц.***

***Белгородский государственный технологический университет***

***им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

## **РОЛЬ РОБОТОВ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

На протяжении более чем пяти десятилетий автомобильная промышленность активно интегрирует промышленных роботов, начиная со времени, когда UNIMATE был введен в эксплуатацию General Motors в 1960-е годы. За этот период значительно увеличилось число роботов в автоматизации, и технологии совершенствовались, что позволило внедрить более экономичные и универсальные системы, которые успешно дополняют или заменяют традиционные, менее гибкие механизмы [1].

Применение робототехники в производстве автотранспорта и комплектующих играет ключевую роль в ускорении рабочих процессов, уменьшении финансовых затрат, укреплении качества продукции и обезопасивании сотрудников. С появлением коллаборативных роботов, или коботов, открылись новые перспективы: роботы теперь могут находиться вблизи сотрудников, не требуя защитных барьеров. Коботы позволяют производственным компаниям разгрузить персонал от монотонной, небезопасной или загрязняющей работы, функционируя без перерывов круглосуточно и весь год [2].

Перед тем как мы перейдем к рассмотрению примеров применения коботов в автомобильной индустрии, стоит отметить, что автоматизация приносит пользу почти всем промышленным секторам. После того как автомобильный робот вошел на производственную линию GM, многие другие заводы и склады по всему миру переняли роботизированные технологии. Среди отраслей, активно

использующих роботов, можно выделить фармацевтику, общепромышленное производство, медицину и сельское хозяйство. Коботы от Universal Robots универсальны и могут адаптироваться для решения различных задач в разнообразных условиях. Ограничения на их использование диктуются лишь грузоподъемностью, нормами безопасности и креативностью самих разработчиков.

Возможности промышленных роботов на производствах впечатляют: от выполнения задач загрузки и разгрузки материалов до сложной сборки и финишной отделки продукции. Они берут на себя рутинные операции, освобождая работников от физически изматывающего труда. Оснащенные системами машинного зрения и искусственного интеллекта, роботы способны адаптироваться к изменяющимся условиям и предоставлять в реальном времени данные о производительности [3].

Автомобильные сборочные линии сталкиваются с рядом острых вопросов, среди которых выделяются высокие риски получения травм, замедленное производство и невысокое качество готовой продукции. Однако внедрение cobots может существенно улучшить ситуацию. Например, Ford применяет роботов UR10 в Румынии для выполнения таких операций, как смазка распределительных валов, заправка моторов маслом и инспекция качества. Роботы способны справляться практически с любой физической работой, связанной со сборкой автомобилей, и могут принимать участие в процессах, требующих решений, что включает проверки соответствия качества.

В автомобильной индустрии коботы нашли широкое применение в различных операциях, от сборки до проверки качества. До их появления каждая задача, включая покраску, сварку и полировку, требовала отдельного робота. Теперь же одна манипуляторная рука, оснащенная соответствующим инструментом UR+ от Universal Robots, может выполнять весь этот спектр задач [4].

Роль коботов на сборочных предприятиях трудно переоценить. Они способны выполнять однообразные операции, такие как установка дверных ручек или стеклоочистителей, освобождая работников для более сложных работ. Модели с большой грузоподъемностью, такие как UR16e, обрабатывают крупные детали, включая колеса и капоты.

Компания Lear использует модель UR5, известную своими компактными размерами ( $\varnothing$  149 мм), для повышения эффективности сборки автомобильных кресел. UR5, работая в ограниченном пространстве, ежедневно выполняет около 8500 завинчиваний. С момента внедрения своего первого UR кобота в 2017 году, Lear в Китайском филиале интегрировала 38 таких роботов, занимающихся

критически важными процессами, такими как проверка электропроводки и закрепление винтов [5].

В сфере автомобильного производства роботизированные покрасочные установки заняли ведущее место благодаря своей высокой эффективности и постоянной доступности, которая значительно превосходит возможности человеческих работников. Значимость роботов особенно заметна при манипуляциях с токсичными веществами, такими как автомобильные краски, что делает их участие не только целесообразным, но и безопасным. Выполняя задачи по нанесению краски с высокой точностью, роботы обеспечивают равномерное покрытие и снижают производственные расходы благодаря минимизации ошибок и экономному использованию материалов.

Коботы эффективно заменяют человеческие усилия в таких трудоёмких и опасных процессах, как сварка и покраска. При этом, они обеспечивают существенно высокий уровень безопасности. Данные машины без труда справляются с задачами в области дуговой, TIG, лазерной и MIG сварки, а также занимаются пайкой. Платформа UR+ имеет все необходимые инструменты для внедрения роботизированных сварочных решений в автомобильной промышленности, особое внимание уделяется на потребности небольших производителей, включая системы Olympus UR.

Обслуживание промышленного оборудования также видят в роботах перспективных помощников, которые выполняют монотонные и грязные обязанности. Подобный подход к автоматизации находит признание из-за своей надёжности и безопасности. Например, индийская компания Baja Auto, успешно внедрила более ста коботов для стандартизации процессов сборки и обслуживания, что заметно улучшило показатели производительности.

В области сборки автомобилей материалосьём и полировка считаются критически важными операциями, требующими аккуратности и точности. Названные задачи, нередко сопряженные с опасностью и высокой степенью повторяемости, отлично подходят для робототехники. Машины выполняют шлифовку, снятие заусенцев, сверление и множество иных операций, обеспечивая безупречный результат [6].

Robotiq разработаны для внедрения роботизированных технологий в процессы финишной обработки, предоставляя полный набор для начального этапа, включая программное обеспечение и административные инструменты. Finishing Copilot предлагает интуитивное управление, облегчающее адаптацию роботизированных

приложений в производственных циклах, независимо от опыта пользователя.

Сверх того, конструкция роботов UR позволяет безопасно и эффективно взаимодействовать с персоналом, представляя себя как идеальное решение для работы в условиях стеснённого пространства, обеспечивая высокий уровень безопасности и целесообразно заполняя рабочее пространство.

Необходимо подчеркнуть, что контроль качества оказывает фундаментальное воздействие на производственные результаты, и его значимость проблематично переоценить. Индивидуальным аспектом в автопромышленности стало использование коботов как базисного компонента для обеспечения стандартов качества. Программа UR+, разработанная с фокусом на повышении автоматизации задач контроля, включает в себя решения, оптимизирующие такие процессы, как оптические проверки и метрология. Применение этих решений можно увидеть на примере Craft and Technik Industries (CATI) в Индии, где внедрение коботов при обслуживании ЧПУ-устройств позволило увеличить выпуск без дефектов и повысить производительность. Генеральный директор CATI, Прашант Шантарам Умбрани, отмечает расширенные возможности автоматизации, теперь доступные также малому и среднему бизнесу. В результате компания достигла заметного роста эффективности на 20%, воздав производственную среду, свободную от дефектов.

Comprehensive Logistics из Огайо, специализирующаяся на сборке двигателей, внедрила решение с использованием UR10 в комплекте с камерой заднего вида для усиления контроля инспекции. Это позволило добиться качества с абсолютной точностью. В свете данных достижений, автомобильная отрасль обнаруживает новые возможности для интеграции роботов, что не только повышает стандарты качества, но и ускоряет производственные циклы, параллельно снижая риск травмирования персонала [7].

Популярность коботов от Universal Robots растет благодаря их способности приспосабливаться к изменяющимся производственным условиям. Гибкость их конструкции позволяет эксплуатировать их близко к человеку без каких-либо защитных барьеров. Это позволяет автомобильным производителям постоянно наращивать функциональность своих линий.

Робототехнические технологии и коботы предлагают в ближайшем будущем огромный потенциал для полной автоматизации процессов в автоиндустрии. Высокотехнологичные и интерактивные системы робототехники, разработанные с учетом различных условий

эксплуатации, значительно преображают как основные, так и вспомогательные операции, гарантируя автоматизацию на новом уровне.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вильчинский Ю.С. Промышленные роботы в автомобилестроении // НИИНавтопром. 1981. 51 с.
2. Дуганова Е.В., Загородний Н.А., Кравченко А.А., Щетинин Н.А. Производственно-техническая инфраструктура предприятий автомобильного транспорта. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. 123 с.
3. Рыбак Л.А. Роботы и робототехнические комплексы. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. 81 с.
4. Псигин Ю.В., Рязанов С.И. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. Робототехника, робототехнические комплексы // Инфра-инженерия. 2023. 157 с.
5. Арзамасцева Э.А., Позднева Н.С. Основные направления применения роботизированных комплексов в автомобилестроении за рубежом // Москва. НИИНавтопром., 1985. 60 с.
6. Дубинина М.Г. Анализ показателей развития роботов для дуговой сварки // Ижевск. НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2018. С. 88-96.
7. Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. Автоматизация производственных процессов в машиностроении // ИНФРА-М, 2019. 264 с.

**УДК 670.2**

**Канищев Д.В.**

**Научный руководитель: Павлюченко Д.Г. ст. преп.**

**Белгородский государственный технологический университет  
им В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия**

## СВАРКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Официальный патент на сварку трением с перемешиванием (СТП / FSW) был получен Британским институтом сварки (TWI) в 1991 году, истоки этой технологии восходят к СССР. Еще в 1967 году советский ученый Ю.В. Клименко описал аналогичный метод в авторском свидетельстве №195846, что делает СССР исторической родиной процесса. Однако в то время технология не получила широкого

распространения и была надолго забыта. В отечественной литературе встречаются и другие названия этого способа соединения материалов, такие как «фрикционная сварка» или «ротационная сварка трением», но наиболее точным остается термин «сварка трением с перемешиванием», поскольку он лучше отражает суть процесса — пластификацию металла за счет трения и его последующее перемешивание вращающимся инструментом. Таким образом, несмотря на международное признание британского патента, приоритет в разработке принципов СТП принадлежит советской науке. Лишь спустя десятилетия технология обрела вторую жизнь и стала активно применяться в авиационной, космической и судостроительной отраслях.

На рисунке 1 изображен процесс сварки трением с перемешиванием (СТП). Технология основана на использовании специального инструмента, который не расходуется в процессе работы. Конструктивно этот инструмент состоит из двух основных частей: массивного цилиндра с плоской торцевой поверхностью (заплечика) диаметром  $D$  и выступающего из него стержня (пина) меньшего диаметра  $d$ . Технологический процесс выполняется при определенном угле наклона  $\alpha$  оси инструмента относительно нормали к поверхности соединяемых деталей. На первом этапе вращающийся с частотой  $n$  (или угловой скоростью  $\omega$ ) инструмент погружается в материал на заданную глубину  $l$ , после чего начинает перемещаться вдоль линии стыка со скоростью  $V_{cb}$ .

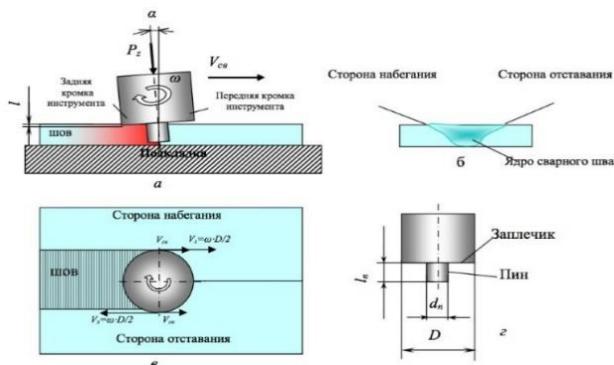


Рис 1. – Сущность сварки трением с перемешиванием:  
а – схема СТП; б – поперечное сечение сварного шва;

в – схема скоростей движения при СТП; г – инструмент для СТП.

При этом используется технология "сварки углом вперед". Под действием сил трения и приложенного давления Рz металл в зоне контакта с заплечиком переходит в пластифицированное состояние. Интенсивное перемешивание размягченного материала пином в сочетании с приложенным давлением приводит к формированию качественного сварного соединения. Характерной особенностью процесса является образование в конечной точке шва отверстия, соответствующего по форме рабочей части инструмента. Для обеспечения стабильности процесса сварка выполняется на специальной подкладке. При этом вся система "инструмент-деталь-подкладка" должна обладать необходимой жесткостью, что является важным условием получения качественного соединения.

Этапы сварки трением с перемешиванием:

- 1) Разгон инструмента
  - Вращающийся инструмент (состоящий из заплечика и пина) разгоняется до рабочей скорости ( $n$  или  $\omega$ ).
  - Ось инструмента устанавливается под заданным углом наклона ( $\alpha$ ) относительно поверхности свариваемых деталей.
- 2) Погружение инструмента
  - Инструмент вертикально внедряется в материал на заданную глубину ( $l$ ), создавая зону пластификации за счет трения и давления ( $Pz$ ).
  - Заплечик обеспечивает нагрев, а пин начинает перемешивать размягченный металл.
- 3) Сварка (перемещение вдоль стыка)
  - Инструмент движется вдоль линии соединения со скоростью ( $V_{cb}$ ), формируя шов за счет:
    - Постоянного перемешивания пластифицированного металла пином.
    - Давления заплечика, уплотняющего материал.
    - Наклон "углом вперед" улучшает качество перемешивания.
- 4) Подъем инструмента
  - По завершении шва инструмент постепенно извлекается из материала.
  - В точке выхода остается технологическое отверстие (след от пина).
- 5) Окончание процесса
  - Вращение инструмента останавливается.
  - Система (инструмент-деталь-подкладка) сохраняет жесткость до полного остывания зоны сварки.

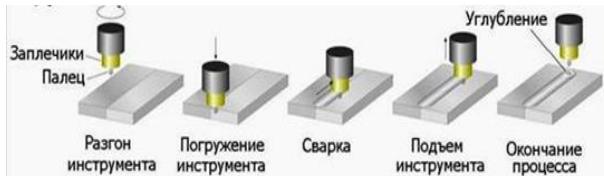


Рис 2. – Этапы процесса сварки трением с перемешиванием.



Рис 3. – Внешний вид шва, полученного СТП

Для изготовления пина и бурта инструмента, используемого в процессе сварки трением с перемешиванием, применяют сверхтвёрдые материалы с низкой теплопроводностью и высокой теплостойкостью. Например используют вольфрам-рениевый сплав ВР25 ТУ 48-19-274-77.

Достоинства технологии:

- 1) Технологические преимущества:
  - Минимальная подготовка кромок (не требуется тщательная зачистка)
  - Отсутствие деформаций изделия после сварки
  - Возможность получения швов значительной длины и глубины
- 2) Экономическая эффективность:
  - Не требуются присадочные материалы и защитные газы
  - Снижение энергозатрат по сравнению с традиционными методами
  - Уменьшение себестоимости за счет автоматизации
- 3) Качество соединения:
  - Отсутствие пор и трещин в шве
- Экологичность и безопасность:
  - Нет вредных излучений и токсичных выделений
  - Отсутствие брызг металла и искр
  - Безопасные условия труда для оператора
- 4) Универсальность:
  - Возможность сварки металлов до 1800°C

- Соединение разнородных материалов

Недостатки технологии:

1) Ограничения по конструкции:

- Обязательное жесткое крепление заготовок

- Образование отверстия в конце шва

- Невозможность выполнения угловых швов

2) Технологические ограничения:

- Неприменимость для соединений, требующих присадочного

материала

- Ограничения по толщине свариваемых деталей

3) Эксплуатационные сложности:

- Необходимость использования подкладки

- Требовательность к точности позиционирования инструмента

- Ограниченный доступ к зоне сварки в сложных конструкциях

Промышленное применение:

1) Аэрокосмическая отрасль:

- Топливные баки ракет

- Панели фюзеляжа самолетов

2) Судостроение:

- Палубы и корпуса катеров из сплава АМг6

3) Автомобилестроение:

- Алюминиевые детали автомобилей

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Котлышев Р.Р. Сварка трением с перемешиванием / Р.Р. Котлышев – Ростов-на-Дону - Изд. центр ДГТУ. – 2012.
2. Journal of Materials Processing Technology, 2020
3. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов (обзор) / А.Я. Ищенко [и др.] // Автоматическая сварка. – 2007. – №11.
4. Журнал "РИТМ машиностроения" № 7-2019
5. Авторское свидетельство 195846 СССР. Способ сварки металлов трением / Ю.В. Клименко // Бюллетень изобретений. № 10. 1967.
6. Севастьянов И.В., Каракевичева А.В., Сычев Е.А. Технологии гибридного производства. / Севастьянов И.В., Каракевичева А.В., Сычев Е.А. // Образование. Наука. Производство: Сборник докладов XVI Международного молодежного форума. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 69-72.

**УДК 62-182**

**Коростелёв П.П.**

**Научный руководитель: Шевцова А.Г., д-р техн. наук, доц.  
Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, г. Елец, Россия**

**ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ Т7 С  
ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ (НА ПРИМЕРЕ ТРАКТОРА  
«КИРОВЕЦ» СЕРИИ К-7М)**

Коробка переключения передач (КПП) трактора «КИРОВЕЦ» (Рис. 1) – автоматизированная, многоступенчатая, четырёхрежимная, с шестернями постоянного зацепления, с пневматическим приводом переключения режимов и гидравлическим управлением фрикционами, обеспечивающими переключение передач без разрыва потока мощности в пределах одного режима. [1]



Рис. 1 Коробка переключения передач Т7 [3]

КПП имеет 16 передач вперёд и 8 назад, 4 режима переднего и 2 заднего хода.

Система управления КПП современных тракторов «КИРОВЕЦ» по выполняемым функциям состоит из следующих механизмов и узлов:

1) редукторная часть, отвечает за передачу крутящего момента от двигателя к ведущим мостам и за работу насосов гидросистем

управления поворотом трактора, навесного оборудования и гидросистемы коробки передач;

2) гидравлическая система коробки передач и механизма отбора мощности, осуществляет управление фрикционами передач и смазку соединительной муфты и редуктора механизма отбора мощности.

3) пневматическая система коробки передач, с помощью сжатого воздуха обеспечивает переключение режимов.

Пневматическая система – это совокупность аппаратов, соединенных друг с другом воздухопроводами в строгой функциональной последовательности, предназначенных для производства, накопления, контроля и потребления сжатого воздуха и служащих для облегчения управления системами и агрегатами тракторов, и соответственно, повышения их эксплуатационных свойств. [2]

На рисунке 2 представлена пневматическая система трактора «КИРОВЕЦ» серии К-701, выпускавшегося с 1975 по 2002 год.

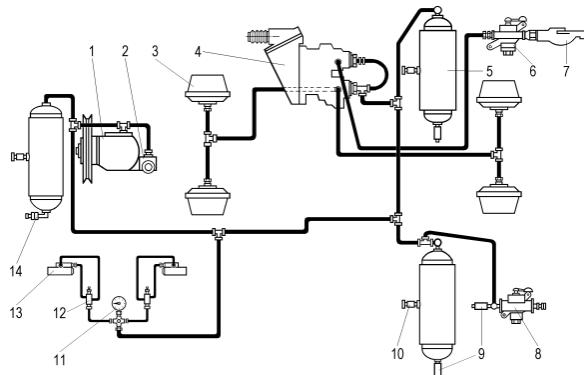


Рис. 2 Схема пневмосистемы трактора К-701

1 – компрессор; 2 – регулятор (ограничитель) выходного давления; 3 – тормозные камеры; 4 – двухсекционный тормозной кран; 5 – ресиверы (баллоны); 6 – разобщительный кран; 7 – соединительная головка; 8 – кран отбора воздуха для накачивания шин и других нужд; 9 – предохранительные клапаны; 10 – клапаны слива конденсата; 11 – датчик давления и манометр; 12 – вентили управления стеклоочистителями; 13 – пневмодвигатели стеклоочистителей; 14 – буксирный клапан. [4]

С течением времени пневматическая система трактора «КИРОВЕЦ» изменилась, была усовершенствована конструкторами и введена в эксплуатацию на новейших моделях серии К-5 и К-7М,

выпускаемых на данный момент.

На рисунке 3 представлена пневматическая система трактора «КИРОВЕЦ» серии К-742М, 2023 года выпуска.

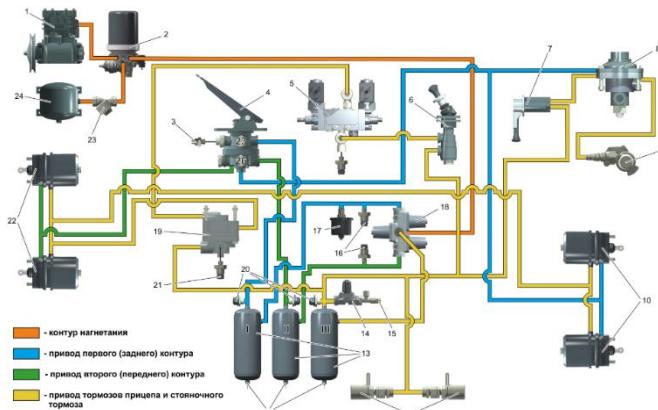


Рис. 3 Схема пневмосистемы трактора К-742М

1 – компрессор; 2 – регулятор давления с адсорбером; 3 – выключатель пневматический сигнала торможения; 4 – кран тормозной с педалью; 5 – клапан стояночного тормоза; 6 – ручной тормозной кран; 7 – кран тормозной обратного действия с ручным управлением; 8 – клапан управления тормозами прицепа с однопроводным приводом; 9 – головка соединительная; 10 – камеры тормозные с энергоаккумуляторами типа 24/24 заднего ведущего моста; 11 – розетка соединительная; 12 – кран слива конденсата; 13, 24 – ресиверы; 14 – одинарный защитный клапан; 15 – вывод на коробку передач; 16, 17, 21 – датчики давления; 18 – клапан защитный тройной; 19 – клапан ускорительный; 20 – клапан контрольного вывода; 22 – камеры тормозные с энергоаккумуляторами типа 24/24 переднего ведущего моста; 23 – фильтр магистральный. [3]

Главным отличием усовершенствованной пневмосистемы трактора «КИРОВЕЦ» серии К-7М является наличие регулятора давления с адсорбером 2 предназначенного для осушения и очистки сжатого воздуха, нагнетаемого компрессором в пневмосистему трактора, поддержания давления в системе в пределах от 0,71 до 0,85 МПа, а также для защиты системы от перегрузки. А самым ключевым моментом служит вывод воздуха 15 с III контура на КПП (Рис. 3), предназначенный для переключения режимов. Также пневмосистема управляет тормозной системой барабанного (мосты ПЗМ) или дискового (мосты Т400) типа, приводит в работу тормозную систему прицепных агрегатов, имеет места подвода воздуха для обдувки салона,

радиатора или прочих узлов, а также отвечает за комфорт водителя, посредством амортизации сиденья.

Именно поэтому функциональное значение пневматической системы трактора играет большую роль в обеспечении его работоспособности.

Пневмосистема КПП трактора (Рис. 4), состоит из электропневмораспределителя (блок клапанов 1 и 2), магистрали подвода воздуха (трубопроводы и фитинги) и исполнительных механизмов (пневмоцилиндры Ц1, Ц2, Ц3, Ц4, Ц5), связанных с поворотными сошками, которые через поворотные валы воздействуют на шестерни вводя их в зацепление, достигая необходимых комбинаций для заданного режима работы.

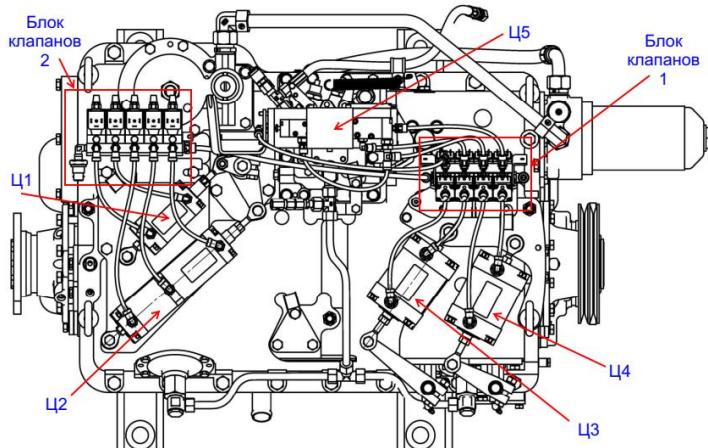


Рис. 4 Расположение цилиндров и клапанов управления КПП [3]

Принцип работы КПП с пневматическим приводом заключается в том, что электрические сигналы на пневмораспределитель подаются через жгут контроллера, который расположен в кабине трактора, а именно, «плюс» подаётся на определённую электрокатушку, в тоже время «минус» уже соединён с массой трактора, впоследствии, воздух под давлением проходит через рампу, а с неё, при открытии соответствующего клапана электрокатушки, посредством перемещения сердечника, через магистраль подаётся в пневмоцилиндр, и уже потом, поршень цилиндра двигается в необходимом направлении, перемещая сошку, и вводя в зацепление шестерни КПП, активируя необходимую комбинацию.

На основе обмена опытом с механизаторами, эксплуатирующими

данную технику на производстве и сервисным составом осуществляющем её ремонт, были выявлены следующие неисправности.

Выявленные неисправности КПП и пневмосистемы:

1) отказ включения режима КПП;

В результате засорения, на клапане электрокатушки были обнаружены механические загрязнения, возникшие по причине несвоевременного проведения технического обслуживания элементов пневмосистемы, а именно, фильтра осушителя. Влагоочиститель выработал свой ресурс, впоследствии чего пыль забила фильтрующий элемент и попала в седло клапана электрокатушки.

2) при нажатии педали слива автоматически не включалась первая передача;

Суть неисправности заключалась в том, что датчик слива, не давал полного контакта и не сигнализировал блоку управления о выжиме педали слива, в результате окисления его контактов.

3) сбилась регулировка «геркона» (герметичный контакт), который расположен на пневмоцилиндре и сигнализирует о крайнем верхнем или нижнем положении поршня, причиной чего служил отказ включения режима;

Неисправность устранилась путём регулировки положения «геркона» на поверхности пневмоцилиндра.

4) остановка работы трактора на выбранном режиме и определённой скорости не позволит завести его с кнопки «START»;

Данная проблема встречается в случаях если трактор был остановлен незапланированно или из третьего контура пневмосистемы ушёл воздух, в результате чего, положение рычагов КПП не соответствует нейтрали. В таком случае прибегали к аварийному запуску трактора, путём нажатия комбинации клавиш, либо принудительному заполнению сжатым воздухом третьего контура пневмосистемы.

КПП тракторов «КИРОВЕЦ» серий К-5 и К-7М, оснащённых пневматическим приводом переключения, демонстрирует существенный прогресс в отличие от своего предшественника серии К-701, где переключение осуществлялось механическим способом с помощью рычагов. Автоматизация процесса переключения позволила значительно повысить эргономику рабочего места оператора, снизить физическую нагрузку, уменьшить вероятность ошибок при выборе передачи, повысить надёжность трансмиссии и обеспечить более мягкую и комфортную работу в различных режимах. Переход к автоматизированной системе управления переключением передач

можно считать одним из ключевых этапов модернизации тракторов «КИРОВЕЦ», соответствующим современным требованиям к технике для аграрного сектора. Таким образом, опыт эксплуатации подтверждает эффективность текущих технологических решений, и закладывает основу для дальнейшего совершенствования трансмиссионной системы тракторов нового поколения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агапов А.И. Устройство и эксплуатация трактора К-744 серии Р. Учебное пособие / А.И. Агапов // ТО ОУСПО. — 2017. — 19 С.
2. Ксеневич И.П. Тракторы. Конструкция / И.П. Ксеневич, В.М. Шарипов, Л.Х. Арустамов // МГТУ «МАМИ». — 2001. — 821 С.
3. Петербургский тракторный завод: офиц. сайт / Санкт-Петербург. Обновляется в течение суток. URL: <https://kirovets-ptz.com>
4. Рыбин Е.Л. Пневматическая система трактора / Е.Л. Рыбин, Ю.А. Феофанов // МГТУ «МАМИ». — 2000. — 30 С.

**УДК 338.012**

*Куртятова Р.Н.*

*Научный руководитель: Наумова О.Н., д-р экон. наук, проф.*

*Поволжский государственный университет сервиса,  
г. Тольятти, Россия*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ: АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТОВ И ИМПЕРАТИВЫ**

Железнодорожное машиностроение является одной из ключевых отраслей российской экономики, обеспечивающей транспортную связь страны и формирующей значительную долю промышленного потенциала страны. В условиях глобальных вызовов и необходимости обеспечения технологического суверенитета российской экономики политика импортозамещения приобретает особую актуальность. Государственная поддержка трансферта технологий и инноваций является неотъемлемой частью этой политики. Настоящая статья посвящена анализу эффективности существующих инструментов государственной поддержки в железнодорожном машиностроении и разработке рекомендаций по совершенствованию

государственной политики импортозамещения в данной отрасли экономики.

Государственная поддержка железнодорожного машиностроения реализуется через инструменты для стимулирования инноваций, модернизации и импортозамещения. Стратегия развития транспорта до 2030 г. определяет основные направления, включая рост внутреннего потребления, экспорт, развитие рынка комплектующих и привлечение инвестиций. Она предполагает государственное финансирование программ, строительство предприятий, создание совместных предприятий и развитие инфраструктуры. Основные проблемы — нехватка долгосрочного спроса и финансирования, а эффективность зависит от приоритетов и координации усилий на госуровне в реализации крупных инвестиционных проектов.

Анализ поддержки трансфера технологий в железнодорожном машиностроении за 2020–2025 гг. показывает наличие системы мер для модернизации отрасли, стимулирования инноваций и обеспечения технологического суверенитета, включая стратегию развития, фонд развития промышленности, СПИК, «Сколково» и программы НИОКР.

Фонд развития промышленности (ФРП) стимулирует инвестиции в железнодорожное машиностроение через льготные займы, поддержку НИОКР и льготный лизинг. С 2022 года он профинансировал крупные проекты, в том числе с ООО "Трансмашхолдинг". Однако существуют проблемы: жесткие требования к заемщикам, сложность подачи заявок, ограниченность финансирования и необходимость возврата средств. Эти ограничения снижают доступность поддержки для МСП и сдерживают общий эффект модернизации отрасли.

Специальный инвестиционный контракт (СПИК) рассматривается как инструмент привлечения частных инвестиций в долгосрочные проекты, обеспечивающий льготные условия ведения бизнеса и налоговые преимущества. Он стимулирует строительство и модернизацию предприятий в отрасли. Основные проблемы, связанные с СПИК, включают его долгосрочный характер, зависимость от государственной политики и риски, связанные с международными санкциями, оказывающими влияние на реализацию контрактов.

«Сколково» объединяет компетенции и поддерживает инновации, предоставляя гранты и инфраструктуру для стартапов и развития импортозамещения. Основные проблемы — конкуренция за гранты и сложности коммерциализации. Для внедрения инноваций в железнодорожное машиностроение нужно создать условия и стимулы, чтобы реализовать политику импортозамещения и добиться технологического лидерства.

Государственная программа поддержки НИОКР стимулирует исследования и разработку инноваций через частичную компенсацию затрат, повышая конкурентоспособность и внедрение отечественных технологий. Однако сложная процедура получения субсидий, высокие требования к отчетности и низкая эффективность коммерциализации результатов снижают общий экономический эффект программы.

В России есть широкий инструментарий поддержки железнодорожного машиностроения, но его эффективность ограничена проблемами с координацией, бюрократией, отсутствием долгосрочного спроса, трудностями внедрения инноваций и высокими требованиями к получателям. Для прорыва в импортозамещении нужно принять меры для создания благоприятной среды, стимулирования инноваций и укрепления технологического суверенитета.

Таблица 1 - Императивы повышения эффективности государственной политики импортозамещения в железнодорожном машиностроении

<b>№</b>	<b>Императив</b>	<b>Основная цель</b>	<b>Ключевые механизмы реализации</b>
1	Создание и развитие инновационных кластеров	Формирование синергетической среды для ускоренного трансфера технологий и коммерциализации разработок	Объединение научных организаций, предприятий, инжиниринговых центров, государственных структур. Совместные проекты, обмен опытом, общая инфраструктура
2	Существенное увеличение и оптимизация поддержки НИОКР	Стимулирование прикладных исследований и разработок, направленных на создание конкурентоспособной отечественной продукции	Увеличение объемов финансирования, упрощение процедуры получения грантов/субсидий, ориентация на потребности отрасли, механизмы стимулирования

			внедрения результатов в производство
3	Комплексное развитие системы образования и подготовки кадров	Обеспечение отрасли высококвалифицированным и специалистами, способными разрабатывать и внедрять передовые технологии	Целевые программы подготовки специалистов с вузами и колледжами, создание КБ и испытательных центров на базе вузов, совершенствование материально-технической базы, привлечение практиков к преподаванию
4	Разработка и внедрение системы долгосрочного планирования спроса	Обеспечение предсказуемости заказов, стимулирование инвестиций в модернизацию и разработку новой техники	Формирование долгосрочных контрактов с основными потребителями (в первую очередь, ОАО "РЖД"), прогнозирование потребностей рынка
5	Вовлечение всех заинтересованных сторон	Обеспечение комплексного подхода к формированию и реализации политики импортозамещения, учет интересов всех участников процесса	Активное взаимодействие с представителями бизнеса, научного сообщества, образовательных учреждений, общественности при разработке и корректировке программ, создание площадок для диалога и обмена мнениями

Императивы из таблицы создают комплексный подход к импортозамещению в железнодорожном машиностроении, требующий координации госорганов, бизнеса и науки. Важные меры — развитие кластеров, поддержка НИОКР, упрощение процедур, долгосрочное планирование, инфраструктура и кооперация. Их реализация поможет снизить зависимость от импорта и создать конкурентоспособную отрасль.

Анализ инструментов поддержки (ФРП, СПИК, НИОКР) показал их потенциал для стимулирования инноваций и импортозамещения. Но есть проблемы: слабая координация, сложности для МСП и недостаточная ориентация на долгосрочный спрос и отраслевые особенности.

Преодоление барьеров требует системных мер, включая развитие инновационных кластеров, усиление поддержки НИОКР, развитие кадров, цифровизацию процедур, долгосрочный спрос на отечественную технику и доступную финансовую поддержку..

Эффективное импортозамещение в железнодорожном машиностроении требует скоординированного использования инструментов поддержки для устранения системных барьеров. Реализация предложенных мер создаст условия для развития отрасли, достижения технологического суверенитета, снижения зависимости от импорта и повышения конкурентоспособности на внутреннем и мировых рынках.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Галимова, С. А. Влияние санкций на предприятия разработки и производства в отрасли железнодорожного машиностроения / С. А. Галимова, П. С. Егорова, В. Д. Контеев // современная наука и молодые учёные: сборник статей XV Международной научно-практической конференции, Пенза, 17 июня 2024 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. – С. 96-99. – EDN IAOXAK.
2. Киселев, Д. А. Исследование развития железнодорожного машиностроения в условиях реализации политики импортозамещения в России / Д. А. Киселев // Студенческая наука: созидая будущее: всероссийская студенческая научно-практическая конференция, Курск, 05–06 июня 2024 года. – Курск: Курский государственный университет, 2024. – С. 274-280. – EDN KKOVKU.
3. Экономическая безопасность технологического суверенитета: национальный и региональный аспекты / О. Н. Наумова, Н. А. Nikolaeva, Т. А. Оруч, Н. Н. Скорниченко. – Курск: ЗАО

«Университетская книга», 2024. – 203 с. – ISBN 978-5-907857-02-5. – EDN BSBPWJ.

4. Наумова, О. Н. Анализ современного состояния промышленного сектора РФ и тенденции его развития при реализации процессов импортозамещения / О. Н. Наумова, Т. А. Оруч // Московский экономический журнал. – 2023. – Т. 8, № 6. – DOI 10.55186/2413046X\_2023\_8\_6\_262. – EDN TIRHTL.

5. Николаева, Н. А. Концепция формирования экономической безопасности страны / Н. А. Николаева, О. Н. Наумова // Научные исследования 2023: актуальные теории и концепции: сборник материалов XXIX-ой международной очно-заочной научно-практической конференции, Москва, 24 мая 2023 года. Том 1. – Москва: Научно-издательский центр "Империя", 2023. – С. 74-76. – EDN KESPPY.

УДК 666.1.031.841

*Лобанов Д.В., Миненкова А.А., Шаталов И.С.*

*Научный руководитель: Латышев С.С., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## КАПЛЯ, ОСОБЕННОСТИ ЕЕ ГЕОМЕТРИИ

В инженерной практике часто встречается использование геометрических форм, которые человек наблюдает в природе [1]. Одной из таких геометрий является форма капли.

Капля приобретает свою форму за счет трех факторов [2]:

1. Поверхностное натяжение вещества, из которого сформирована капля

2. Сила тяжести вещества, из которого сформирована капля

3. Сопротивление воздуха падению капли

На форму и характер движения капли существенное влияние оказывает ее размеры (Рис. 1), в зависимости от которого различают следующие группы [3, 5]:

- **(А) Каплевидная форма** – при падении такая форма образоваться не может, она образуется, когда капля свисает с какой-либо поверхности.

- **(В) Маленькие капли** – диаметр <0,5 мм; максимальные скорости, которые могут развить капли составляют 2-6,6 м/с, в зависимости от высоты, с которой она падает; при их движении

доминирует поверхностное натяжение; капля имеет почти сферическую форму.

- **(C) Средние капли** – диаметром 1-2 мм, максимальные скорости, которые могут развить капли составляет 4-6 м/с, что соответствует 14.4-21.6 км/ч, сила тяжести и сопротивление воздуха деформируют сферическую форму, вытягивая каплю вверх и приплощивая нижнюю часть. Форма становится похожа на слезу или парашют.

- **(D) Большие капли** – диаметром 5мм, максимальные скорости, максимальные скорости, которые могут развивать капли составляет 9-30 м/с, что составляет 32,4-108 км/ч, сопротивление воздуха становится настолько сильным, что капля приобретает сплющенную форму напоминая сдобную булочку, также такие капли могут разорваться на несколько мелких или средних камель.

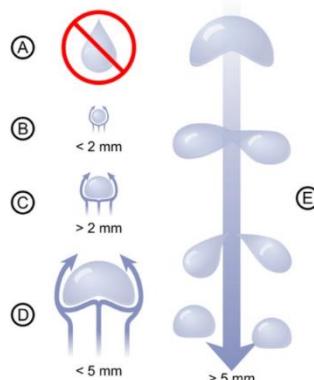


Рис. 1 Изменение формы капли от ее размера

При увеличивается скорость капли растет сопротивление воздуха, максимальная скорость движения достигается при условии, что сопротивление воздуха равняется силе тяжести. В связи с этим с увеличением размеров капли возрастает предел скорости, которого они могут достигнуть.

На (Рис. 2) представлены изображения падающей капли, полученные с помощью высокоскоростной съемки. Капля все время меняет свою форму в результате взаимодействия различных сил.

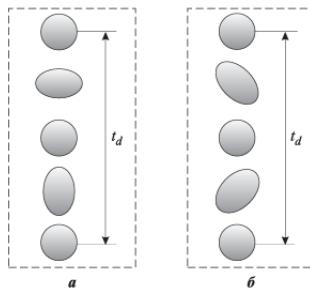


Рис. 2 Как меняется форма капли при падении

Когда капля отрывается от поверхности за счет поверхностного натяжения она приобретает сферическую форму. В последствии за счет действия сил тяжести и сопротивления воздуха она сплющивается по горизонтальной оси, затем приобретает сферическую форму и обратно сплющивается уже по вертикальной оси. Так она колеблется пока не обретет состояние покоя:

На (Рис. 2.а) показано состояние капли, когда на нее не действуют силы бокового ветра

На (Рис. 2.б) каплю подвергаю воздействию бокового ветра, из-за этого ось сплющивания находится под углом.

#### **Когда и как применять форму капли**

Каплевидная форма эффективна для низких и средних скоростей движения в жидкости или газе. Более подробные причины представлены ниже:

##### **Низкие скорости:**

- При низких скоростях основным фактором сопротивления является вязкое трение.
- Уменьшает площадь поверхностного контакта с жидкостью или газом, тем самым снижает вязкое трение.
- Благодаря плавному сужению задней части капли, обеспечивает плавное отсоединение потока, что предотвращает образование крупных вихрей и турбулентности, которые влияют на сопротивление. [4]

##### **Средние скорости:**

- При увеличении скорости возрастает роль сопротивления давления, которое возникает из-за разности давлений на передней и задней частях капли.

- Каплевидная форма по-прежнему эффективна для снижения сопротивления давления, так как она обеспечивает плавное обтекание объекта и минимизирует разницу давлений.

**Для высоких скоростей форма капли становится не эффективной это связано с несколькими причинами:**

- Образование ударных волн – при достижении скорости звука возникают ударные волны, которые увеличивают сопротивление. Каплевидная форма не оптимизирована для этого.

• Турублентность – при высоких скоростях поток воздуха может становиться турбулентным, даже если объект имеет обтекаемую форму.

• Другие факторы – на высоких скоростях начинают играть роль другие факторы, такие как сжимаемость воздуха и нагрев поверхности объекта, которые не учитываются при проектировании каплевидной формы.

**Применяются в таких областях техники:**

**Авиация и Аэрокосмическая техника:**

• **Обтекатели на крыльях и стойках шасси:** небольшие каплевидные обтекатели используются для снижения сопротивления воздуха на различных элементах самолета. Они помогают уменьшить турбулентность и улучшить общую аэродинамику.

• **Носовые обтекатели ракет:** некоторые ракеты используют каплевидные обтекатели на носовой части для снижения сопротивления воздуха на начальном участке полета.

**Судостроение и Подводные аппараты:**

• **Корпуса подводных лодок:** части корпуса где применяют каплевидную форму, а именно носовая и задняя части подводной лодки, позволяет двигаться под водой с меньшим сопротивлением, что увеличит скорость и дальность плавания.

• **Формы спортивных судов (каяки, байдарки):** корпуса каяков и байдарок спроектированы с учетом принципов обтекаемости, и часто имеют элементы каплевидной формы.

На самом деле форма капли применяется во многих вещах для тех или иных причин, мы просто не всегда можем их рассмотреть.

**Построение формы «капля»**

Для того чтобы построить форму «капля» используют сложные математические формулы [6, 7, 8], такие как аэродинамический профиль Жуковского (1, 2).

$$x = q \sin(t) - \frac{q \sin(t)}{(1 - q + q \cos(t))^2 + q^2(\sin(t))^2} \quad (1)$$

$$y = q \cos(t) + \frac{1 - q + q \cos(t)}{(1 - q + q \cos(t))^2 + q^2(\sin(t))^2} \quad (2)$$

где  $1/2 < q < 1$

В этом случае  $q=2/3$  (Рис. 3)

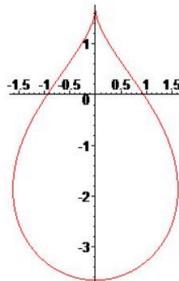


Рис. 3 Аэродинамический профиль жуковского

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Латышев, С. С. Возможности компьютерного моделирования циклайды Дюпена на примере кулачкового зажима / С. С. Латышев, И. В. Тищенко, А. В. Дронова // Строительство и техногенная безопасность. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2019. – С. 25-35.
2. Волков, Р. С. Экспериментальные исследования особенностей изменения формы капель воды при их движении с умеренными скоростями через газовую среду / Р.С. Волков, А.О. Жданова, П.А. Стрижак // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 10. – С. 1-5.
3. Реальная форма капель дождя // ThoughtCo.: сайт. – URL: <https://www.thoughtco.com> (дата обращения: 27.05.2025)
4. Капли дождя по форме похожи на слезы? // USGS: сайт. – URL: <https://www.usgs.gov> (дата обращения: 27.05.2025)
5. NASA Anatomy of a Raindrop / NASA Goddard [Электронный ресурс] // YouTube: [сайт]. — URL: <https://www.youtube.com> (дата обращения: 27.05.2025).
6. Задача о форме капли жидкости на потолке // Хабр: сайт. – URL: <https://habr.com> (дата обращения: 27.05.2025)
7. Уравнение для создания поверхности типа "Капля" // stackoverflow: сайт. – URL: <https://ru.stackoverflow.com> (дата обращения: 27.05.2025)
8. Математическая функция, которая рисует форму капли воды? // Mathematics: сайт. – URL: <https://math.stackexchange.com> (дата обращения: 27.05.2025)

Лукьянин А.С.

Научный руководитель: Чепчуро́в М.С., д-р техн. наук., проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

## ВЛИЯНИЕ РАЗДЕЛКИ КРОМОК НА КАЧЕСТВО СВАРНОГО ШВА

Разделка кромок – один из ключевых факторов, определяющих качество сварного соединения. Правильно выполненная подготовка кромок обеспечивает:

- Полный провар по всей толщине металла
- Отсутствие дефектов (непроваров, пор, трещин)
- Оптимальные механические свойства шва
- Минимальные деформации конструкции

Рассмотрим основные зависимости между параметрами разделки и качеством шва.

Угол раскрытия кромок ( $\alpha$ ) является критически важным параметром при подготовке кромок под сварку, непосредственно влияющим на качество формируемого сварного соединения. Оптимальные значения угла раскрытия варьируются в зависимости от типа разделки:

1. Для V-образной разделки рекомендуемый угол составляет 60-80°
2. При X-образной разделке суммарный угол должен находиться в диапазоне 60-90°
3. U-образная разделка, характеризующаяся закругленным профилем, требует угла раскрытия 10-20° (рис. 1)

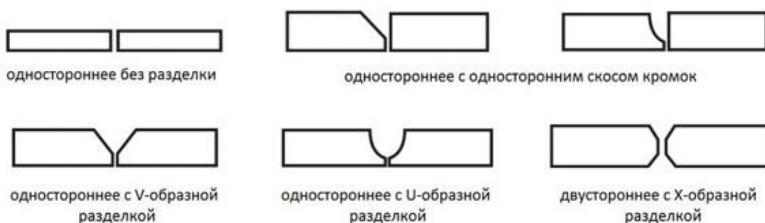


Рис. 1 – Виды разделки кромок под сварку

Анализ влияния отклонений от оптимальных значений показывает следующие закономерности:

При недостаточном угле раскрытия (узкая разделка) существенно затрудняется проплавление корневой части шва, значительно возрастает вероятность образования непроваров и требуется применение высококвалифицированного персонала для обеспечения качественного соединения

При чрезмерном угле раскрытия (широкая разделка) происходит увеличение объема наплавляемого металла, что приводит к: повышению остаточных напряжений, усилинию деформационных процессов, наблюдается рост расхода сварочных материалов (электродов или присадочной проволоки), при работе с тонколистовым металлом возникает опасность сквозного прожога.

Оптимизация угла раскрытия кромок позволяет достичь баланса между: качеством проплавления, экономической эффективностью процесса и минимизацией сварочных напряжений и деформаций. Выбор конкретного значения угла должен осуществляться с учетом толщины свариваемого металла, применяемой технологии сварки, требований к механическим характеристикам соединения и производственных возможностей предприятия.

Второй рассматриваемой зависимостью между параметрами разделки и качеством шва является влияние притупления кромок (b). Притупление кромок является критически важным параметром при подготовке соединений под сварку. Оптимальная величина притупления обычно составляет 1-3 мм и зависит от толщины свариваемого металла.

Недостаточное притупление менее 1 мм создает серьезные технологические проблемы. В этом случае значительно повышается вероятность сквозного прожога в корне шва, особенно при сварке тонколистовых конструкций. Также возникают сложности при выполнении подварочного шва с обратной стороны соединения.

Чрезмерное притупление свыше 4 мм приводит к противоположным проблемам. Основной риск заключается в недостаточном проплавлении корня соединения. Для компенсации этого эффекта приходится увеличивать сварочный ток, что неизбежно вызывает перегрев металла и связанные с этим негативные последствия.

Выбор оптимального значения притупления требует комплексного подхода с учетом характеристик свариваемого металла, типа соединения и применяемой технологии. Особое значение этот параметр приобретает при сварке ответственных конструкций, где даже незначительные отклонения могут привести к серьезным дефектам.

Третьей зависимостью является влияние зазора между подготовленными кромками, представляющая собой значимый технологический параметр, оказывающий непосредственное влияние на формирование качественного сварного соединения. Технологически обоснованный диапазон зазора составляет 0-3 мм, при этом конкретное значение определяется применяемым методом сварки и требованиями к соединению.

При полном отсутствии зазора между кромками создаются оптимальные условия для автоматизированных процессов сварки под флюсом, где плотное прилегание кромок обеспечивает стабильность теплового режима. Однако в случае выполнения ручной дуговой сварки нулевой зазор может стать причиной недостаточного проплавления корня шва из-за ограниченного доступа сварочной дуги к зоне соединения.

Увеличение зазора сверх рекомендуемых значений приводит к существенному изменению условий формирования шва. Чрезмерное раскрытие кромок вызывает нарушение стабильности сварочной ванны, что многократно повышает вероятность сквозного прожога, особенно при работе с тонколистовыми материалами. Для компенсации этого эффекта возникает необходимость применения технологических подкладок или выполнения дополнительных прихваток, что усложняет производственный процесс и увеличивает трудоемкость операций.

Финальной и главной зависимостью является влияние формы разделки. Конфигурация разделки кромок является определяющим фактором, оказывающим комплексное воздействие на технологические и эксплуатационные параметры сварного шва. При выборе формы разделки необходимо учитывать толщину свариваемого металла и требования к качеству соединения.

V-образная разделка, применяемая для металлов толщиной 3-25 мм, обеспечивает удовлетворительное проплавление по всей глубине шва, однако сопровождается повышенными сварочными деформациями из-за значительного объема наплавляемого металла. Более совершенная X-образная конфигурация, рекомендуемая для толщин 12-40 мм, демонстрирует лучшие показатели по снижению деформационных процессов и обеспечивает существенную экономию сварочных материалов за счет симметричного распределения тепловложения.

Для особо толстостенных конструкций (свыше 20 мм) оптимальные результаты достигаются при использовании U-образной разделки, которая благодаря плавным криволинейным очертаниям способствует равномерному проплавлению и минимизирует

остаточные напряжения. Альтернативные варианты К- и J-образных разделок находят применение при сварке массивных элементов, где их асимметричная геометрия позволяет существенно сократить объем наплавляемого металла при одновременном снижении деформационных явлений.

Выбор конкретной формы разделки должен основываться на технико-экономическом анализе, учитывающем не только технологические возможности производства, но и требования к механическим характеристикам готового соединения. Особое внимание следует уделять соответствуанию выбранной геометрии разделки применяемому методу сварки и пространственному положению шва.

Неправильно выполненная разделка несет за собой соответственные последствия. При слишком маленьком угле или слишком большом притуплении образуется непровар корня (рис. 2).



Рис. 2 – непровар корня шва

При слишком большом зазоре или отсутствующем притуплении образуются прожоги (рис. 3)



Рис. 3 – прожог сварного шва

При недостаточной очистке кромок от окалины и загрязнений образуются поры и шлаковые включения (рис. 4)



Рис. 4 – Поры и шлаковые включения

При слишком широкой разделке в изделии остаются высокие, которые могут вызывать коробление обрабатываемой детали или трещины на поверхности материала.

Как итог, стоит отметить, что качество сварного шва напрямую зависит от правильности разделки кромок, оптимальный угол обеспечивает хороший провар без лишнего расхода металла, а правильное притупление предотвращает прожоги и непровары. Стоит помнить о том, что контроль зазора снижает риск дефектов

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Николаев, Г.А. Сварка в машиностроении: учебник для вузов / Г.А. Николаев. — М.: Машиностроение, 2018. — 456 с.
2. Овчинников, В.В. Технология сварочного производства / В.В. Овчинников. — СПб.: Лань, 2020. — 320 с.
3. Автоматическое управление зачистными модулями машины для механической обработки кромок листовых заготовок / М. С. Чепчуро, Б. С. Четвериков, В. Е. Минасова [и др.] // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. — 2025. — № 1(27). — С. 12-20. — DOI 10.30987/2658-6436-2025-1-12-20.
4. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. — М.: Стандартинформ, 2020. — 56 с.
5. Определение шага микропрофиля поверхности, полученной механической обработкой / М. С. Чепчуро, О. В. Егунов, С. Ю. Косулин, А. Г. Схиртладзе // Ремонт. Восстановление. Модернизация. — 2011. — № 3. — С. 40-42.

**УДК 62-8/-98**

*Лучников Д.В., Чуев К.В., Третьякова Е.Ю.  
Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ БОРТОВОГО КОЛЬЦА ИЗ ШИНЫ

**Введение.** Преобразование окружности в эллипс – фундаментальная задача геометрии, имеющая широкое применение в различных областях науки и техники [2]. От оптики (эллиптические рефлекторы) до механики (описание траекторий движения) и компьютерной графики, понимание этого преобразования критически важно. В данной работе мы представляем модель, основанную на геометрической аналогии с процессом извлечения бортового кольца из автомобильной шины. Этот наглядный пример позволяет интуитивно понять математические принципы, лежащие в основе деформации окружности.

### **Основная часть.**

На рисунке 1 показана последовательность действий при отделении бортового кольца от шины [11]. Сначала колесо помещается

в рабочую зону устройства и фиксируется на крюке (1), имеющем ширину (B) (см. рис. 1а). Операция начинается с того, что крюк (1) захватывает бортовое кольцо (4). Резиновый борт шины (3) при этом прижимается к упору (мишени) (2) шириной (s) (см. рис. 1а). Когда усилие, необходимое для отделения бортового кольца (5), достигает нужной величины, крюк (1) начинает перемещаться, вытягивая кольцо через мишень (2), при этом увеличивается расстояние (4), которое проходит крюк (см. рис. 1б). Полное извлечение бортового кольца из шины завершает рабочий цикл.

На начальном этапе извлечения бортовое кольцо сохраняет правильную круглую форму (рис. 2,3). Однако по мере приложения тягового усилия его конфигурация начинает меняться. Первоначально деформация выражена слабо, но с продвижением кольца через зону контакта с шиной отклонение от окружности становится более заметным. Геометрия постепенно приближается к эллипсу, причем большая ось располагается перпендикулярно направлению движения вытягивающего механизма, а малая — совпадает с ним [5]. Чем дальше продвигается процесс, тем сильнее проявляется эллиптичность, достигая максимума в момент прохождения кольца через наиболее узкую часть шины.

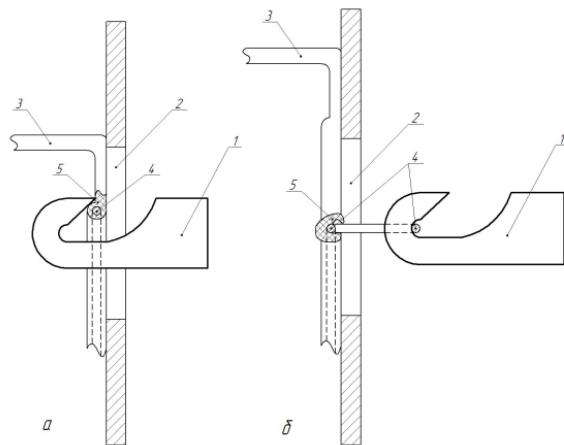


Рис.1. Процесс выдирания бортового кольца из шины.

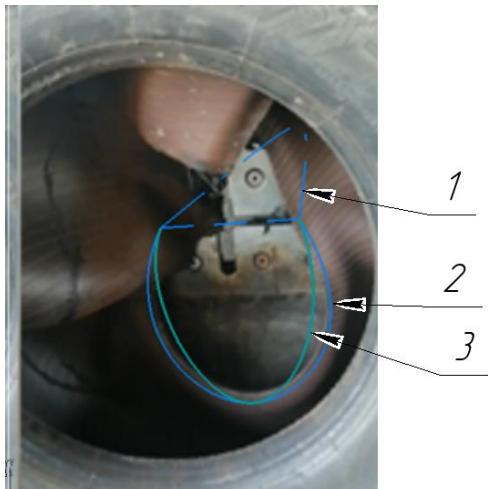


Рис.2. Процесс извлечения бортового кольца. 1 – равнобедренный треугольник, 2 – реальный контур, 3 – идеальный контур.

После завершения извлечения наблюдается частичное восстановление исходной формы, хотя небольшая деформация остается. Это объясняется тем, что при значительном растяжении материал кольца преодолевает предел упругой деформации и переходит в пластическую фазу. В результате после снятия нагрузки обратное восстановление формы происходит не полностью, так как часть энергии расходуется на необратимые структурные изменения в металле [9].

Важным аспектом процесса является изменение контура бортового кольца в области контакта с вытягивающим механизмом (рис. 2, 3) [1]. В этой зоне формируется равнобедренная втулка, обеспечивающая равномерное распределение усилия. Такая конструкция способствует снижению локальных перегрузок и минимизирует риск повреждения как кольца, так и шины. Однако при чрезмерном воздействии даже эта часть подвергается деформации, что может привести к остаточному искривлению после завершения извлечения.

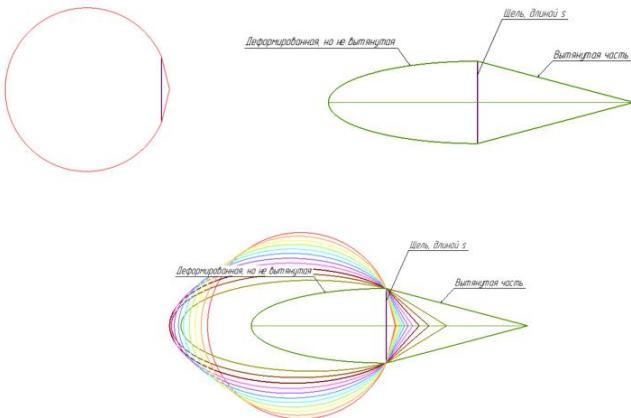


Рис.3. переход бортового кольца от окружности в эллиптическую форму.  
Начиная от красного круга, заканчивая зеленым эллипсом.

**Вывод.** Геометрическая модель процесса извлечения бортового кольца из шины демонстрирует, что деформация кольца происходит по эллиптическому закону, где большая ось эллипса перпендикулярна направлению вытягивания. Наибольшее искажение формы наблюдается при прохождении через узкую зону шины, после чего кольцо частично восстанавливается из-за упругой деформации, но сохраняет остаточную эллиптичность из-за пластических деформаций. Равнобедренная форма в зоне контакта с вытягивающим механизмом обеспечивает равномерное распределение нагрузки, снижая риск повреждения. Модель позволяет прогнозировать поведение кольца при демонтаже и оптимизировать процесс для минимизации остаточных деформаций.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1986.
2. Степин П.А. Сопротивление материалов. М.: Высшая школа, 1983.
3. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Сопротивление материалов при сложном напряженном состоянии. Киев: Наукова думка, 1976.
4. Симогин А. А. Применение планирования эксперимента при построении математической модели в области оптимума // Сборник научно-методических работ. Том 11. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2019. С. 195–202. – EDN GESOAG.

5. Макаров А. В. Некоторые аспекты рециклинга изношенных автомобильных покрышек методом пиролиза // Вестник ТОГУ. 2008. С. 247–258.
6. Бондаренко Е. В., Клищенко В. П., Пославский А. П., Сорокин В. В. Формирование энергоэффективной технологии утилизации автомобильных шин // Мир транспорта и технологических машин. 2011. С. 47–52.
7. Чуев К. В. Технологические аспекты извлечения металлических компонентов из резинотехнических изделий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2024. № 12. С. 106–115. – DOI 10.34031/2071-7318-2024-9-12-106-115. – EDN DCQCCK.
8. Чуев К. В., Кравченко В. М., Мутовалов Э. А. Основные виды утилизации резинотехнических изделий // Образование. Наука. Производство: Сборник докладов XV Международного молодежного форума, Белгород, 23–24 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. С. 49–52.
9. Пат. 201698, Российская Федерация, МПК B29B 17/02. Установка для удаления троса из боковой части шины при утилизации: / В. Я. Дуганов, Н. А. Архипова, К. В. Чуев, Ю. А. Чуева; заявитель ФГБОУ ВО «БГТУ им. Шухова» № 2020133204 : заявл. 08.10.2020 : опубл. 28.12.2020
10. Дуганов В. Я., Дуюн Т. А., Чуев К. В., Архипова Н. А., Кравченок В. М., Чуева Ю. А. Проблемы утилизации крупногабаритных автомобильных шин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 11. С. 103-112. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-11-103-112

**УДК 62-8/-98**

*Лучников Д.В., Чуев К.В., Горохов П.С.*

*Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ДЛЯ РАЗРЫВА БОРТА ПОКРЫШКИ И НАЧАЛА ИЗВЛЕЧЕНИЯ БК**

Процесс извлечения бортового кольца (БК) из покрышки характеризуется неоднородностью приложения усилий, что обусловлено изменением сопротивления материалов и геометрии

системы "шина-оборудование" на различных стадиях [1-5]. Анализ процесса, описанного в другой статье, показывает наличие двух выраженных пиков усилия: первый — в начале извлечения, связанный с разрывом резиновой оболочки борта, и второй — в конце, обусловленный выравниванием шины в линию вдоль щели упорной плиты. Предполагается, что первый пик возникает из-за максимального сопротивления резины разрушению и адгезии проволоки с оболочкой на стадии инициирования разрыва, где требуется преодолеть прочностные характеристики материала [6]. Второй пик [7-11], вероятно, связан с увеличением деформационного усилия и трения при финальном протягивании кольца, когда жесткость шины снижается, а контакт с упорной плитой усиливается.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = m \frac{dv}{dt} = \sum F_{kx} \quad (1)$$

Для удобства силы сопротивления извлечению бортового кольца представим в виде (2):

$$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = R \quad (2)$$

Суммарное сопротивление  $R$  (2) в процессе извлечения зависит от динамических характеристик движения бортового кольца, в частности от скорости  $v$  его перемещения. Скорость влияет на величину трения, на изменение деформационных усилий и на динамическое напряжение в резиновой оболочке. Для учета этого эффекта сопротивление  $R$  можно выразить через формулу (32):

$$R = -\mu \cdot v \quad (32)$$

где  $\mu$  — коэффициент сопротивления

Коэффициент  $\mu$  устанавливается эмпирически. Так, например, для шины 265/70 R19.5 с максимальной силой извлечения  $F=80 \text{ kN}$ ,  $v=0.05 \text{ м/с}$ ,  $A=208 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ,  $L=1.555 \text{ м}$ ,  $m = 2.5 \text{ кг}$  (подробнее про проведение испытаний в главе 3), искомый коэффициент  $\mu$  будет равен (43)

$$\mu = \frac{F}{v} = \frac{80000}{0.05} = 1.6 \cdot 10^6 \text{ кг/с} \quad (43)$$

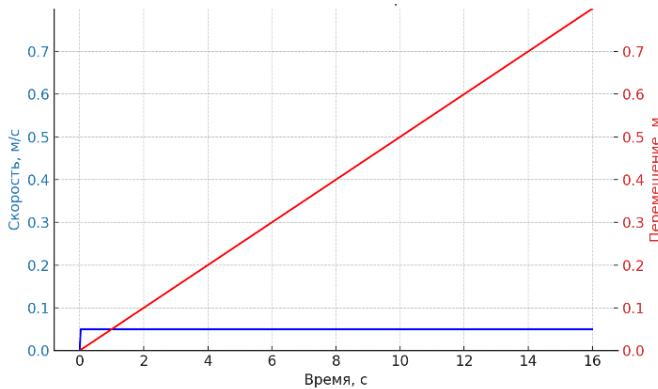


Рис.1. Зависимости скорости и перемещения рабочего зуба при полном извлечении бортового кольца из шины 265/70 R19.5

График зависимости скорости  $v(t)$  и перемещения  $x(t)$  рабочего зуба при полном извлечении бортового кольца из шины 265/70 R19.5 (Рис.1) охватывает интервал времени от 0 до 0.16 с. Синяя линия  $v(t)$  начинается в точке  $(0; 0)$ , мгновенно (за время менее 5 мкс) достигает значения 0.05 м/с и остается постоянной на всем интервале, что соответствует установившемуся режиму движения рабочего зуба оборудования. Красная линия  $x(t)$  начинается в точке  $(0; 0)$  и линейно возрастает с наклоном 0.05 м/с, достигая 0.008 м при  $t=0.16$  с, что отражает равномерное движения рабочего зуба после разрыва борта.

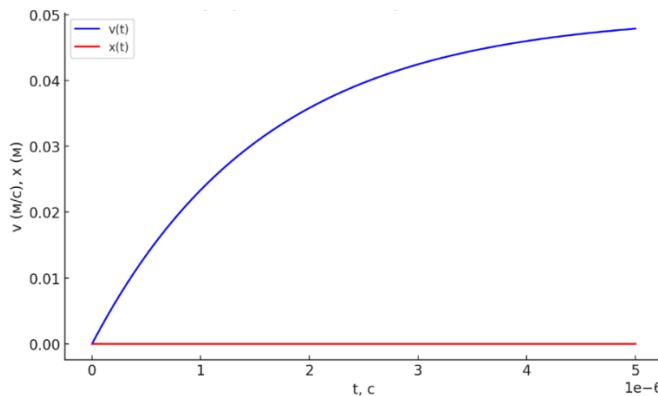


Рис. 2. Зависимости скорости и перемещения рабочего зуба в начальный момент времени при извлечении бортового кольца из шины 265/70 R19.5

График зависимости скорости  $v(t)$  и перемещения  $x(t)$  рабочего зуба в начальный момент времени при извлечении бортового кольца из шины 265/70 R19.5 (Рис. 2) охватывает интервал времени от 0 до 5 мкс ( $0\text{--}5 \cdot 10^{-6}$  с). Кривая, обозначенная синей линией, начинается в точке  $(0; 0)$ , где скорость равна нулю, и экспоненциально возрастает, достигая 0.049 м/с при  $t=5$  мкс. Рост скорости замедляется по мере приближения к установленному значению 0.05 м/с, что отражает быстрое преодоление сопротивления в первые мгновения извлечения. Перемещение  $x(t)$ , показанное красной линией, остается близким к нулю (менее 0.0005 м/с), что ожидаемо из-за малых значений времени.

На Рис. 2 изображена зависимость скорости и перемещения рабочего зуба при извлечении бортового кольца из шины 265/70 R19.5 охватывает интервал времени от 0 до 2 с. Синяя линия  $v(t)$  мгновенно достигает 0.05 м/с и остается постоянной, как на Рис. 3. Красная линия  $x(t)$  линейно возрастает от 0 до 0.1 м при  $t=2$  с, демонстрируя равномерное движение с той же скоростью 0.05 м/с. Красной точкой на рисунке изображено начало отрыва бортового кольца от резиновой оболочки, что соответствует времени  $t \approx 1$  с.

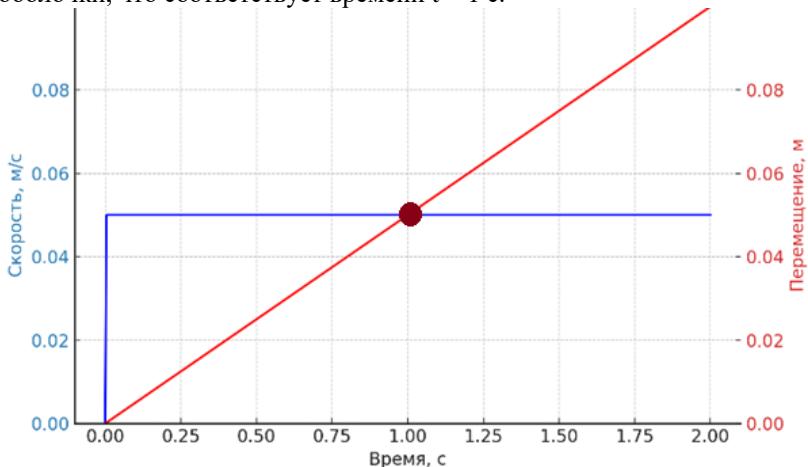


Рис.3. Зависимости скорости и перемещения рабочего зуба в момент отрыва металлической проволоки от резинового борта покрышки при извлечении бортового кольца из шины 265/70 R19.5

В данной работе проведен анализ процесса извлечения бортового кольца, учитывающий неоднородность приложения усилий на различных стадиях для шин различных типов.

Разработанная аналитическая модель, описывает динамику

движения рабочего зуба установки при извлечении бортового кольца через уравнения (1) , включая зависимости скорости **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и перемещения применимые ко всем шинам. Построенные графики (Рис. 1–3) иллюстрируют экспоненциальный рост скорости до 0.05 м/с за 5 мкс, линейное перемещение до 0.1 м за 2 с и момент отрыва бортового кольца при  $t \approx 1$  с, подтверждая универсальность модели для оценки усилий разрыва борта и оптимизации процесса извлечения с учетом двух пиков нагрузки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1986.
2. Степин П.А. Сопротивление материалов. М.: Высшая школа, 1983.
3. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Сопротивление материалов при сложном напряженном состоянии. Киев: Наукова думка, 1976.
4. Симогин А. А. Применение планирования эксперимента при построении математической модели в области оптимума // Сборник научно-методических работ. Том 11. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2019. С. 195–202. – EDN GESOAG.
5. Макаров А. В. Некоторые аспекты рециклинга изношенных автомобильных покрышек методом пиролиза // Вестник ТОГУ. 2008. С. 247–258.
6. Бондаренко Е. В., Клищенко В. П., Пославский А. П., Сорокин В. В. Формирование энергоэффективной технологии утилизации автомобильных шин // Мир транспорта и технологических машин. 2011. С. 47–52.
7. Чуев К. В. Технологические аспекты извлечения металлических компонентов из резинотехнических изделий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2024. № 12. С. 106–115. – DOI 10.34031/2071-7318-2024-9-12-106-115. – EDN DCQCCSK.
8. Чуев К. В., Кравченко В. М., Мутовалов Э. А. Основные виды утилизации резинотехнических изделий // Образование. Наука. Производство: Сборник докладов XV Международного молодежного форума, Белгород, 23–24 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. С. 49–52.
9. Пат. 201698, Российская Федерация, МПК B29B 17/02.

Установка для удаления троса из боковой части шины при утилизации:  
/ В. Я. Дуганов, Н. А. Архипова, К. В. Чуев, Ю. А. Чуева; заявитель  
ФГБОУ ВО «БГТУ им. Шухова» № 2020133204 : заявл. 08.10.2020 :  
опубл. 28.12.2020

10. Дуганов В. Я., Дуюн Т. А., Чуев К. В., Архипова Н. А.,  
Кравченок В. М., Чуева Ю. А. Проблемы утилизации  
крупногабаритных автомобильных шин // Вестник БГТУ им. В.Г.  
Шухова. 2023. № 11. С. 103-112. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-11-  
103-112

УДК 62-8/-98

Лучников Д.В. Чуев К.В., Третьякова Е.Ю.

Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПО НЕРАЗРЫВУ БОРТОВОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

**Введение.** Утилизация автомобильных шин является актуальной экологической и экономической задачей. Одним из этапов утилизации является извлечение металлического бортового кольца, которое может быть подвергнуто вторичной переработке [2]. Однако процесс извлечения бортового кольца сопряжен с риском повреждения бортовой проволоки, являющейся основным элементом кольца, что снижает качество вторичного сырья и усложняет процесс переработки. Задача данной работы - разработать подход к анализу напряженно-деформированного состояния бортовой проволоки, позволяющий определить безопасные параметры процесса утилизации.

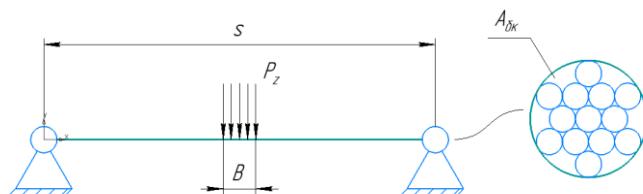


Рис.1. Схема нагрузки на бортовое кольцо.

В процессе извлечения бортового кольца проволока подвергается сложному комплексу нагрузок, включающим растяжение, изгиб и

кручение [3]. Для упрощения анализа рассмотрим основные факторы, влияющие на напряженное состояние проволоки:

Растяжение: Возникает при приложении усилий, направленных на растягивание кольца. Напряжение растяжения определяется по формуле:

$$\sigma_p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

где:

F – растягивающее усилие, приложенное к проволоке;

A – площадь поперечного сечения проволоки.

Изгиб: Возникает при деформации кольца, когда проволока изгибаются под действием приложенных сил. Максимальное напряжение изгиба определяется по формуле:

$$\sigma_i = \frac{M * y}{I} \quad (2)$$

где:

M – изгибающий момент;

y – расстояние от нейтральной оси до наиболее удаленной точки сечения проволоки (обычно равно радиусу проволоки);

I – момент инерции сечения проволоки. Для круглого сечения  $I = \pi * d^4 / 64$ , где d - диаметр проволоки.

Кручение: Возникает при скручивании кольца, что может происходить при неравномерном приложении усилий. Напряжение кручения определяется по формуле:

$$\tau_k = \frac{E * r}{J} \quad (3)$$

где:

T – крутящий момент;

r – радиус проволоки;

J – полярный момент инерции сечения проволоки. Для круглого сечения  $J = \pi * d^4 / 32$ .

Для проверки, выдержит ли бортовая проволока нагрузку, используют критерий прочности [6]. Это значит, что нужно сравнить напряжение в проволоке с допустимым значением.

Один из способов оценки – третья теория прочности:

Определение максимального касательного напряжения ( $\tau_{max}$ )

Для определения максимального касательного напряжения ( $\tau_{max}$ ) необходимо вычислить главные напряжения ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ), действующие в проволоке. Главные напряжения представляют собой нормальные напряжения, действующие на площадках, где касательные напряжения равны нулю [9]. Максимальное касательное напряжение рассчитывается по формуле:

$$\tau_{\max} = \frac{\max(|\sigma_1 - \sigma_2| * |\sigma_1 - \sigma_2| * |\sigma_1 - \sigma_2|)}{2} \quad (4)$$

Таким образом, максимальное значение из разностей главных напряжений (по модулю) делится на два.

Определение допустимого касательного напряжения ( $[\tau]$ )

Допустимое касательное напряжение ( $[\tau]$ ) характеризует предельное значение напряжения, которое материал может выдержать без разрушения. Оно определяется по формуле:

$$[\tau] = \frac{\sigma_t}{2n}$$

где:

-  $\sigma_t$  — предел текучести материала (напряжение, при котором начинается пластическая деформация);

-  $n$  — коэффициент запаса прочности (обычно принимается равным 2 или 3 для обеспечения необходимого уровня безопасности).

Сравнение  $\tau_{\max}$  и  $[\tau]$

Условие прочности проволоки выполняется, если выполняется неравенство:

$$\tau_{\max} \leq [\tau] \quad (6)$$

Расчет эквивалентного напряжения ( $\sigma_{\text{экв}}$ ) при комбинированном нагружении [8]. В случае одновременного действия различных видов нагрузки (растяжение, изгиб, кручение) простое суммирование напряжений неприменимо. Для оценки прочности используется эквивалентное напряжение ( $\sigma_{\text{экв}}$ ), вычисляемое по соответствующей теории прочности (например, теории наибольших касательных напряжений или энергетической теории). Формула для расчета зависит от выбранного критерия прочности.

Формула такая:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{(\sigma_p + \sigma_i)^2 + 3\tau_k^2} \quad (7)$$

где:

$\sigma_p$  — напряжение растяжения

$\sigma_i$  — напряжение изгиба

$\tau_k$  — напряжение кручения

Сравниваем: Эквивалентное напряжение нужно сравнить с допустимым напряжением. Проволока считается прочной, если выполняется условие:  $\sigma_{\text{экв}} \leq \sigma_t / n$ , где  $\sigma_t$  — предел текучести материала, а  $n$  — коэффициент запаса прочности.

**Заключение.** Для обеспечения неразрывности бортовой проволоки при утилизации автомобильных шин необходимо учитывать комплексное воздействие растягивающих, изгибающих и крутящих нагрузок. Анализ напряженно-деформированного состояния проволоки с использованием методов сопротивления материалов позволяет определить безопасные параметры процесса утилизации. Необходимо выбирать высокопрочные материалы для проволоки, минимизировать изгибающие и крутящие моменты, контролировать скорость извлечения кольца и избегать перегрева проволоки. Предложенный подход позволяет снизить риск повреждения бортовой проволоки и повысить эффективность процесса утилизации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1986.
2. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Сопротивление материалов при сложном напряженном состоянии. Киев: Наукова думка, 1976.
3. Лучин И. В., Кравченко И. М., Конкин М. Ю. Методика расчета процесса разрушения изношенных автомобильных шин и резинотехнических изделий при утилизации // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 8.4. С. 11–15.
4. Симогин А. А. Применение планирования эксперимента при построении математической модели в области оптимума // Сборник научно-методических работ. Том 11. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2019. С. 195–202. – EDN GESOAG.
5. Макаров А. В. Некоторые аспекты рециклинга изношенных автомобильных покрышек методом пиролиза // Вестник ТОГУ. 2008. С. 247–258.
6. Бондаренко Е. В., Клищенко В. П., Пославский А. П., Сорокин В. В. Формирование энергоэффективной технологии утилизации автомобильных шин // Мир транспорта и технологических машин. 2011. С. 47–52.
7. Чуев К. В. Технологические аспекты извлечения металлических компонентов из резинотехнических изделий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2024. № 12. С. 106–115. – DOI 10.34031/2071-7318-2024-9-12-106-115. – EDN DCQCCK.
8. Чуев К. В., Кравченко В. М., Мутовалов Э. А. Основные виды утилизации резинотехнических изделий // Образование. Наука. Производство: Сборник докладов XV Международного молодежного форума, Белгород, 23–24 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский

государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. С. 49–52.

9. Пат. 201698, Российская Федерация, МПК B29B 17/02. Установка для удаления троса из боковой части шины при утилизации: / В. Я. Дуганов, Н. А. Архипова, К. В. Чуев, Ю. А. Чуева; заявитель ФГБОУ ВО «БГТУ им. Шухова» № 2020133204 : заявл. 08.10.2020 : опубл. 28.12.2020

10. Дуганов В. Я., Дуюн Т. А., Чуев К. В., Архипова Н. А., Кравченок В. М., Чуева Ю. А. Проблемы утилизации крупногабаритных автомобильных шин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 11. С. 103-112. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-11-103-112

11. Чуев К. В., Дуюн Т. А., Дуганов В. Я., Дегтярь А. Н., Кравченко В. М. Имитационное динамическое моделирование процесса извлечения бортового кольца // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2025. №. 4. С. 133-143. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2025-10-4-133-143>

**УДК 62-8/-98**

*Лучников Д.В. Чуев К.В., Третьякова Е.Ю.*

*Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ИМИТАЦИОННОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ БОРТОВОГО КОЛЬЦА ИЗ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШИН**

Введение. Актуальность проблемы утилизации изношенных автомобильных шин обусловлена их значительным объемом в мировых отходах - ежегодно образуется более 1 млрд единиц. Особую сложность представляет переработка крупногабаритных шин (КГШ), содержащих металлические компоненты [1]. Бортовое кольцо - ключевой металлический элемент конструкции шины, обеспечивающий ее соединение с ободом колеса.

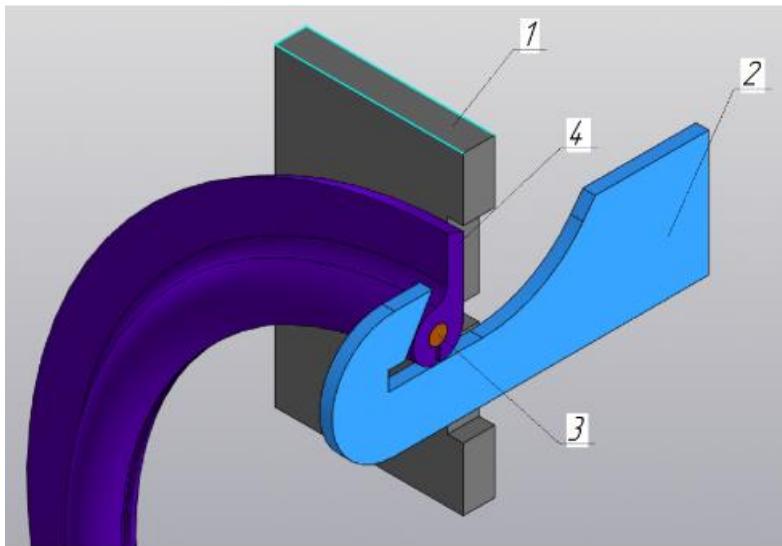


Рис. 1. Разрез модели процесса извлечения бортового кольца из шины: 1 – мишень; 2 – крюк; 3 – бортовое кольцо; 4 – резиновый борт шины;

Эффективное извлечение бортового кольца позволяет:

- Уменьшить объем отходов
- Повысить качество перерабатываемой резиновой фракции
- Снизить экологическую нагрузку
- Получить металл для повторного использования

Существующие методы извлечения включают термическую, криогенную и механическую обработку [9]. Наиболее перспективным является механический способ как наиболее экологичный и энергоэффективный.

Методика исследования. Для анализа процесса извлечения бортового кольца применен комплексный подход, включающий:

1. Разработку математической модели процесса

Основные исследуемые параметры:

- Ширина щели мишени ( $s$ ), мм
- Ширина крюка оборудования ( $b$ ), мм
- Площадь поперечного сечения кольца ( $A_{бк}$ ),  $\text{мм}^2$

Экспериментальная часть выполнена с использованием рототабельного центрального композиционного плана второго порядка, включающего 15 опытов.

Математическая модель. Процесс извлечения описан системой уравнений, учитывающих баланс сил:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = \sum F_{kx} = F - F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

где:

$F_{kx}$  - суммарное усилие извлечения

$F_1$  - усилие преодоления адгезии

$F_2$  - усилие разрыва резины

$F_3$  - деформационные усилия

$F_4$  - силы трения и дополнительные факторы

Для анализа напряжений использован критерий Мизеса, деформации оценивались по максимальным значениям перемещений.

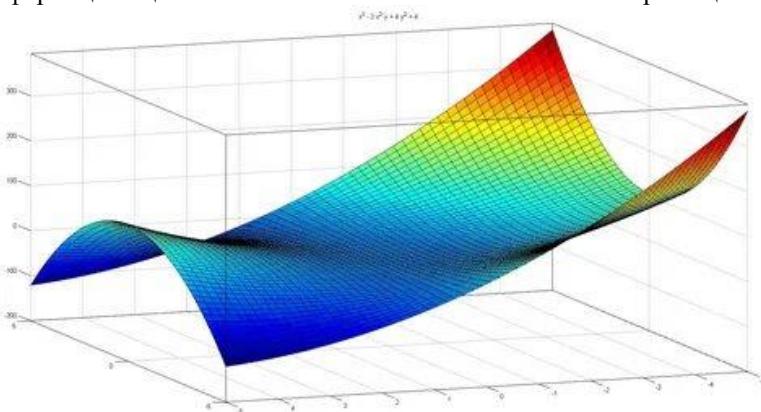


Рис.2. Трехмерный график полученный формулой (2) и критерием Мизеса.

**Выводы.** Экспериментально установлено, что 60% усилия извлечения расходуется на преодоление адгезии металл-резина [7]; разработана расчетная модель, позволяющая прогнозировать усилие с точностью  $\pm 12\%$ , а также доказана эффективность предварительного надреза борта, снижающего энергозатраты на 15–20%. Полученные результаты могут быть использованы для проектирования оборудования переработки РТИ, оптимизации технологических параметров и разработки нормативной документации, а перспективы исследований включают изучение температурных факторов, разработку математической модели процесса и создание автоматизированных систем контроля [5].

**Заключение.** Проведенное исследование показало, что имитационное динамическое моделирование является эффективным инструментом для анализа и оптимизации процесса извлечения бортового кольца. Разработанные математические модели позволяют

прогнозировать напряжения и деформации с точностью  $\pm 8\%$ . Практическая реализация предложенных решений может повысить эффективность переработки шин на 20-25% при одновременном снижении энергозатрат.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1986.
2. Степин П.А. Сопротивление материалов. М.: Высшая школа, 1983.
3. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Сопротивление материалов при сложном напряженном состоянии. Киев: Наукова думка, 1976.
4. Лучин И. В., Кравченко И. М., Конкин М. Ю. Методика расчета процесса разрушения изношенных автомобильных шин и резинотехнических изделий при утилизации // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 8.4. С. 11–15.
5. Симогин А. А. Применение планирования эксперимента при построении математической модели в области оптимума // Сборник научно-методических работ. Том 11. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2019. С. 195–202. – EDN GESOAG.
6. Макаров А. В. Некоторые аспекты рециклинга изношенных автомобильных покрышек методом пиролиза // Вестник ТОГУ. 2008. С. 247–258.
7. Яцун А. В., Коновалов П. Н., Коновалов Н. П. СВЧ-пиролиз изношенных автомобильных шин в присутствии гидроксида калия // Современные научноемкие технологии. 2017. С. 83–87.
8. Бондаренко Е. В., Клищенко В. П., Пославский А. П., Сорокин В. В. Формирование энергоэффективной технологии утилизации автомобильных шин // Мир транспорта и технологических машин. 2011. С. 47–52.
9. Чуев К. В. Технологические аспекты извлечения металлических компонентов из резинотехнических изделий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2024. № 12. С. 106–115. – DOI 10.34031/2071-7318-2024-9-12-106-115. – EDN DCQCCSK.
10. Чуев К. В., Кравченко В. М., Мутовалов Э. А. Основные виды утилизации резинотехнических изделий // Образование. Наука. Производство: Сборник докладов XV Международного молодежного форума, Белгород, 23–24 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. С. 49–52.

11. Пат. 201698, Российская Федерация, МПК B29B 17/02. Установка для удаления троса из боковой части шины при утилизации: / В. Я. Дуганов, Н. А. Архипова, К. В. Чуев, Ю. А. Чуева; заявитель ФГБОУ ВО «БГТУ им. Шухова» № 2020133204 : заявл. 08.10.2020 : опубл. 28.12.2020

12. Чуев К. В., Дуюн Т. А., Дуганов В. Я., Дегтярь А. Н., Кравченко В. М. Имитационное динамическое моделирование процесса извлечения бортового кольца // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2025. №. 4. С. 133-143. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2025-10-4-133-143>

**УДК 62-8/-98**

*Лучников Д.В. Чуев К.В., Третьякова Е.Ю.*

*Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **РАЗРАБОТКА САЕ-СИМУЛЯЦИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРОВОЛОКИ БОРТОВОГО КОЛЬЦА В ПРОЦЕССЕ УТИЛИЗАЦИИ ШИНЫ**

**Введение.** В данной статье рассматривается разработка САЕ-симуляции деформирования проволоки бортового кольца в процессе утилизации шины. Компьютерное инженерное моделирование (САЕ) позволяет проанализировать напряженно-деформированное состояние проволоки, оценить усилие, необходимое для её извлечения, и минимизировать возможные повреждения оборудования [8]. Использование методов конечных элементов (МКЭ) дает возможность визуализировать процесс деформации, определить критические зоны и оптимизировать конструкцию установок для переработки.

Разработка КАЕ модели для вычисления максимального напряжения

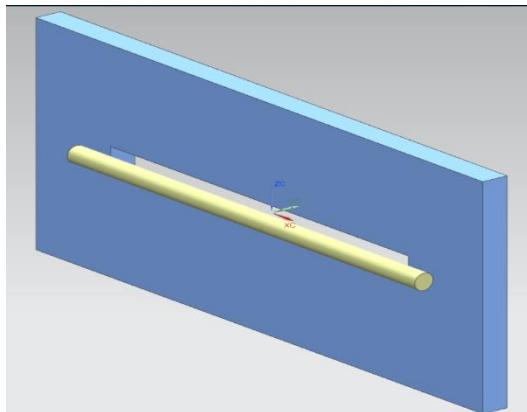


Рис.1. Созданная модель

Работа начинается в модуле Modeling, где создается параметрическая 3D-модель детали (рис. 1). Используя инструменты эскиза, мы задаем основные контуры, которые затем преобразуются в объемное тело с помощью операций выдавливания или вращения. На этом этапе важно сразу назначить материал, так как его механические свойства будут критичны для последующего анализа.

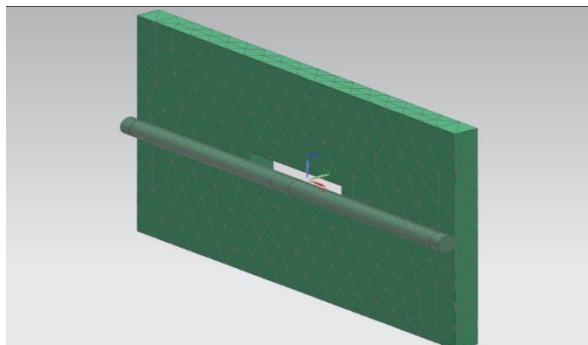


Рис.2. Изображение детали с наложенной тетраэдрической сеткой

В модуле Simulation выполняется дискретизация модели путем создания конечно-элементной сетки (рис.2). Выбираем тип элементов (тетраэдры или гексаэдры) и задаем размер ячейки, балансируя между точностью и скоростью расчета. Особое внимание уделяем зонам концентрации напряжений, где требуется более мелкая сетка[6]. Проверка качества элементов выполняется автоматическими

инструментами.

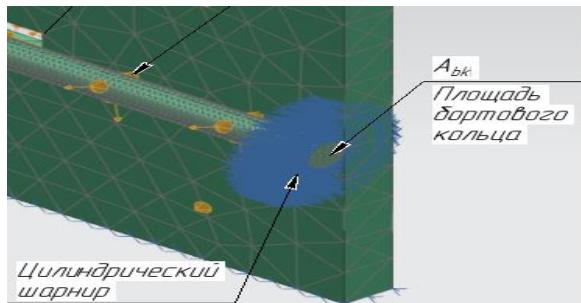


Рис.3. Визуализация закрепленных областей с иконками фиксации

Для корректного моделирования реальных условий эксплуатации необходимо определить точки закрепления детали (рис. 3). В NX это реализуется через наложение фиксированных или подвижных связей на выбранные поверхности или кромки. Например, области крепления болтами фиксируются полностью, а сопрягаемые поверхности могут иметь ограниченную степень свободы.

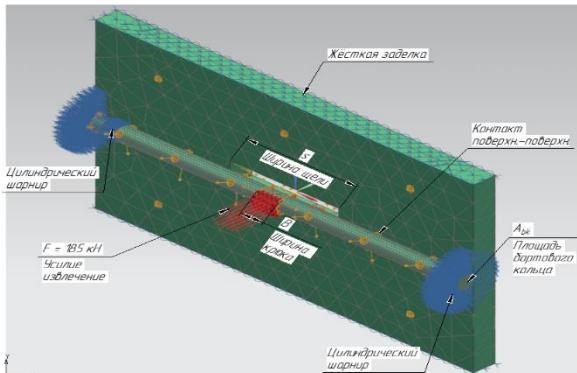


Рис.4. Модель с векторами сил и областью давления

На этом этапе определяются все внешние воздействия: сосредоточенные силы, распределенное давление, крутящие моменты или температурные поля (рис.4). В интерфейсе указывается величина, направление и область приложения каждой нагрузки. Для сложных случаев возможно комбинирование разных типов нагружения с созданием нескольких нагрузочных сценариев [3].

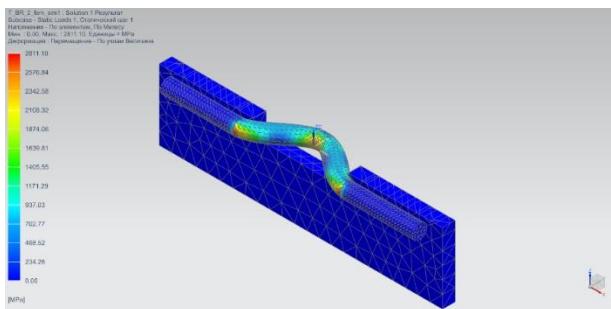


Рис.5. Цветовая карта напряжений с деформированным состоянием

После выполнения расчета программа предоставляет интуитивно понятные инструменты анализа. Цветовая шкала напряжений четко показывает критические зоны, а анимация деформации демонстрирует поведение детали под нагрузкой (рис. 5). Дополнительные графики и диаграммы позволяют количественно оценить напряжения в конкретных точках модели [1].

**Вывод.** NX CAE предоставляет комплексное решение для инженерного анализа, сочетающее мощные вычислительные алгоритмы с удобным интерфейсом. Система позволяет не только выявлять слабые места конструкции, но и оперативно вносить изменения в модель непосредственно из среды анализа. Интеграция с CAD-модулями и возможность параметрической оптимизации делают NX незаменимым инструментом для современного инженера-расчетчика.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1986.
2. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Сопротивление материалов при сложном напряженном состоянии. Киев: Наукова думка, 1976.
3. Лучин И. В., Кравченко И. М., Конкин М. Ю. Методика расчета процесса разрушения изношенных автомобильных шин и резинотехнических изделий при утилизации // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 8.4. С. 11–15.
4. Бондаренко Е. В., Клищенко В. П., Пославский А. П., Сорокин В. В. Формирование энергоэффективной технологии утилизации автомобильных шин // Мир транспорта и технологических машин. 2011. С. 47–52.

5. Чуев К. В. Технологические аспекты извлечения металлических компонентов из резинотехнических изделий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2024. № 12. С. 106–115. – DOI 10.34031/2071-7318-2024-9-12-106-115. – EDN DCQCCK.
6. Чуев К. В., Кравченко В. М., Мутовалов Э. А. Основные виды утилизации резинотехнических изделий // Образование. Наука. Производство: Сборник докладов XV Международного молодежного форума, Белгород, 23–24 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. С. 49–52.
7. Пат. 201698, Российская Федерация, МПК B29B 17/02. Установка для удаления троса из боковой части шины при утилизации: / В. Я. Дуганов, Н. А. Архипова, К. В. Чуев, Ю. А. Чуева; заявитель ФГБОУ ВО «БГТУ им. Шухова» № 2020133204 : заявл. 08.10.2020 : опубл. 28.12.2020
8. Дуганов В. Я., Дуюн Т. А., Чуев К. В., Архипова Н. А., Кравченко В. М., Чуева Ю. А. Проблемы утилизации крупногабаритных автомобильных шин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 11. С. 103-112. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-11-103-112
9. Чуев К. В., Дуюн Т. А., Дуганов В. Я., Дегтярь А. Н., Кравченко В. М. имитационное динамическое моделирование процесса извлечения бортового кольца // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2025. №. 4. С. 133-143. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2025-10-4-133-143>

УДК 62

*Марченко В.А.*

*Научный руководитель: Дуганова Е.В., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **УМНЫЕ ДОРОГИ: ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ V2X НА БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ**

В рамках исследования особое внимание уделяется оценке существующих сведений о воздействии технологий V2X на повышение безопасности и оптимизацию эффективности транспортных потоков, а

также анализируются перспективные направления дальнейшей реализации этих инновационных решений.

Активное развитие цифровых технологий благоприятно сказалось на формировании масштабных инструментов для обеспечения защиты участников дорожного движения. Комплекс V2X, являющийся центральным элементом обсуждения, охватывает две фундаментальные категории: предотвращение аварий и рост эффективности функционирования транспортных систем.

Динамика городского населения, сопровождающаяся быстрым приростом автотранспортных средств, провоцирует существенное увеличение нагрузки на городскую транспортную инфраструктуру. Наряду с этим, наблюдается не только значительный рост заторов и задержек, но также увеличивается число дорожно-транспортных происшествий, отличающихся многообразием последствий — от финансовых потерь до человеческих трагедий. Не стоит забывать о негативных экологических последствиях: с расширением парка автомашин возрастает уровень загрязнения воздушной среды, что ведёт к прогрессирующему накоплению вредных выбросов[1].

Структурно технология V2X включает четыре компонента, каждый из которых реализует специфичные задачи в системе общего информационного обмена. Современные интеллектуальные дороги, применяющие потенциал V2X, интерактивно преодолевают барьеры, связанные с безопасностью перемещения и улучшением пользовательского опыта вождения. Концепция “Vehicle-to-Everything” реализует двухсторонний обмен данными между транспортными средствами, а также объектами инфраструктуры, интегрируя участников движения в единое информационное пространство и обеспечивая более рациональное использование дорожных ресурсов.

Расширение функционала V2X тесно сопряжено с развитием сферы обработки больших массивов данных, беспроводных коммуникаций и датчиков различного типа[3]. Эти технологические сдвиги открывают возможности существенно сокращать вероятность возникновения ДТП посредством мгновенного обмена сведениями относительно дорожных событий, состояния покрытия и потенциальных угроз для всех участников движения. Примечательно, что в системе V2X в определённый момент могут синхронизированно взаимодействовать десятки транспортных средств и инфраструктурных элементов, что визуализируется на схематическом изображении работы системы. Выводы, полученные на базе пилотных внедрений V2X, выявляют ряд положительных сдвигов в функционировании улично-дорожной сети:

Снижение числа дорожно-транспортных происшествий обеспечивается, главным образом, ранним информированием водителей об угрозах. Подтверждено американскими эмпирическими исследованиями: применение V2X привело к 30 процентному уменьшению столкновений на перекрестках. Увеличение пропускной способности достигается посредством интеграции адаптивных светофорных систем, сопряжённых с элементами V2X, что приводит к сокращению времени вынужденного ожидания на 15–20% и способствует более свободному движению транспортных потоков.

Системы связи V2X позволяют формировать "Зеленые коридоры" для чрезвычайных служб, обеспечивая их движение к месту инцидента с сокращением времени прибытия примерно на пятую часть. Благодаря такой оптимизации перемещения, время простоя на регулированных перекрестках значительно уменьшается, что, в свою очередь, способствует экономии топлива — потребление может снизиться вплоть до десятой части от исходного уровня.

Внедрение V2X открывает целый спектр преимуществ для организации дорожного движения, среди которых доминируют: ускорение внедрения автономного транспорта, совершенствование автоматических алгоритмов управления потоками, а также значительное уменьшение аварий каких-либо видов посредством своевременного оповещения всех участников трафика. Кроме того, фиксируется спад расходов, связанных с содержанием дорожной инфраструктуры, и наблюдается оптимизация условий передвижения для автовладельцев и пешеходов[2]. Использование V2P-решений предоставляет возможность людям, имеющим подходящие гаджеты, например, мобильные телефоны, напрямую передавать данные о своем местонахождении и действиях в поле видимости движущимся автомобилям. За счет оповещения водителей о присутствии либо планах пешеходов система способствует минимизации дорожно-транспортных инцидентов с их участием. Применение технологии LiDAR для реализации V2P-интеграции позволяет выявлять пешеходов за пределами диапазона прямого обзора стандартных сенсоров машины, что особенно актуально в случаях, когда визуальный контакт ограничен. Таким образом, уровень защищенности лиц, пересекающих проезжую часть либо передвигающихся в непосредственной близости от транспортного потока, значительно увеличивается[4].

Комплексный анализ свидетельствует о высокой значимости V2X для модернизации механизмов повышения безопасности и оптимизации дорожной среды[5]. Актуальные исследования подтверждают, что эти решения не только приближают запуск интеллектуальных

транспортных систем, но и способствуют сокращению частоты дорожно-транспортных происшествий и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Внедрение датчиков LiDAR, интегрируемых непосредственно в элементы дорожного полотна и инфраструктуры, стало ключевым элементом развития «умных дорог». Основываясь на сборе и передаче в режиме реального времени широкого спектра информации — начиная от интенсивности транспортных потоков и заканчивая мониторингом погодных воздействий, — подобные системы обеспечивают динамический обзор состояния дорожной среды.

Поступающие в центральные управляющие комплексы данные подвергаются многоаспектному анализу: фиксируются параметры динамики движения, изменения микроклимата на поверхности покрытия, а также иные переменные, непосредственно влияющие на эксплуатационную безопасность. Благодаря этому подходу современные транспортные сети получают возможность оперативного реагирования на изменяющиеся условия, что создает предпосылки для более рационального управления транспортными процессами.

Можно утверждать, что распространение технологий V2X имеет характер масштабной технологической трансформации, охватывающей не только транспортную инфраструктуру, но и затрагивающей многочисленные аспекты социально-экономической реальности. Благодаря расширению границ информационного обмена между участниками дорожного движения повышается степень предвидения угроз, а цифровые инновации дают возможность своевременно реагировать на динамичные изменения ситуации на дорогах, что обеспечивает дополнительных уровней профилактики потенциальных рисков.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1.Дуганова Е.В., Загородний Н.А., Кравченко А.А., Щетинин Н.А. Производственно-техническая инфраструктура предприятий автомобильного транспорта. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. 123 с
- 2.Дмитриев А. С. Транспортно-пересадочные узлы, проблемы организации движения людских потоков / А. С. Дмитриев, В. Д. Евстигнеев // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2018. - №3. - С. 60-64.
- 3.Тесленко И. Б. Информационные системы управления производственной компанией / Д. В. Виноградов, А. М. Губернаторов, В. Е. Крылов, И. Ю. Куликова, Н. В. Муравьева, Н. О. Субботина // Владимир: Владимирского государственного университета имени

Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 2018 — 116 с.

4. Автомобиль и технологии связи V2X V2I / [Электронный ресурс] //V2X: [сайт] URL: <https://v2x.ru> (дата обращения: 26.05.2025)

5. Ли, С., Чжан, Х., Чен, Л. Технологии V2X в интеллектуальных транспортных системах. [Текст] / Ли, С., Чжан, Х., Чен, Л. — Москва: Транспортное издательство., 2020 — 55 с.

**УДК 378.14.014.13**

*Миненкова А.А., Шаталов И.С., Лобанов Д.В.*

*Научный руководитель: Латышев С.С., канд. техн. наук, доц.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ЦИЛИНДРА И КОНУСА НА ФОРМУ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ**

Раздел «Пересечение поверхностей» занимает важное место в курсе дисциплины начертательной геометрии. Его изучение представляет практический интерес для инженера. Это связано с тем, что форма многих машиностроительных деталей – это совокупность геометрических поверхностей.

В процессе освоения данного материала часто наблюдается его недостаточная проработка студентами. Многие обучающиеся не только испытывают трудности при построении линии пересечения поверхностей, но и не знают, что существуют различные виды таких линий, зависящие от множества определенных условий. В данной статье представлено исследование зависимости типа линии пересечения поверхностей от одного из его определяющих параметров с целью повышения эффективности изучения данной темы студентом.

Линией пересечения двух поверхностей называется упорядоченное множество точек, которые принадлежат обеим заданным поверхностям. Общее правило построения линии пересечения поверхностей на бумаге заключается в следующем: определение видов поверхностей и их взаимного положения; выбор метода построения: метод секущих плоскостей, метод вспомогательных сфер (метод Монжа), метод вспомогательных поверхностей (метод посредников); нахождение общих точек для обеих поверхностей; соединение общих точек линией; определение видимости.

В настоящее время самым распространенным способом создания трехмерных моделей и, как следствие, линий пересечения поверхностей

является твердотельное моделирование в CAD-системах. Он имеет множество преимуществ по сравнению с ручным методом: высокая точность, простота построения, снижение времени на разработку и редактирования, что особенно важно при наличии сложной геометрии.

Линия пересечения зависит от совокупности различных параметров: формы поверхностей, их размеров и взаимного расположения. В процессе изучения материала студент, как правило, не выполняет построения этих линий при их различном взаимном положении, что сказывается на глубине понимания темы.

Одним из вариантов знакомства с линиями пересечения поверхностей является анализ их формы в зависимости от взаимного расположения объектов. В данной работе их характер и особенности изменения исследуются на примере прямого кругового цилиндра и прямого кругового конуса с параллельными осями при различном расстоянии между ними.

Для проведения исследования при использовании системы автоматизированного проектирования КОМПАС-3D были разработаны модели тел вращения. В одной плоскости были построены эскизы конуса с радиусом основания  $R_k=300$  мм и высотой  $h_k=1000$  мм. В параллельной плоскости с изменяемым смещением, первоначально равным нулю – эскиз цилиндра с радиусом оснований  $R_q=100$  мм и высотой  $h_q=2000$  мм. В ходе исследования параметры тел не изменялись. Величина расстояния от оси вращения цилиндра до оси вращения конуса была задана как параметр. Это позволило вносить изменения в расположение поверхностей и отслеживать характер линии пересечения.

На рисунках 1 – 4 представлены несколько характерных вариантов линий пересечения при различном расстоянии между осями цилиндра и конуса.

При расстоянии между осями 150 мм, то есть в случае, когда цилиндр расположен левее оси конуса, линия пересечения состоит из двух кривых четвертого порядка. На виде спереди кривые изображаются в виде разорванной параболы, на виде слева имеют каплевидную форму (Рис. 1).

При уменьшении расстояния между осями до 125 мм, характер линий не изменяется, концы пространственных кривых становятся более острыми, на виде спереди так же наблюдаются в виде части параболы, линии стремятся пересечься.

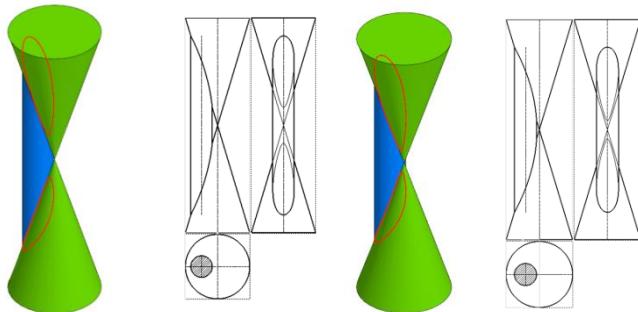


Рис. 1 Цилиндр расположен левее оси конуса

При расстоянии между осями 100 мм, пространственные линии превращаются в одну кривую четвертого порядка, на виде слева похожую на восьмерку, на виде спереди вновь наблюдается форма параболы, а на виде сверху – окружность (Рис. 2).

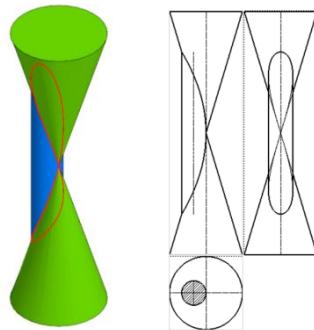


Рис. 2 Образующая цилиндра совпадает с осью конуса

При расстоянии между осями 75 мм и 50 мм линия вновь претерпевает разрыв. Кривые расположены ближе друг к другу, чем в первом случае, имеют более компактный характер. На виде спереди наблюдается в виде сжатых частей параболы.

При расстоянии между осями 15 мм и 25 мм на виде слева линия так же имеет форму капель, острые концы которых округлились. На виде спереди наблюдается в виде частей параболы, стали более сжатыми. Кривая стала более компактной и выгнутой. (Рис. 3).

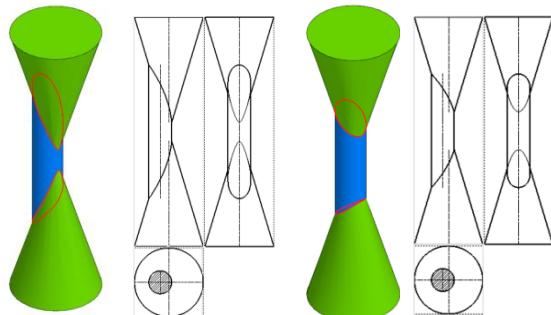


Рис. 3 Ось конуса расположена между осью и образующей цилиндра

При совпадении осей кривая представлена линиями второго порядка – двумя окружностями, которые на виде спереди и слева выглядят как параллельные прямые, на виде сверху – как окружность. В данном случае поверхности являются соосными (Рис. 4).

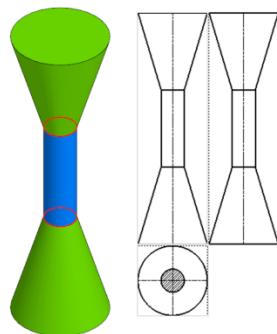


Рис. 4 Ось конуса совпадает с осью цилиндра

При изменении расстояния между осями конуса и цилиндра в противоположную сторону наблюдаются аналогичные линии.

При построении эскиза цилиндра в плоскости со смещением, отличным от нуля, оси тел вращения остаются параллельными, меняется направление взгляда, характер изменения линий пересечения остается прежним.

Таким образом, при сближении оси цилиндра с осью конуса характер кривой меняется и, в конечном итоге, когда оси совпадают, пересечение представлено двумя окружностями – кривыми второго порядка. При рассмотрении пересечения тел на чертеже отчетливо

видно изменение линии пересечения, а так же появляется возможность измерения ее параметров.

Предложенный методический подход позволит студенту глубже проработать материал и узнать о существовании различных типов линий пересечения поверхностей. Их изучение важно в различных сферах деятельности человека: инженерии, архитектуре, медицине, 3d-моделировании, робототехнике, именно поэтому начинающий специалист должен уделять внимание данному разделу как фундаменту профессиональных навыков.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бубенников, А. В. Начертательная геометрия / А. В. Бубенников, М. Я. Громов. – Москва: Высшая школа, 1973. – 416 с.
2. Конспект лекций по начертательной геометрии: учебное пособие / Л.П. Чуева, К.К. Дузенко, С.С. Латышев, А.Н. Масловская. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2014. – 137 с.
3. Чуева, Л.П. Развитие познавательной деятельности и творческой активности студентов в процессе изучения начертательной геометрии: учебное пособие / Л.П. Чуева, А.Н. Масловская. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2015. – 108 с.
4. Калашникова, Н. Г. Начертательная геометрия: учебное пособие / Н. Г. Калашникова, Т. А. Татаренкова. – Орел: ОрелГТУ, 2010. – 145 с.
5. Взаимное пересечение поверхностей: учебное пособие / В. П. Артемова, Н. Н. Стасюкевич, О. В. Ярошевич, Н. Ф. Кулащик. – Минск: БГТУ, 2008. – 104 с.

УДК 62.81

*Михальчук А.А.*

*Научный руководитель: Савин Н.Ю. канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТОПЛЕНИЯ

Известно, что теплоснабжение гражданских производственных зданий расходуется более одной трети всего добываемого в нашей стране органического топлива. В ходе реформ в России в корне поменялась структура энергетики. Твердое топливо все чаще заменяют дешевым экологичным газом. Совершенствование систем отопления

направлено на улучшение их характеристик с целью снижения потребления энергии, которое в значительной степени обусловлено ростом тарифов и, следовательно, увеличением расходов на коммунальные услуги. Это особенно актуально в период отопительного сезона на большей части территории России, когда теплопотери многократно превышают внутренние тепловыделения. Так как установлены мощные электроприборы для обогрева, отопления и водоснабжения, такие как электрические котлы и насосы (погружные и водяные). Данные устройства имеют высокое энергопотребление и могут функционировать непрерывно, что приводит к значительному увеличению расходов в холодное время года. Существуют и другие косвенные причины, такие как уменьшение негативного влияния на окружающую среду и улучшение качества воздуха. Это связано с работой теплоэлектростанций, которые используют уголь или дизельное топливо, а также другими аналогичными установками. В этой области постоянно появляются новые технологические разработки.

В зависимости от способа теплопередачи отопление бывает лучистым и конвективным.

**Конвективное** отопление является широко распространенным способом отопления, при котором температура  $t_b$  поддерживается на более высоком уровне, чем радиационная температура помещения  $t_R$  ( $t_b > t_R$ ). Под радиационной температурой берется усредненная температура поверхностей, обращенных в помещение, вычисленную относительно человека, находящегося в середине этого помещения.

**Лучистое отопление** – отопление, при котором радиационная температура превышает температуру воздуха помещения, ( $t_R > t_B$ ).

Всё это называется **системой отопления**, которая является совокупностью конструктивных элементов со связями между ними, которые предназначены для переноса и передачи тепла в здания. [1]

### **Причины совершенствования систем теплоснабжения**

#### *Экономия потребления энергии.*

Основным путем экономии энергии в строительстве, является введение зданий с эффективным использованием энергии (ЗЭИЭ). В данном здании (ЗЭИЭ) учтены оптимальные инженерные методы и средства, для экономии энергии. Так как в нашей стране есть регионы с суровым климатом и более длительным отопительным сезоном, (ЗЭИЭ) является рациональным решением, тем самым позволив значительно сократить потребление энергии, что не только уменьшает счета за отопление, но и снижает эксплуатационные расходы.

#### *Уменьшение углеродного следа.*

Известно, что парниковые газы приводят к изменению климата, и загрязнению окружающей среды. Переход на энергоэффективные технологии помогает снизить негативное влияние на природу. Таковым является, например, использование более качественных материалов при строительстве, которое сократит выход теплого воздуха наружу. Или использование энергосберегающих приборов.

#### *Сохранение природных ресурсов.*

Энергоэффективные технологии способствуют более рациональному использованию природных ресурсов, таких как газ, нефть и электроэнергия, что важно для обеспечения устойчивого развития. Важно проводить энергосберегающие мероприятия, такие как:

- своевременное обслуживание и ремонт коммуникаций систем теплоснабжения;
- перевод открытых систем на закрытые;
- замена устаревших электродвигателей на современные энергоэффективные;
- обоснованное снижение температуры теплоносителя (резка);
- диспетчеризация в системах теплоснабжения;
- внедрение вихревой технологии деаэрирования

#### *Экономическая выгода.*

Инвестиции в энергоэффективные технологии могут привести к значительной экономии в долгосрочной перспективе, так как они снижают расходы на энергию и могут увеличивать стоимость недвижимости. [2]

### **Методы повышения эффективности отопления**

#### *Тепловые насосы.*

Тепловые насосы (компрессионные, сорбционные, термоэлектрические, газовые, струйные, комбинированные) работают на разных источниках энергии. Насосы переносят тепло из внешней среды (воздуха, земли или воды) внутрь здания, и с помощью фреона переносит его в систему отопления для нагрева теплоносителя, как правило, воды или водного раствора гликоля. Они могут использоваться для отопления и охлаждения.

Энергоэффективность: обеспечивают высокую эффективность (COP)

— на 1 кВт потребленной энергии могут выдавать 3-5 кВт тепла.

#### *Системы солнечного отопления.*

Солнечные коллекторы представляют собой системы, которые используют в качестве теплоисточника энергии солнечной радиации. Отличительной чертой от других систем является специальный элемент *гелиотримник*, который применяется для улавливания солнечной радиации и преобразование ее в тепловую энергию. Солнечные

воздушные коллекторы могут напрямую обогревать отдельные помещения или потенциально могут предварительно нагревать воздух, проходящий через вентилятор с рекуперацией тепла или через воздушный змеевик воздушного теплового насоса.

#### ***Инфракрасное отопление.***

*Инфракрасные обогреватели* излучают тепло, которое непосредственно нагревает объекты и людей в помещении, а не воздух. Преимущества потолочных систем инфракрасного отопления включают равномерное распределение тепла, отсутствие шума и пыли, а также отсутствие воздушных потоков, что особенно важно для предприятий с высокими требованиями к санитарным условиям.

#### ***Умные системы управления отоплением.***

*Терmostаты и датчики:* Использование интеллектуальных терmostатов позволяет оптимизировать отопление, автоматически регулируя температуру в зависимости от присутствия людей и времени суток. *Интеграция с домашними системами управления:* Возможность управления отоплением через мобильные приложения или системы "умный дом". Управление температурой системы отопления и теплых полов осуществляется в рамках единой интегрированной системы, адаптированной под потребности пользователя. Это включает в себя возможность повышения или понижения температуры в помещениях перед прибытием владельца, а также включение или отключение горячей воды. Система позволяет настраивать индивидуальные температурные режимы для каждого помещения и разрабатывать графики включения и выключения отопления и теплых полов в зависимости от недельного расписания пользователя

#### ***Системы геотермального отопления.***

В системах геотермального отопления источником энергии могут служить теплота подземных нагретых вод или горных пород. В этих системах применяются геотермальные тепловые насосы: где системы отопления присоединяют к тепловым сетям геотермальных вод, обеспечивая стабильный источник энергии с низкими эксплуатационными расходами. В случае, если температура геотермальной воды недостаточна, устанавливается **комбинированная** система низкотемпературного отопления.

#### ***Heat Recovery Ventilation Systems (HRV).***

Представляет собой систему вентиляции, которая восстанавливает тепло из вытяжного воздуха и используют его для предварительного подогрева входящего воздуха, что снижает энергозатраты на отопление. Благодаря системе рекуперации остаточного тепла в выхлопных газах свежий воздух, предварительно нагревается (или охлаждается), прежде

чем подается в помещение. Системы рекуперации тепла обычно восстанавливают около 60–95% тепла из отработанного воздуха и значительно повышают энергоэффективность зданий.

#### ***Системы отопления на основе водяного теплого пола.***

Данная отопительная система устроена таким образом, что тепло (электричество или вода, в зависимости от вида помещения) внутри труб циркулирует по контуру внутри пола под напольным покрытием. Обеспечивают равномерное распределение тепла по всему помещению, что позволяет снизить температуру в помещении и уменьшить потребление энергии, так же к плюсам можно отнести медленное остывание бетона (стяжки).[3]

Энергоэффективные технологии отопления являются важным шагом к созданию более устойчивого и безопасного будущего, способствуя экономии ресурсов, улучшению качества жизни и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Zhilin, E. V. Transformation Justification of types of filter compensating devices in 6 kV mine networks with powerful nonlinear electric receivers / E. V. Zhilin, D. A. Prasol, N. Yu. Savvin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1089, No. 1. – Р. 012019. – DOI 10.1088/1757-899x/1089/1/012019.[1]
2. Тепломассообменные процессы в испарительном блоке воздушного теплового насоса / Т. Н. Ильина, П. А. Орлов, Н. Ю. Саввин, Ю. В. Елистратова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 4. – С. 36-44. – DOI 10.34031/2071-7318-2024-9-4-36-44.–EDNTJEWSV[2]
3. Саввин, Н. Ю. Математическое моделирование жизненного цикла инженерных систем здания / Н. Ю. Саввин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2024. – № 4(58). – С. 15-23. – DOI 10.36622/2074-188X.2024.34.62.002.–EDNCVDXBN[3]

**Исса Ю.М., Науменко В.В., Калашиник И.А., Верьянко И.Ю., Дятлов Н.И.**

**Научный руководитель: Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.**

**Белгородский государственный технологический университет**

**им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия**

## **АНАЛИЗ СМЕСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

Существующая номенклатура смесительного оборудования положила в основу их классификацию по принципу работы и разделила все оборудование на смесители непрерывного и периодического действия. В свою очередь смесители непрерывного действия разделяются на горизонтально-лопастные, барабанные, спирально-винтовые, роторные, одновальные, гравитационные, центробежные, вибрационные. Смесители периодического действия делятся на смесители барабанного типа, червячно-ленточные, роторные, центробежные, лопастные, плунжерные, пневмосмесители.

Но такая классификация не дает полного научного представления о принципах и механизмах смещивания и затрудняет анализ конструкций смесительного оборудования[1,4].

В первую очередь для рациональной оценки работы смесительного оборудования необходимо рассмотреть принципы и кинетику перемешивания.

Процесс смещения сыпучих материалов является сложным механическим процессом, механизм действия которого зависит главным образом от конструкции смесителя. Складывается он из следующих элементарных процессов:

1) конвективного смещения - перемещения больших группы смежных частиц из одного места смеси в другое внедрением, вмятием, скольжением слоев;

2) диффузионного смещения - постепенного перераспределения частиц различных компонентов в микрообъемах через образованную границу их раздела;

3) сегрегации - сосредоточения частиц, имеющих одинаковую массу, в соответствующих местах смесителя под действием гравитационных или инерционных сил (образование застойных зон).

При перемешивании сыпучих материалов в смесителе одновременно протекают все три элементарных процесса. Однако доля их влияния в различные периоды смещения неодинакова[5].

Чаще всего кинетику процесса смешивания можно описать следующим уравнением[2,3]:

$$V_c(t) = a \cdot V_{ch} \cdot e^{-b \cdot t}. \quad (1)$$

где  $V_c(t)$  - коэффициент неоднородности в конкретный момент времени  $t$ , (%);

$V_{ch}$  - коэффициент неоднородности в начальный момент времени  $t$ , (%);

$a, b$  - коэффициенты, определяемые экспериментально;

$t$  - время смешивания, (с).

Графически, кривая кинетики процесса смешивания сыпучих материалов представлена на рисунке 1.

Процесс сегрегации по своему действию на смесь противоположен первым двум процессам: он приводит к разделению смеси на отдельные фракции или компоненты, ухудшая ее качество.

В начальный момент времени работы смесителя (рис. 1, зона I) распределение частиц в объеме осуществляется в основном за счет конвективного разноса компонентов. В это время процесс смешения идет на уровне макрообъемов. Поверхность раздела между разнотипными компонентами еще невелика, поэтому доля процесса диффузационного смешения, идущего к тому же с небольшой скоростью, в общем процессе смешения невелика. Процесс конвективного смешения в этот момент идет с большой скоростью, что видно из графика (рис. 1).

На участке конвективного смешения скорость процесса почти не зависит от физико-механических свойств смеси, так как процесс смешения идет на уровне макрообъемов. Главное влияние на скорость процесса смешения в эти моменты времени оказывает характер движения потоков частиц в смесителе. После того как компоненты в основном будут распределены по рабочему объему смесителя, процессы конвективного и диффузационного смешения становятся по их влиянию на общий процесс смешения равнозначны. В это время процесс перераспределения частиц идет уже на уровне микрообъемов. Начиная с некоторого момента, процесс диффузационного смешения становится преобладающим (рис. 1, зона II). Более заметное влияние на ход процесса смешения начинает оказывать сегрегация частиц. Два противоположных процесса: сегрегация и диффузионное смешение могут в определенный момент времени, зависящий физико-механических свойств смеси, уравновеситься. После этого момента дальнейшее перемешивание компонентов смеси не имеет смысла, так как качество смеси остается постоянным (рис. 1, зона III). В некоторых случаях указанное равновесие противоположных процессов наступает

несколько позже того момента, когда качество смеси было наилучшим. Этому случаю соответствует пунктирная кривая 2. В первом случае (рис. 1, кривая 1) время наступления равновесия  $t_p$  совпадает со временем достижения наилучшего качества смеси  $t_{\text{опт}}$ , во втором же (рис. 1, кривая 2)  $t_p > t_{\text{опт}}$ .

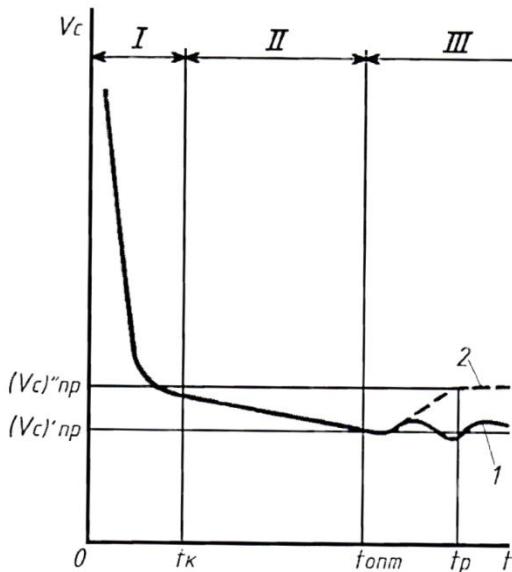


Рис. 1 Кривая кинетики процесса смещивания сыпучих материалов.

Скорость перераспределения отдельных частиц (рис. 1, зона II и III) зависит не только от характера движения потока материала в смесителе, но и от физико-механических свойств частиц: их размера, состояния поверхности, веса, относительного веса, адгезионных сил и т. п. По этой причине скорость диффузионного смещения для различных смесей в одном и том же смесителе будут отличаться, как неодинаковы значения  $t_p$  и  $t_{\text{опт}}$ .

Таким образом, наиболее предпочтительнее рассматривать смесительное оборудование с точки зрения режимов смещивания, которые характеризуются скоростью и временем протекания процессов конвекции, диффузии и сегрегации.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Макаров Ю.И. Отечественное и зарубежное оборудование для смешения сыпучих материалов / Ю.И. Макаров, Б.М. Ломакин, В.В. Харакоз // – М.: «Машиностроение», 1964. - 86с.
2. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. – М.: «Машиностроение», 1973. - 216с.
3. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Т. IV-12 / Б. Генералов, В.П Александров, В.В. Алексеев и др.; Под общ. ред. М.Б. Генералова. – М.: «Машиностроение», 2004. - 832с.; ил.
4. Матусов М.Г, Бражник Ю.В., Бражник А.А., Кошелев М.А., Дейнеко С.Ю. Современные конструкции бетоносмесителей принудительного действия // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XVIII. – 2020. – С. 152–155.
5. Несмелянов Н.П., Бражник Ю.В., Смирнов Д.В., Оноприенко Ю.С., Камбур А.С. Анализ режимов работы смесителей для производства сухих строительных смесей // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XX. – 2021. – С. 143–146.

**УДК 691.5:568.27**

**Исса Ю.М., Науменко В.В., Калашник И.А., Алешкин К.К., Токмаков А.С.**  
**Научный руководитель: Несмелянов Н.П., канд. техн. наук, доц.**  
**Белгородский государственный технологический университет**  
**им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия**

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАВОДОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

Мощность заводов по производству сухих строительных смесей выбирает заказчик в зависимости от потребности в них в данном регионе, возможности получения необходимых сырьевых материалов и финансовой обеспеченности заказа.

Ориентировочно с существующими проектными решениями возможны несколько вариантов заводов, основные из них 3:

- заводы производительностью до 120 т/ч;
- технологические линии производительностью 8-50 т/ч;

- малые частично или полностью автоматизированные установки производительностью 1-10 т/ч.

В общем виде технология производства сухих строительных смесей складывается из следующих операций:

- доставка и складирование необходимых сырьевых материалов;
- сушка песка и заполнителя, как правило, до 0,5% влажности;
- рассев песка на ситах на требуемое количество фракций;
- дозирование заданных компонентов в смеситель;
- перемешивание от дозированных материалов до требуемой однородности в смесителе;
- затаривание сухих строительных смесей;
- отгрузка потребителю или на склад.

На основе сложившейся практике можно представить несколько вариантов установок малой мощности, которые можно разместить в существующих помещениях, и небольшой завод с вертикальной компоновкой оборудования, допускающий поэтапное наращивание числа силосов.

Такая схема представляет интерес для производителей, продажи которых составляют до 5000 т/мес.

Установки небольшой мощности, размещаемые в существующих помещениях.

При объемах продаж 1-5 тыс. т в год строительство завода с вертикальной компоновкой технологической схемы будет, скорее всего, экономически неоправданно. В этом случае целесообразно вести речь о небольшой установке, которую можно разместить в помещении высотой 8-10 м.

Такая установка может использоваться:

- в качестве оценки емкости региональных рынков;
- для производства смесей специального назначения, потребление которых ограничено;
- в качестве второй вспомогательной линии, позволяющей разгрузить основное производство от продукции, выпускаемой малыми партиями.

При покупке оборудования для небольших установок сумма затрат почти всегда является ограниченной, и нередко принимаются решения в ущерб удобству работы и качеству продукции. Но было бы ошибкой считать, что качественную продукцию можно производить только в условиях завода с вертикальной схемой. В составе небольшой установки используется то же самое оборудование, а все технологические операции могут быть полностью автоматизированы.

При одинаковой степени автоматизации недостатком малых установок является более высокий уровень капитальных затрат, приведенных к единице производственной мощности. Десять автоматизированных линий по 10 тыс.т/год потребуют инвестиций в несколько раз больше, чем одна линия мощностью 100 тыс.т/год.

#### Простейший вариант установки

по производству сухих смесей, затраты на оборудование на которые минимальны, а доля ручного труда максимальна, состоит из двух единиц оборудования — смесителя циклического действия и фасовочной машины, предназначенной для упаковки готовой продукции в клапанные мешки. Смеситель с площадкой обслуживания расположен на высоте 4,5 м над уровнем пола, фасовочная Машина установлена под смесителем.

Оборудование для дозирования в этом варианте отсутствует. Сухой песок, цемент, прочие компоненты и добавки подаются вручную. По окончании пересыпки затворы закрывают, воронку возвращают на весы. Эти действия выполняет рабочий, находящийся на площадке у смесителя.

Планировать изготовление продукции 1-2 т/ч на такой установке нецелесообразно. Точность дозирования в этом случае не контролируется, что не может не сказываться на качестве продукции.

Этот простой вариант может быть дополнен отдельно стоящим весовым дозатором. Подача взвешенных компонентов из бункерных весов в смеситель осуществляется с помощью воронки и тельфера.

Преимуществами этого варианта по сравнению с первым являются точность дозирования вяжущих и заполнителей и лучшие условия труда людей, поскольку воронка здесь оборудована крышкой с фильтром, а пересыпка осуществляется через закрытый тракт. Недостаток в том, что из процесса по-прежнему не исключен человеческий фактор, от которого будет зависеть фактическая производительность установки. При такой схеме работы можно планировать производство в объемах порядка 2-5 т/ч.

При изготовлении легких смесей с насыпной плотностью 0,6-1 Т/м<sup>3</sup>, производительность смесителя составит 3-6 т/ч. Если смеситель служит также для взвешивания загружаемых компонентов, приведенные цифры уменьшаются в два раза. Общим недостатком малых установок является ограниченное число силосов для складирования вяжущих и заполнителей, как правило, от 3 до 5 штук. Лимитирующим фактором являются особенности использования винтовых конвейеров для подачи компонентов, обладающих абразивными свойствами. Конвейеры располагаются горизонтально

или с незначительным углом подъема, их скорость вращения и длина ограничены, а требуемая мощность приводов довольно велика.

Строительство небольшого завода по производству сухих смесей башенного типа целесообразно при объемах продаж 10-50 тыс. т в год.

Принцип вертикальной схемы завода сухих смесей заключается в размещении силосов сырьевых компонентов в верхней части башни над вытянутой сверху вниз цепочкой технологического оборудования. Сырьевые материалы поднимаются вверх один раз при загрузке их в силосы и далее, при прохождении всех технологических операций происходит движение материалов вниз.

Гравитационная подача является главным достоинством завода с вертикальной схемой размещения оборудования. Транспортирующих устройств между весами, смесителем и фасовочной машиной в этом случае не требуется. При горизонтальном размещении оборудования именно транспортирующие устройства создают проблемы при перевозке материалов.

В отличие от установки, затраты на которую фактически равны стоимости оборудования, перечень затрат на завод с вертикальной компоновкой содержит также стоимость строительно-монтажных работ и затраты на инфраструктуру - подъездные пути и коммуникации, склады, офисные и бытовые помещения, транспортную технику.

Необходимость строительства мощной заполненных силосов, является недостатком вертикальной схемы.

Основой завода с нарашиваемым числом силосов является металлоконструкция центральной секции, несущая на себе 4 силоса по 60 м<sup>3</sup> и имеющая габариты в плане 6х6 м. В трех ярусах под силосами на этой площадки размещается технологическое оборудование для дозирования, смешения и упаковки; над силосами может устанавливаться виброклассификатор песка.

Одна из четырех сторон центральной секции занята лестницей и шахтой для подъема поддонов с мешками, три другие резервируются для размещения шести дополнительных силосов по два силоса с каждой стороны. Опорой для каждой пары дополнительных силосов служат две вновь устанавливаемые колонны и две колонны центральной секции, несущая способность которой рассчитана с учетом такой нагрузки.

При производстве цементно-песчаных смесей силосы центральной секции могут использоваться следующим образом: песок <0,5 мм, цемент, минеральная мука, гидратная известь (или другая фракция песка, или другой заполнитель). Из дополнительных силосов два предназначены для песка других фракций, четыре - для компонентов,

загружаемых пневматически (белый цемент, глиноземистый цемент, гипс, мраморная мука, кварцевая мука, перлит и др.).

Количество силосов при проектировании завода может быть равно шести, восьми или десяти. Независимо от первоначального количества силосов фундамент рекомендуется делать в расчете на их максимальное количество.

Установка дополнительной секции не потребует остановки действующего производства более чем на сутки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.М. Технология сухих строительных смесей. Москва, 2003, 94 с.
2. Багринцев, И.И. Смесительное оборудование для сыпучих и пастообразных материалов [Текст] / И.И. Багринцев, Л.М. Лебедева, В.Я. Филин // М.: Обзорная информация, 1986. - 35 с.
3. Корнеев В.И. Основные условия разработки рецептур сухих строительных смесей // Batimix. - 2001.
4. Несмелянов Н.П. Анализ работы смесителей для производства сухих строительных смесей / Несмелянов Н.П., Бражник Ю.В., Смирнов Д.В., Оноприенко Ю.С., Камбур А.С. // Межвуз. сб. ст. «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» под ред. В.С. Богданова. - Белгород, 2021.- Вып. XX. С.143-147
5. Несмелянов Н.П. Состояние вопроса приготовления строительных смесей в настоящее время / Несмелянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Оноприенко Ю.С., Котышев А.В // Межвуз. сб. ст. «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» под ред. В.С. Богданова. - Белгород, 2022. - Вып. XXI. С.286-289

УДК 621.924.5

*Несмелянов Н.П., Бражник Ю.В., Атласюк В.А. Чернолихов И.А.*

*Научный руководитель: Смирнов Д.В.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ДЕЗИНТЕГРАТОРОВ

В результате проведённого анализа техники и технологии измельчения материалов можно сказать, что каждая помольная

установка предназначена для выполнения конкретных задач при получении дисперсных продуктов, имея как преимущества, так и недостатки.

Исходя из вышесказанного делаем вывод, что необходимо создание и исследование установок для помола с высокими скоростными характеристиками воздействия на материал, обеспечивающих механический разгон частиц. Такими помольными установками являются дезинтеграторы (рис. 1).

Дезинтеграторы, как и рассмотренное выше оборудование, относятся к машинам для получения порошковых продуктов.

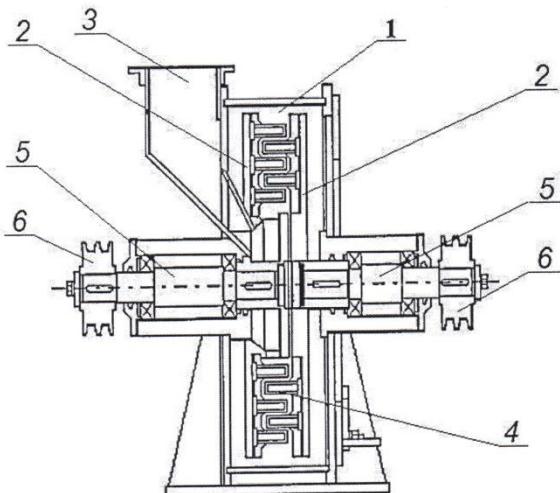


Рис. 1. Дезинтегратор:

1 - корпус; 2 - ротор; 3 — бункер загрузочный; 4 — ударные элементы;  
5 — вал; 6 — шкив

Отличительной особенностью дезинтеграторов является то, что измельчение материала осуществляется за счет быстровращающихся роторов 2 горизонтального или вертикального расположения и установленных на них ударных элементов 4. Наиболее распространенным видом ударных элементов являются элементы. В виде стержней или пальцев. Они располагаются несколькими рядами по определенным радиусам, так что ряд ударных элементов одного ротора располагается между двумя смежными рядами другого ротора. Ударные элементы располагаются так, чтобы создавать сложную траекторию прохождения материала при вращении роторов. За счет этого измельчаемый материал неоднократно сталкивается с

быстро движущимися ударными элементами, разрушаются и сталкиваются с другими частицами, разрушаясь и истончаясь. Такой процесс позволяет достичь высокой степени измельчения и удельной поверхности готового продукта.

На Российском рынке лидирующие позиции по производству дезинтеграторов занимает завод «Техприбор». На рис. 2 представлен дезинтегратор, конструкция которого разработана на данном заводе.

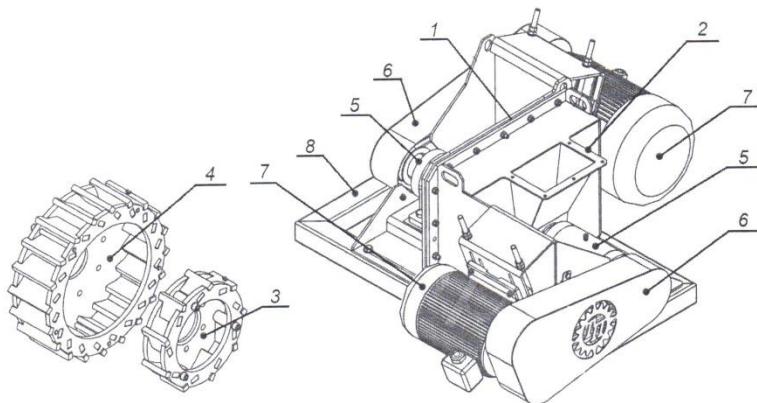


Рис. 2. Дезинтегратор «ГОРИЗОНТ-380Z»:  
1 - корпус; 2 — бункер загрузочный; 3 — ротор-импеллер малый; 4 — ротор-импеллер большой; 5 - вал; 6 - клиноременная передача; 7 — электродвигатель; 8 — рама

Рассматриваемый дезинтегратор модели «ГОРИЗОНТ-380Z» предназначен для мелкого дробления и помола различных материалов твердостью до 5 единиц по шкале Мооса с производительностью до 5 м<sup>3</sup>/ч. Дезинтегратор оснащён двумя быстровращающимися роторами-импеллерами 3, 4 с горизонтальным расположением приводных валов 5. Роторы дезинтегратора приводятся во вращение индивидуальными электродвигателями 7, что позволяет получать высокие скорости соударения частиц измельчаемых материалов при относительно низкой частоте вращения каждого из роторов-импеллеров 3, 4. Запатентованная конструкция износостойких роторов-импеллеров 3, 4 обеспечивает идеальный баланс размольной мощности дезинтегратора с увеличенными сроками службы его сменных элементов.

Порошки, полученные на данном дезинтеграторе характеризуются узким зерновым составом, осколочной формой частиц, высокой реологической активностью.

Принцип действия рассматриваемого дезинтегратора следующий. Сырье, подлежащее измельчению, посредством питателя, равномерным потоком подается в бункер загрузочный 2, откуда оно поступает в центральную часть малого ротора-импеллера 3. Лопасти малого ротора-импеллера 3 сообщают ускорение частицам измельчаемого материала и выбрасывают их в направлении большого ротора-импеллера 4. Разрушение частиц происходит при столкновении с лопастями большого ротора-импеллера 4. Осколки частиц измельчаемого материала выбрасываются в пространство камеры помола и покидают ее через разгрузочное окно корпуса 1.

Следствием высокого уровня энергетического воздействия, оказываемого на измельчаемое сырье роторами-импеллерами 3, 4 дезинтегратора, является значительный износ их деталей и достаточно частая их замена, что является основным недостатком всех дезинтеграторов.

На международном рынке наиболее активно дезинтеграторы выпускают такие фирмы и корпорации, как Hosokawa Micron Corporation (Япония), British Rema Process Equipment Ltd (Великобритания), STMMicron (США), NETZSCH (Германия), Nara Machinery (Германия), Prater Industries (США).

Стоит выделить дезинтеграторы с плоскими ударными элементами

(рис. 3), выпускаемые компанией Nara Machinery (Германия).

Плоские ударные элементы дезинтегратора выполнены в виде пластин сложного профиля и имеют разную длину рабочей части. Они закрепляются на быстровращающемся диске и фиксируются по внешнему контуру ободом, что обеспечивает совмещение процесса помола и классификации материала.

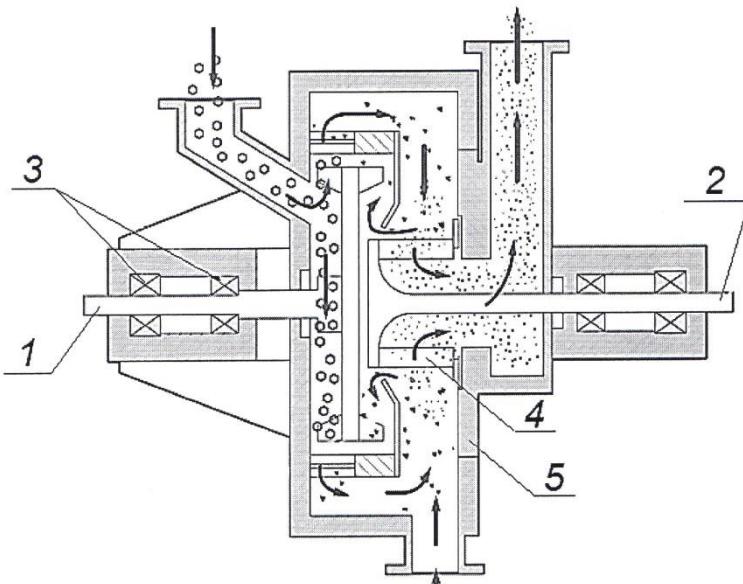


Рис. 3. Схема дезинтегратора с плоскими ударными элементами компании Nara Machinery (Германия):

- 1 - привод подвижного диска;
- 2 — привод классификатора;
- 3 — подшипниковая опора подвижного диска;
- 4 — классификатор;
- 5 — корпус

В процессе помола материала создается замкнутый контур с внутренней классификацией воздуха. Сам процесс измельчения материала проводится в три этапа: на первом этапе происходит измельчение материала ударными элементами быстровращающегося диска. При этом диск с ударными элементами за счет воздушного потока направляет частицы на классификацию. На втором этапе происходит классификация измельченных по крупности. Частицы крупного размера направляются обратно в камеру помола, где происходит третий этап - доизмельчение материала. Частицы, прошедшие через классификатор, направляются на очистку в фильтрах.

Используя описанную схему помола, возможно получать частицы узкого гранулометрического состава с размером готового продукта до 5 мкм.

При анализе существующих конструкций дезинтеграторов выявлены основные направления их развития: снижение износа ударных элементов; возможность совмещения процесса помола и

классификации; оптимизация траекторий движения частиц измельчаемого материала, времени нахождения измельчаемого материала в камере помола и количества соударений.

Производительность дезинтеграторов ограничивается геометрическими размерами внутреннего ряда ударных элементов.

Увеличение производительности сопровождается увеличением габаритных размеров дезинтегратора, что затрудняет балансировку роторов при их неравномерном износе.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хинт И.А. Основы производства силикальцитных изделий. М.: Стройиздат, 1962. 636 с.
2. Семикопенко И. А., Вавилов Д. В., Бороздин Е. А., Севостьянов А. Э. Центробежный дисковый измельчитель. Патент РФ №2739428 МПК В02C 13/14. Опубликовано: 24.12.2020 Бюл. №36.
3. Севостьянов А.Э., Скитов И.А., Петренко В.М. Дезинтегратор горизонтальными валами // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов». Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019. Выпуск XVII. С. 377-380.
4. Немыкин А.С., Севостьянов А.Э., Скитов И.А., Скитова В.М. Дисковый измельчитель // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов». Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2020. Выпуск XIX. С. 257-260.
5. Семикопенко И.А., Беляев Д.А., Акупиян А.М., Центробежный измельчитель с вертикальными дисками // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов». Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. Выпуск XX. С.203-207

*Пашков Г.А., Погореленко К.А.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО НАДЗОРА ЗА СТРОИТЕЛЬНЫМИ РАБОТАМИ**

В современных условиях стремительная цифровизация всех сфер экономики становится ключевым фактором развития. Инновационные технологии и автоматизированные системы прочно входят в строительную отрасль, трансформируя традиционные подходы к реализации проектов. Эта тенденция обусловлена необходимостью оптимизации производственных процессов и повышения эффективности управления строительными объектами.

Цифровизация строительства охватывает все этапы проектной деятельности: от начальной подготовки до финальной эксплуатации объекта. На каждом из этих этапов внедрение современных технических решений открывает новые возможности для повышения качества и скорости реализации проектов.

На этапе предварительной подготовки к строительству проводятся комплексные исследования, которые определяют жизнеспособность проекта. Концептуальное проектирование включает детальный анализ потенциальных результатов и формирование экономической базы. Только после подтверждения перспективности проекта начинается разработка детального бизнес-плана и расчет ключевых технико-экономических показателей.

Технологическое проектирование представляет собой сложный процесс согласования различных решений: технических, технологических, управленческих и временных. Эти параметры являются определяющими при планировании строительных работ. На данном этапе особое внимание уделяется последовательности операций, расчету необходимых ресурсов и выбору оптимальных схем реализации строительного процесса.

Информационные технологии на этапе проектирования позволяют существенно упростить вычислительные процессы и создать точную картину для дальнейшего анализа. Высокая достоверность получаемых данных способствует снижению проектных рисков и неопределенности, что делает цифровизацию важнейшим элементом инвестиционного планирования.

BIM-технологии становятся приоритетным инструментом управления строительными проектами. Они не только автоматизируют процессы календарного и ресурсного планирования, но и значительно упрощают передачу информации между участниками проекта. Использование цифровых моделей позволяет оперативно выявлять и устранять проектные коллизии, а также обеспечивает быстрый доступ к необходимой информации об объекте.

Программное обеспечение для информационного моделирования постоянно совершенствуется, предлагая все новые возможности для автоматизации. Современные системы позволяют не только проектировать объекты, но и планировать проекты, контролировать строительство, а также обрабатывать результаты инженерных изысканий. Интеграция различных цифровых моделей в единую информационную систему создает мощный инструмент управления строительными проектами с учетом разнообразных условий и ситуаций.

Документационное обеспечение в современной строительной отрасли также подвергается автоматизации. Процессы разработки сметной и исполнительной документации становятся значительно более эффективными. Это позволяет существенно сократить трудозатраты специалистов на ввод и обработку данных, минимизировать количество ошибок и ускорить процесс согласования документации.

На этапе непосредственной реализации проекта цифровые решения обеспечивают комплексное управление строительным производством как на площадке, так и удаленно. Дистанционный контроль и надзорные функции становятся более эффективными благодаря внедрению современных технологий.

BIM-технологии в процессе мониторинга строительных работ создают актуальную информационную базу об объекте и формируют различные виды отчетности: аналитическую, статистическую и финансовую. Это позволяет принимать взвешенные управленческие решения на основе достоверных данных.

Облачные сервисы предоставляют инструменты для оперативного сбора и анализа данных о ходе строительства. Специализированные цифровые платформы в режиме реального времени отслеживают ситуацию на площадке и накапливают информацию в централизованных базах данных. Такой подход существенно ускоряет процесс получения данных и повышает точность оценок специалистов, ответственных за строительный контроль.

Система трекинга оборудования на стройплощадке обеспечивает автоматизированный учет и контроль перемещения технических средств. Благодаря радиочастотной идентификации удается

предотвратить потерю оборудования и оптимизировать его использование.

Интеллектуальные системы мониторинга рабочего времени позволяют отслеживать производительность труда персонала. При использовании специальных устройств контроля собирается информация о выполняемых операциях, которая передается на центральный сервер. Это способствует улучшению трудовой дисциплины, повышению производительности и качества работы. Кроме того, такие системы обеспечивают контроль соблюдения норм безопасности и выявляют отклонения от установленных временных нормативов.

Технологии распознавания лиц в сочетании с системами видеонаблюдения и искусственным интеллектом повышают уровень безопасности на объекте. Они позволяют идентифицировать всех присутствующих, вести учет рабочего времени и отслеживать выполнение технологических операций, а также предотвращать несанкционированный доступ на территорию.

Удаленное управление строительным процессом становится возможным благодаря внедрению цифровых технологий непосредственно на площадке. Это создает основу для более эффективного контроля и координации работ.

Комплексная интеграция информационных систем в управление проектами приводит к существенному улучшению качества строительно-монтажных работ и сокращению их продолжительности. Оптимизация процессов позволяет минимизировать финансовые потери, связанные с ошибками проектирования, неточностями при выполнении работ и недостатками в организации труда. При этом важно учитывать, что завершение одного проекта часто совпадает с началом следующего, что подчеркивает значимость накопленного опыта и наличия удобных аналитических инструментов для управления проектами.

Отечественные разработки в сфере программного обеспечения для строительства активно развиваются и уже представлены на рынке. Эти решения позволяют эффективно планировать и контролировать строительные проекты, управлять персоналом как в процессе строительства, так и при последующей эксплуатации объектов.

Эксплуатационный этап также открывает широкие возможности для применения информационных технологий. Несмотря на их недостаточное использование, технологии информационного моделирования позволяют создавать и поддерживать актуальную базу данных об объекте недвижимости, вести мониторинг технического

состояния, актуализировать информацию на протяжении всего жизненного цикла здания и контролировать потребление ресурсов.

Цифровизация строительной отрасли представляет собой стратегически важное направление развития. Внедрение современных информационных технологий и цифрового оборудования становится ключевым фактором успеха для строительных организаций и способствует позитивному развитию всей отрасли, обеспечивая повышение эффективности, качества и безопасности строительного производства.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зильберова И.Ю., Новоселова И.В., Маилян В.Д., Петров К.С., Швец А.Е. Перспективы применения BIM-технологий на всех стадиях жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий, 2023, Т. 2, № 1. С. 44-53.
2. Зеленцов Л.Б., Маилян Л.Д., Акопян Н.Г., Шогенов М.С. Моделирование организационно-технологических процессов в строительстве с использованием современных цифровых технологий // Строительное производство, 2020, № 1. С. 41 -44.
3. Лушников А.С. Оценка эффективности использования технологий информационного моделирования при реализации инвестиционно-строительных проектов // Вестник гражданских инженеров, 2016, № 5 (58). С. 186-194.
4. Малиновский М.А., Аленин И.Э. Вопросы импортозамещения и конкурентоспособности российского программного обеспечения для информационного моделирования в сфере архитектурного проектирования объектов капитального строительства // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2022, Т. 7, № 1. С. 79-85.
5. Свигачева О.А., Герасенко В.А. Отечественная BIM-система Renga как современная трехмерная программа для проектирования зданий и сооружений // Молодой ученый, 2023, № 18 (465). С. 68-69.

**УДК 623.746.-519**

**Писаренко А.С.**

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **УПРАВЛЕНИЕ ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БЛА) В СИМУЛЯЦИОННОЙ СРЕДЕ**

Рост интереса к беспилотным летательным аппаратам (БЛА) в таких сферах, как сельское хозяйство, мониторинг, безопасность и логистика, приводит к необходимости разработки эффективных систем управления группами дронов. Управление несколькими аппаратами требует не только точного контроля, но и координации действий в реальном времени. Традиционные подходы, основанные на индивидуальном управлении, становятся неэффективными в условиях масштабирования [1-3].

В работе рассматривается архитектура и реализация централизованной системы управления группой БЛА с использованием открытых программных платформ PX4 и ROS 2. Для упрощения взаимодействия между компонентами используется подход G-команд, аналогичный системам числового программного управления, что позволяет стандартизировать и масштабировать управление полётами.

Целью работы является разработка и верификация высокоуровневого контроллера в симуляционной среде Gazebo, обеспечивающего выполнение типовых команд (взлёт, перемещение, удержание позиции) и координацию группы дронов. Результаты демонстрируют возможности предложенного подхода и выявляют направления для его совершенствования.

С развитием технологий беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся всё более популярными в различных отраслях, включая логистику, сельское хозяйство, строительство, безопасность и научные исследования [4]. Их гибкость и способность эффективно выполнять задачи в сложных условиях привели к значительному увеличению количества применяемых устройств. Однако рост масштабов их использования требует разработки более эффективных методов управления, особенно в сценариях, где один оператор должен координировать несколько дронов одновременно.

Предлагаемая система управления БЛА реализована на основе взаимодействия трёх ключевых компонентов: автопилота PX4 (SITL), фреймворка ROS 2 и симуляционной среды Gazebo. Обмен данными между ROS 2 и PX4 осуществляется через MAVROS по протоколу

MAVLink.

Основные модули системы:

- Высокоуровневый контроллер: реализован на Python, управляет логикой полёта, состояниями дронов (ожидание, взлёт, удержание, посадка) и обрабатывает G-команды (Рис 1).
- Модуль G-команд: принимает JSON-команды, задающие задачи в формате, близком к G-code (например, G21 — линейное перемещение) [5].
  - Модуль мониторинга: обеспечивает визуализацию в RViz и логирование параметров полёта.
  - Канал передачи команд: каждая команда публикуется в именованный топик ROS 2, специфичный для дрона (например, /id\_1\_x500/in/command\_json).

```
{  
    "name": "G21",  
    "start_point": [0.0, 0.0, 0.0],  
    "end_point": [5.0, 10.0, -10.0],  
    "velocity": 1.5,  
    "yaw": 1.57,  
    "coordinate_system": "global_ENU"  
}
```

Рис. 1 Пример команды G21

Система поддерживает координацию нескольких дронов, последовательную обработку команд и работу в симуляции с возможностью масштабирования на реальное оборудование [6].

Эксперимент проводился в симуляционной среде Gazebo с использованием фреймворка ROS 2 Humble и автопилота PX4 v1.14 (SITL). Система развернута в контейнеризированной среде Docker на базе ОС Ubuntu 22.04 LTS. Для визуализации состояний и траекторий использовался RViz.

Целью эксперимента было тестирование выполнения G-команд несколькими дронами в общем виртуальном пространстве. Для демонстрации были использованы три коптера модели x500, стартующие с координат на высоте 0 м и выполняющие команды взлёта, перемещения и стабилизации.

Сценарии полёта:

- Дрон 1 (id\_1): взлёт на 5 м и линейное перемещение на 5 м вперёд с yaw = 1.57 рад (Рис 3).
- Дрон 2 (id\_2): перемещение по прямой от точки (-5, 0, 5) до (-5, -5, 5) со скоростью 1.5 м/с (Рис 4).

- Дрон 3 (id\_3): движение по дуге радиусом 3 м между точками (0, 0, 5) и (5, 0, 5) (Рис 5).

Каждому дрону отправлялись команды через уникальные ROS 2-топики. Команды обрабатывались последовательно с контролем завершения предыдущей задачи.

В ходе симуляции все дроны корректно выполнили полученные команды: взлёт, перемещение по заданной траектории и удержание позиции. Визуализация траекторий в RViz и Gazebo подтвердила точность исполнения, особенно при работе с G-командой линейного перемещения.

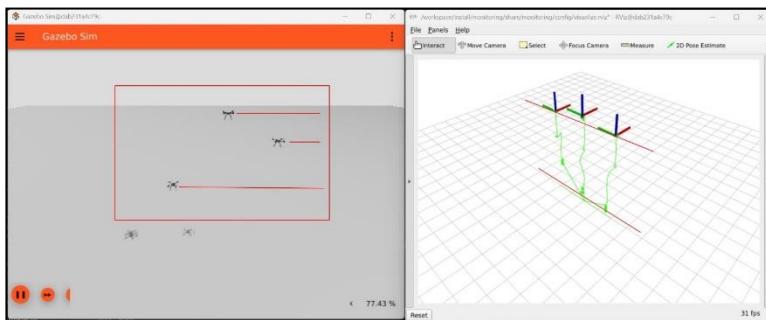


Рис. 2. Начальное положение дронов

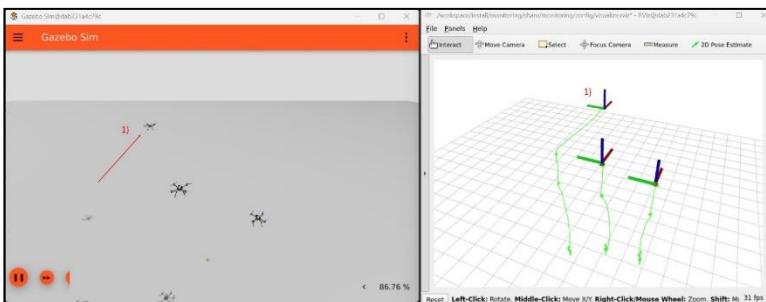


Рис. 3. Визуализация выполнения команды первым дроном.

Однако были выявлены два типа недостатков:

1. Погрешности начального позиционирования — визуально наблюдались отклонения от заданных стартовых координат, несмотря на корректные данные от сенсоров (Рис 1).
2. Асинхронность исполнения команд — задержки между дронами при групповом старте могли достигать нескольких секунд.

Причинами расхождений, вероятно, являются ограничения модели PX4 в SITL-режиме и задержки при передаче данных через ROS 2. Несмотря на это, система показала стабильную работу и пригодность для последующего расширения.

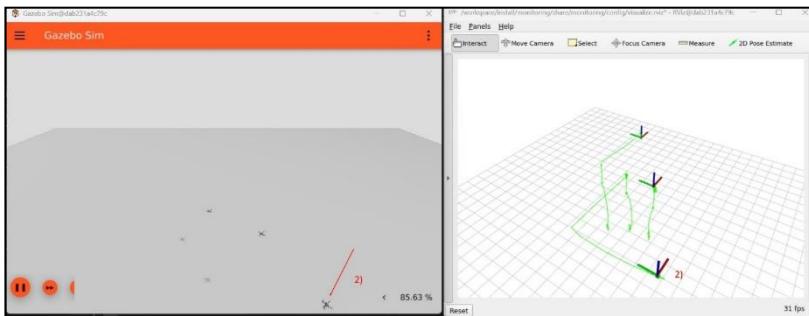


Рис. 4. Визуализация выполнения команды вторым дроном.

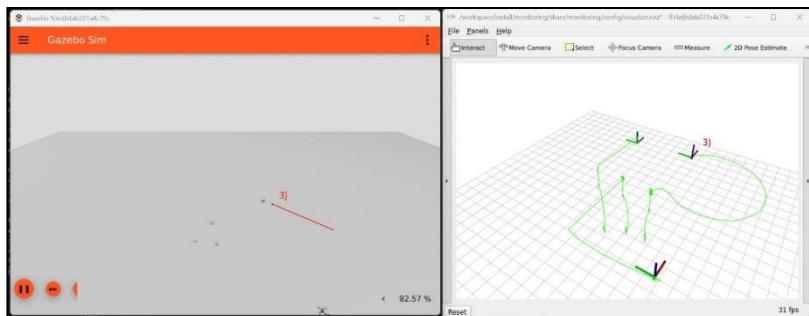


Рис. 5. Визуализация выполнения команды третьим дроном.

В дальнейшем планируется внедрение механизмов калибровки и синхронизации старта, а также интеграция модулей автономной навигации и SLAM для повышения точности и устойчивости.

Разработана и протестирована симуляционная система управления группой БЛА на базе ROS 2, PX4 и Gazebo. Основное внимание удалено реализации высокогоуровневого контроллера, использующего формат G-команд для задания типовых задач полёта.

Эксперимент с тремя дронами показал корректное выполнение команд, включая взлёт, линейное перемещение и стабилизацию. Выявленные недостатки (погрешность позиционирования, асинхронность исполнения) не критичны и могут быть устранены на следующих этапах разработки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Meier L., Honegger D., Pollefey M. PX4: A node-based multithreaded open-source robotics framework for deeply embedded platforms // Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation. — 2015. — № 2015. — С. 6235–6240. — DOI: 10.1109/ICRA.2015.7140074.
2. ArduPilot Development Team. ArduPilot Documentation [Электронный ресурс]. — URL: <https://ardupilot.org/> (дата обращения: 22.05.2025).
3. Macenski S., Foote T., Gerkey B., Lalancette C., Woodall W. Robot Operating System 2: Design, Architecture, and Uses In The Wild // arXiv preprint arXiv:2211.07752. — 2022. — DOI: 10.48550/arXiv.2211.07752.
4. Araujo A.G., Pizzino C.A.P., Kouskouridas R., Rocha R.P. A Multi-Drone System Proof of Concept for Forestry Applications // Drones. — 2025. — Т. 9, № 2. — С. 80. — DOI: 10.3390/drones9020080.
5. Abolarin V. Generating G and M Code for Lathe Machine Using Python // ResearchGate. — 2024. — September.
6. Pisarenko A. PX4 Multi-Drone Simulation Project [Электронный ресурс]. — 2024. — December. — URL: <https://github.com> (дата обращения: 24.12.2024).

**УДК 629**

**Плетнёв В.А.**

**Научный руководитель: Дуганова Е.В., канд. техн. наук, доц.**  
**Белгородский государственный технологический университет**  
**им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия**

## АВТОМОБИЛЬНЫЕ ШИНЫ

За последнее десятилетие мир автомобильных шин претерпел невероятные изменения, трансформировавшись из простого компонента транспортного средства в сложный, высокотехнологичный элемент, напрямую влияющий на безопасность, экологичность и даже цифровую интеграцию автомобилей. Эти революционные преобразования были вызваны совокупностью факторов, среди которых можно выделить ужесточение экологических норм и стандартов, стремительный рост популярности электромобилей, развитие беспилотных технологий и, наконец, общее глобальное стремление к устойчивому развитию и сокращению углеродного следа.

Одним из наиболее значительных трендов стало активное

внедрение инновационных материалов в производство шин. Производители соревнуются в разработке новых составов резиновых смесей, экспериментируя с различными добавками и компонентами. Например, широкое применение кремния в резиновых смесях позволило значительно улучшить сцепление шин с мокрой дорогой, одновременно снизив сопротивление качению. Это, в свою очередь, привело к улучшению топливной эффективности автомобилей и, как следствие, к уменьшению выбросов углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в атмосферу. Это особенно важно в контексте борьбы с изменением климата и стремления к снижению вредного воздействия автотранспорта на окружающую среду.

В стремлении к большей экологичности, такие гиганты шинной индустрии, как Michelin и Continental, активно внедряют в производство переработанные материалы. Речь идет не только о вторичной переработке старой резины, но и о включении в состав шин переработанного пластика. Это позволяет снизить потребление природных ресурсов и уменьшить количество отходов, отправляемых на свалки. Но инновации пошли еще дальше. Компания Continental, в рамках проекта Taraxagum, революционизировала производство каучука, перейдя на использование каучука, получаемого из корней одуванчиков. Это амбициозный проект, направленный на снижение зависимости от традиционных источников сырья, таких как гевея бразильская, культивирование которой требует больших земельных площадей и часто негативно сказывается на экосистемах. Переход на «одуванчиковый» каучук открывает перспективы создания более экологичных и устойчивых производственных цепочек.



Рис.1 Покрышка Michelin pilot sport 4

Однако революция в сфере автомобильных шин не ограничивается только материалами [<https://shiny.ru/aquaplaning>]. Параллельно с этим развитием идет активное внедрение интеллектуальных технологий, которые превращают шины из пассивных компонентов в активные элементы, способные взаимодействовать с водителем и автомобилем. Современные шины оснащаются различными датчиками, которые отслеживают давление, температуру и степень износа протектора. Системы контроля давления в шинах (TPMS), такие как Bridgestone TPMS, уже стали стандартом для многих производителей. Эти датчики передают данные в реальном времени на бортовой компьютер автомобиля, а также могут передавать информацию на мобильное приложение водителя, предупреждая о потенциальных проблемах, таких как снижение давления вшине или чрезмерный износ протектора. Это позволяет предотвратить аварийные ситуации и обеспечить безопасность движения.



Рис.2 С датчиком давления.

В стремлении к еще большей интеграции и функциональности, компании-производители разрабатывают концепты шин с адаптивным протектором. В 2018 году Goodyear представил концепт Eagle 360 Urban – шину с протектором, который способен изменять свой рисунок в зависимости от погодных условий и состояния дорожного покрытия. Хотя массовое применение этой технологии пока отложено, она демонстрирует будущее автомобильных шин, где адаптивность и интеллектуальное управление будут играть ключевую роль в обеспечении безопасности и комфорта вождения. Это открывает новые возможности для оптимизации управляемости автомобиля в различных

условиях, повышения топливной эффективности и снижения износа шин.

В заключение можно сказать, что за последние десять лет автомобильные шины прошли путь от относительно простых компонентов до сложных высокотехнологичных устройств, интегрированных в общую систему управления автомобилем [<https://www.1001shina.ru/informaciya/stati/pochemu-kitajskie-shinyi-vostrebovannye/>]. Использование инновационных материалов, интеллектуальных технологий и стремление к экологичности – вот основные движущие силы этой революции. В будущем нас ожидает еще большее развитие в этой области, направленное на создание более безопасных, экологичных и интеллектуальных автомобильных шин, которые будут играть все более важную роль в формировании будущего автомобилестроения. Постоянное совершенствование материалов, разработка новых сенсорных систем и алгоритмов обработки данных, а также стремление к максимальной утилизации и переработке сырья – все это будет определять дальнейший прогресс в этой динамично развивающейся отрасли.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ломакин В.В., Карпухин Е.К. Перспективные направления развития автомобильных шин [Текст] / Ломакин В.В., Карпухин Е.К. // Известия МГТУ. — 2018. — № 2. — С. 65-67.
2. Валуев Д.В. Перспективы переработки автомобильных покрышек [Текст] / Валуев Д.В. // Вестник Сибири. — 2011. — № 1. — С. 12-15.
3. Медведева А.С. Решение проблемы переработки изношенных автомобильных шин [Текст] / Медведева А.С. // Молодой учёный. — 2011. — № 22. — С. 1-18.
4. Андреева, С.О. Обеспечение безопасности транспортных средств / С.О. Андреева, Д.В. Петрова, А.С. Семыкина // В сборнике: Образование. Наука. Производство. Сборник докладов Международного молодежного форума. — Белгород, 2024. - С. 3-7.
5. ТОП-15 зимних нешипованных шин для легковых автомобилей / [Электронный ресурс] // 4Tochki: [сайт]. — URL: <https://www.4tochki.ru> (дата обращения: 15.05.2025).
6. Аквапланирование шин: описание и рекомендации / [Электронный ресурс] // Шины.РУ: [сайт]. — URL: <https://shiny.ru> (дата обращения: 15.05.2025).
7. Почему китайские шины востребованные / [Электронный

ресурс] // 101Шина: [сайт]. — URL: <https://www.1001shina.ru> (дата обращения: 15.05.2025).

**УДК 69**

*Погореленко К.А., Пашков Г.А.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ХАРАКТЕРНЫЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И СООРУЖЕНИИ ВЫСОТНЫХ ОБЪЕКТОВ**

В текущий период в крупных мегаполисах России наблюдается интенсивное развитие возведения высотных сооружений. Подобная направленность обусловлена как недостаточным обеспечением горожан жилыми и деловыми пространствами в центральных секторах, так и дефицитом и, соответственно, завышенной ценой земельных участков. Тем не менее строительный сектор Российской Федерации пока не располагает достаточным опытом в осуществлении проектов высотных строений и комплексов. Уровень исполнения операций на каждой стадии жизненного цикла строительного проекта зачастую не соответствует установленным нормам, что влечет дополнительные издержки, нарушения графиков реализации, потребность во внесении корректировок и устранении погрешностей на различных этапах. В данной работе концентрируется внимание на ключевых аспектах совершенствования качества инвестиционно-строительных проектов высотных сооружений.

На подготовительной стадии необходимо осуществить технико-экономическую оценку рациональности возведения высотного сооружения. В этот интервал важно учитывать пожелания будущих пользователей, установить оптимальное распределение пространств между управлением, офисными и жилыми зонами. Поскольку в центральных районах мегаполиса часто возникают затруднения с местами стоянки, следует предусмотреть достаточное количество площадей для размещения транспорта как для обитателей, так и для сотрудников и гостей офисов. Также требуется заблаговременно оценить вероятные риски, связанные с проектированием, возведением и функционированием высотного объекта.

Учитывая продолжительность воплощения подобных проектов, необходимо прогнозировать изменение стоимости работ и применять методики дисконтирования грядущих денежных потоков. Проведение

тщательного SWOT-анализа и вычисление рисков позволит принять аргументированное решение о дальнейшем продвижении проекта.

Существенную значимость для гарантии требуемого уровня качества имеет стадия проектирования, на которой погрешности могут привести к серьезным осложнениям при возведении и эксплуатации сооружения. При выборе территории под высотное строительство необходимо руководствоваться градостроительной документацией. В процессе формирования проектной документации важно учитывать возможность присоединения к инженерным коммуникациям (водоснабжение, теплоснабжение, электроснабжение), а также транспортную доступность. Высотные сооружения отличаются повышенной энергоемкостью, поэтому требуется обеспечить их необходимыми мощностями. Особое внимание следует уделять состоянию почв — обязательны геологические исследования, расчет вероятности просадки фундаментов и получение положительного заключения экспертизы. Недостаточная проработка этих вопросов может привести к сложностям устойчивости здания в процессе функционирования.

При разработке архитектурных концепций необходимо ориентироваться на запросы различных категорий пользователей физических лиц, приобретающих или арендующих жилые помещения, и юридических лиц, заинтересованных в офисных, гостиничных или торговых пространствах. Для успешной реализации всех площадей важно проектировать такие архитектурные решения, которые будут соответствовать ожиданиям каждого клиента. К примеру, к значимым характеристикам относятся расширенные пространства кухонь и санузлов, актуальный внешний облик строения, наличие подземных автостоянок, герметичность оконных систем. Специфика аэродинамики высотных сооружений требует внедрения инновационных технологий остекления, обеспечивающих необходимую воздухонепроницаемость. Проектные решения должны быть тщательно продуманными и не вызывать психологического дискомфорта у людей, пребывающих на верхних уровнях.

Применение BIM-технологий при проектировании позволяет не только визуализировать объект в трехмерном формате, что упрощает восприятие и увеличивает привлекательность для заказчика, но и способствует устранению разногласий между различными разделами проекта. Для этих целей используются программные инструменты, такие как Autodesk Autocad, Archicad, Revit, Navisworks, а также отечественные разработки, например, Nanocad.

Исключительное внимание в проектировании высотных строений уделяется расчету оснований, на которые приходится основная нагрузка от всего сооружения. При проектировании фундаментов необходимо учитывать характеристики грунтов, массу здания, ветровые и сейсмические воздействия. Повысить точность вычислений позволяет использование специализированных программных комплексов. BIM-моделирование предоставляет возможность объединить пространственную модель строения с расчетами нагрузок и корректно спроектировать основание.

В большинстве случаев для высотных сооружений выбирается монолитная конструктивная схема, обеспечивающая свободу планировочных решений, выразительные архитектурные формы, надежность и функциональность объекта. Для увеличения точности расчетов монолитных конструкций рекомендуется использовать программные комплексы, интегрированные с архитектурными решениями, что позволяет минимизировать погрешности, связанные с несогласованностью проектных разделов.

Тщательная подготовка проектно-сметной документации также играет существенную роль. Основные погрешности на этом этапе связаны с неполным учетом видов работ, некорректным применением нормативной базы, несоответствием объемов работ в сметах и рабочих чертежах.

Использование программных инструментов, интегрированных с архитектурными, технологическими и конструктивными решениями, позволяет избежать подобных несоответствий.

На этапе возведения важно не только грамотно организовать производственный процесс, но и отслеживать качество поступающих на площадку материалов, внедрять современные строительные технологии, передовые методы выполнения работ и высокопроизводительную технику. Для высотных сооружений предъявляются особые требования к бетонным смесям — они должны быть прочными, износостойкими, морозоустойчивыми, резистентными к высоким температурам. Организация процесса бетонирования требует непрерывности операций, а качество бетона должно контролироваться как при поступлении материалов, так и в ходе укладки. Применение инновационных механизмов, например, бетононасосов, способствует обеспечению непрерывности и совершенствованию качества работ.

Возвведение высотных объектов, как правило, осуществляется в условиях плотной городской застройки, что лимитирует размеры строительной площадки. Наличие подземных уровней для коммуникаций и парковки требует значительной глубины заложения

оснований. Для сохранения несущей способности соседних строений применяются специальные технологии, например, метод "стена в грунте".

Надзор за качеством работ осуществляется на основании технологических регламентов, в которых определяются контролируемые процессы, параметры, инструментарий и ответственные лица. Систематический мониторинг со стороны заказчика, проектировщика и подрядчика снижает вероятность погрешностей и повышает качество возведения.

На завершающей стадии жизненного цикла проекта качество эксплуатации определяется безопасностью функционирования высотного сооружения. Для этого организуется постоянное наблюдение за состоянием конструкций посредством датчиков, фиксирующих изменения параметров здания. Отслеживание деформаций проводится как в процессе возведения, так и в период функционирования.

Немаловажным аспектом в реализации высотных проектов выступает интеграция экологических технологий и энергоэффективных решений. Современные небоскребы все чаще оснащаются системами рекуперации тепла, солнечными панелями, "умными" фасадами с автоматической регулировкой светопропускания, технологиями сбора и повторного использования дождевой воды. Внедрение подобных инноваций не только снижает эксплуатационные издержки, но и повышает привлекательность объекта для потенциальных арендаторов и покупателей.

Особого внимания заслуживает вопрос обеспечения безопасности высотных сооружений. Современные комплексы оснащаются интегрированными системами противопожарной защиты, включающими автоматическое пожаротушение, дымоудаление, системы оповещения и управления эвакуацией. Внедряются передовые разработки в области контроля доступа, видеонаблюдения и охранной сигнализации. Значительную роль играет организация эффективной системы вертикального транспорта - современные скоростные лифты с интеллектуальным управлением потоками пассажиров.

В перспективе развития высотного строительства прослеживается тенденция к созданию многофункциональных комплексов, объединяющих жилые, офисные, торговые и развлекательные пространства. Такой подход требует особого внимания к зонированию помещений, организации автономных входных групп и продуманной логистики внутри здания. Формируется концепция "вертикального города", где различные функции гармонично интегрированы в единую структуру.

Таким образом, актуальный подход к управлению качеством инвестиционно-строительных проектов высотных сооружений предполагает внедрение комплекса инженерно-технических и информационных решений. Достижение необходимого уровня качества возможно только при формировании единой системы контроля и регулирования на основе современных программных комплексов. При этом возрастает значимость компетенции специалистов, способных результативно использовать эти инструменты и принимать нестандартные решения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цыпкин Ю.А., Кудряшов Ю.Н. Новые информационные технологии для рынка объектов недвижимого имущества // Правовое регулирование сбалансированного развития территорий. М.: Московский государственный университет геодезии и картографии, 2018. С. 315-319.
2. Киевский Л.В. От организации строительства к организации инвестиционных процессов в строительстве // «Развитие города»: сб. науч. тр. 2006-2014 гг. М.: СвР-АРГУС, 2014. С. 205-221.
3. Киевский Л.В., Шульженко С.Н., Волков А.А. Инвестиционная политика заказчика-застройщика на этапе организационной подготовки сосредоточенного строительства // Вестник МГСУ. 2016. Вып. 3. С. 111-121.
4. Тихомиров С.А., Киевский Л.В., Кулешова Э.И. и др. Моделирование градостроительного процесса. Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 9. С. 51-55.
5. Шульженко С.Н., Киевский Л.В., Волков А.А. Совершенствование методики оценки уровня организационной подготовки территорий сосредоточенного строительства // Вестник МГСУ. 2016. Вып. 3. С. 135-143.

**Погореленко К.А., Евдокимов А.Ю.**

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **СТАНОВЛЕНИЕ ИДЕИ ЖИЛЫХ КВАРТАЛОВ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКЕ СССР 1930-х ГОДОВ**

К концу 1950-х годов в советском градостроительстве окончательно утвердилась концепция микрорайона. Принцип, согласно которому городские жилые территории должны быть последовательно разделены на районы и микрорайоны, а микрорайон рассматриваться как основная единица организации жилой застройки, был закреплён в строительных нормах и правилах, утверждённых в 1958 году. Именно тогда в официальных документах было зафиксировано, что планирование и застройка городов должны опираться на структуру микрорайонов, что стало важнейшим этапом в развитии советской градостроительной мысли.

С конца 1950-х — начала 1960-х годов в советских городах началась практическая реализация микрорайонной застройки. В этот период микрорайонное проектирование становится не только предметом практики, но и объектом теоретического анализа. Однако, несмотря на значимость этого процесса, история формирования концепции микрорайона в советском градостроительстве до сих пор остаётся недостаточно изученной. Единственной работой, специально посвящённой этому вопросу, остаётся статья Ю.Л. Косенковой, в которой впервые были рассмотрены этапы становления понятия «микрорайон» в СССР, а также его связь с западными градостроительными теориями и практиками. В этой статье также подчёркивается, что истоки советской концепции микрорайона уходят в поиски и эксперименты 1930-х годов, хотя этот ранний этап до сих пор остаётся малоизученным. Между тем именно в 1930-е годы были сформулированы ключевые положения, которые впоследствии легли в основу нормативных документов и практики проектирования.

Идея микрорайона, или «соседской единицы», была впервые предложена в США Кларенсом Перри в 1924 году. Его концепция была реализована при планировании районов Нью-Йорка в 1928–1929 годах. Основные принципы включали в себя чёткое разделение улиц, отказ от сквозного движения транспорта внутри микрорайона, наличие открытых пространств для отдыха и общения, а также размещение школы в качестве центра микрорайона. В структуре микрорайона

предусматривались магазины и учреждения сферы услуг, рассчитанные на жителей данной территории. Перри считал, что такая организация способствует формированию устойчивых социальных связей, предотвращает отчуждение и способствует развитию местного патриотизма. Все эти идеи были детально проработаны и в Великобритании, где их развивали такие специалисты, как Томас Адамс и Патрик Аберкромби, как в теории, так и на практике, при разработке планов районной планировки Лондона.

Советские архитекторы и градостроители были хорошо осведомлены о западных тенденциях, однако формирование советской концепции микрорайона шло своим путём — через разработку принципов «социалистического» города. Крупнейшими центрами исследований и внедрения новых идей были проектные институты — Гипрогор, Гипроград,

В 1930-х годах понятие «жилой микрорайон» использовалось как синоним «группы кварталов» или «жилого подрайона» и разрабатывалось в Ленинградском научно-исследовательском институте коммунального хозяйства, что отражено в работах Ю. Г. Круглякова. В его исследованиях структура жилой зоны включала: жилой район, жилой подрайон (или микрорайон) и квартал. Уже к концу 1930-х годов микрорайон рассматривался как часть жилого района или группа кварталов и был предметом научных исследований. Центральный институт коммунальной санитарии и гигиены Наркомздрава РСФСР изучал размеры микрорайонов, организацию пешеходного движения, оптимальное размещение учреждений и зелёных насаждений. Преимущества микрорайонного проектирования обосновывались эффективной организацией жилой территории, позволяющей повысить плотность застройки без ущерба для гигиены и эстетики.

К концу 1930-х годов появились и примеры практической реализации — например, проект Юго-Западного района Москвы, где жилая застройка предполагалась в виде микрорайонов, объединяющих несколько кварталов, с учётом архитектурно-планировочных принципов, экономической эффективности и санитарно-гигиенических преимуществ. В этот период в Институте градостроительства Академии архитектуры СССР разрабатывалась крупная тема «Принципы планировки и застройки Юго-Западного района Москвы», где микрорайон рассматривался как базовая единица жилой структуры.

Для анализа становления концепции микрорайона важно учитывать, что терминология 1930-х годов была противоречивой: одни и те же элементы назывались по-разному, а понятия имели разное

значение у разных авторов. На низовом уровне структуры жилой части города в 1920–1930-х годах использовалось понятие «жилой квартал», который отличался от «капиталистического» и рассматривался как единый социально-бытовой организм. Важно было то, что «социалистический» квартал получил двойную характеристику — планировочную и социальную. Официальное определение квартала было закреплено в Инструкции НККХ РСФСР 1933 года, где квартал рассматривался как единый комплекс с развитой системой обслуживания и функциональным зонированием. Концепция ступенчатой системы обслуживания стала одной из основ будущей идеи микрорайона.

В советской историографии принято считать, что основы построения сетей обслуживания были заложены ещё до войны, а принцип ступенчатой организации был разработан в 1950-е годы, что и привело к появлению понятия «микрорайон». В этот период в градостроительной практике окончательно закрепился отказ от сквозного движения транспорта через жилые кварталы, что было заимствовано из американской концепции «neighborhood unit» К. А. Перри. В то же время советская модель микрорайона отличалась более чёткой социальной направленностью: микрорайон рассматривался не только как планировочная, но и как социальная единица, где школа, магазины, учреждения обслуживания и зелёные зоны формировали единую среду для жизни и общения жителей.

Таким образом, формирование советской концепции микрорайона было сложным и многоступенчатым процессом, в котором переплелись западные теории и отечественные поиски. Уже в 1930-е годы в СССР были заложены основы комплексного подхода к планировке жилых территорий, который предусматривал не только рациональное размещение зданий и инфраструктуры, но и создание условий для формирования устойчивых социальных связей. В 1950-е годы эти идеи были закреплены в нормативных документах и реализованы в массовом строительстве, что определило облик советских городов на многие десятилетия вперёд.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила и нормы планировки и застройки городов. СН 41-58. – Москва : Госстройиздат, 1959.
2. Косенкова, Ю.Л. Конкурс на составление экспериментальных проектов жилого микрорайона советского города / Ю.Л. Косенкова. //Архитектурное наследство. – 1996. – Вып. 40. – С. 177–184.

3. Адамс, Т. Новейшие достижения в планировке городов / Т. Адамс. – Москва : Всесоюзная академия архитектуры, 1935. – 118 с.
4. Эйнгорн, А.Л. Методика микрорайонирования территории городов / А.Л. Эйгорн. // Проектирование социалистических городов. – 1937. – Вып. 6-7. – С. 34–36.
5. Эйнгорн, А.Л. Социалистическая реконструкция Харькова / А.Л. Эйгорн. // Социалистический город. – 1935. – № 10-11. – С. 10–17. 6. Кругляков, Ю.Г. Реконструкция жилых кварталов / Ю.Г. Кругляков. – Ленинград–Москва : Стандартизация и рационализация, 1933.
7. Бродович, Н.С. Вопросы рационализации планировки жилых зданий и кварталов / Н.С. Бродович, Ю.Г. Кругляков. – Ленинград : ЛНИИКХ, 1937.
8. Зеленко, А.У. Современная планировка и проектирование жилых кварталов в области санитарно-гигиенической, культурно-бытовой и архитектурной / А.У. Зеленко. // Материалы конференции по вопросу о жилом квартале. 20–22 декабря 1936 г. – Москва : Государственный центральный научно-исследовательский институт коммунальной санитарии и гигиены, 1936. – С. 92–113.
9. Баронян, В.М. Правильно ли мы подходим к планировке наших городов / В.М. Баронян. // Социалистический город. – 1937. – № 2. – С. 25–30.
10. Симонов, Г.А. Планировка жилых кварталов / Г.А. Симонов. // Архитектура Ленинграда. – 1938 – № 2. – С. 36–38.
11. Старostenко, Ю.Д. Поиски принципов проектирования нового Юго-западного района Москвы в 1935–1941 годах (по материалам Института градостроительства Академии архитектуры СССР) / Ю.Д. Старostenко. // Academia. Архитектура и строительство. – 2022. – № 2. – С. 47–58.
12. Гольденберг, П.И. Проблема жилого квартала / П.И. Гольденберг, В.И. Долганов. – Москва–Ленинград : Техника управления, 1931. – 96 с.
13. Галактионов, А. Жилой квартал. Организация, нормы и условия планировки / А. Галактионов, Д. Соболев. Москва : Госстройиздат, 1934. – 108 с. – Текст : непосредственный.
14. Блохин, П.Н. Типизация жилищ и общественных зданий при планировке населённых мест. Практика работ Союзстандартжилстроя 1932 г. / П.Н. Блохин. – Москва–Ленинград : Госстройиздат, 1933. – 64 с.

**УДК 621.926**

**Чесноков И.А.**

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОТКАЗА И ПОТЕРИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДРОБИЛЬНО- ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Дробильно-измельчительное оборудование играет ключевую роль в технологических процессах многих отраслей промышленности, включая горнорудное производство, строительство и переработку отходов. От надежности и бесперебойной работы такого оборудования зависит производительность всего предприятия, качество выпускаемой продукции и уровень безопасности труда персонала.

Однако практика показывает, что доля отказов и поломок данной группы механизмов остается высокой, что влечет значительные экономические издержки, такие как простой оборудования, дополнительные затраты на ремонт и замену комплектующих, снижение качества сырья и конечной продукции [1].

Актуальность исследования причин выхода из строя дробильного и измельчающего оборудования обусловлена необходимостью разработки эффективных профилактических мер и стратегий поддержания работоспособности техники. Это требует детального анализа факторов риска, выявления слабых мест конструкций и материалов, определения критичных условий эксплуатации и выработки рекомендаций по совершенствованию конструктивных решений, организации ремонтных работ и сервисного сопровождения.

– Физико-механические повреждения и износ компонентов.

Разрушение клиньев и щёк щековой дробилки. Клины подвергаются постоянным ударам и высоким нагрузкам, следствием чего становится появление трещин, сколов и деформация металла. Повреждения возникают также из-за попадания посторонних предметов или неправильной регулировкой положения щёк [2].

Абразивный износ валков валковой дробилки. Постоянное трение и давление вызывают быстрый износ поверхности валков, особенно при обработке твердых и абразивных материалов.

Деформации и поломки лопаток ротора роторной дробилки. Высокая скорость вращения и постоянные механические нагрузки способствуют образованию усталостных повреждений, деформациям лопаток и выходу из строя подшипников вала.

Разрушение шаров и футеровки в шаровых мельницах. Частые удары тяжёлых шаров о стенки и другие шары ведут к разрушению поверхностного слоя футеровки и самих шаров, сокращая срок их службы.

Коррозионное повреждение металлоконструкций. Воздействие агрессивных сред, влаги и химически активных веществ вызывает коррозию металлических деталей, снижая прочность и герметичность соединений.

– Неправильная эксплуатация и человеческий фактор.

Нередко причиной неисправности служит неправильное использование оборудования персоналом. Нарушения инструкций по обслуживанию: Недостаточные знания сотрудников о правилах эксплуатации и ухода за оборудованием часто становятся источником ошибок, приводящих к авариям и преждевременному износу оборудования [3].

Недостаточный контроль уровня смазки. Отсутствие регулярной проверки масла и смазочного материала ведёт к перегреву трущихся пар и быстрому износу подшипников и шестерён.

Неправильный подбор режима работы. Эксплуатация оборудования с превышением допустимых нагрузок или длительным режимом работы без перерывов значительно снижает ресурс машины и увеличивает вероятность её внезапного выхода из строя.

Несоблюдение требований по очистке. Накопление загрязнений и остатков материала затрудняет нормальную работу оборудования, повышает нагрузку на двигатель и способствует возникновению аварийных ситуаций [4].

– Проблемы конструкционного характера.

Некоторые случаи отказов связаны непосредственно с недостатками самой конструкции оборудования. Недостаточно прочные соединения: Низкая прочность болтового крепления, некачественная сборка и применение неподходящих крепежных элементов приводят к ослаблению узлов и преждевременному повреждению [5].

Заводские дефекты. Производственный брак в виде неправильно установленных подшипников, микротрещин, неравномерности литья негативно влияет на работоспособность агрегата.

Ошибки проектирования. Неверно выбранные материалы, чрезмерные допуски на размеры, неверные расчёты усилий снижают сроки эксплуатации оборудования и повышают риск аварийных ситуаций.

– Электромеханические неисправности.

**Повреждение обмоток двигателя.** Замыкания, пробои изоляции, попадание воды или мусора внутрь двигателей вызывают нагрев, искрение и дальнейшие поломки [6].

**Проблемы с электроавтоматикой.** Неисправности датчиков, реле, переключателей нарушают автоматику защиты и блокировок, приводя к нарушениям нормального цикла работы оборудования.

**Ухудшение контакта электропроводки.** Ослабление контактов, окисление проводов и плохой контакт с клеммами увеличивают сопротивление цепи и создают условия для нагрева и короткого замыкания.

**Диагностика технического состояния оборудования** необходима для своевременного обнаружения признаков старения, предвидения потенциальных неисправностей и минимизации рисков дорогостоящих аварийных ситуаций. Современные методики и приборы позволяют комплексно оценить состояние технических систем и своевременно принять необходимые решения по ремонту и замене вышедших из строя компонентов [7,8].

Методы диагностики делятся на две укрупненные категории:

**Инвазивные методы:** предполагают разборку оборудования для визуального осмотра и инструментального замера физических величин (измерение линейных размеров, выявление дефектов).

**Невизуальные (неинвазивные) методы:** проводятся без демонтажа оборудования и основаны на измерении косвенных параметров, отражающих физическое состояние объектов (анализ виброакустики, термографии, спектрального состава излучения) [9].

Наиболее востребованными методами диагностики являются:

**Акусто-вibrationный анализ:** регистрация колебаний механических систем и последующий анализ спектра частот позволяет обнаруживать скрытые дефекты (дефекты подшипников, дисбаланс валов, зарождающиеся трещины). Метод эффективен для раннего предупреждения нарушений, вызванных износом или нарушением геометрии деталей.

**Термография:** фиксирует тепловые поля объекта, выделяемые в процессе работы, и визуально отображает их на тепловизорах. Этот способ полезен для обнаружения участков перегрева, некорректной работы гидравлических насосов, дефектов теплоизоляции и электрических сетей.

**Газоанализаторы:** определяют состав газов, выбрасываемых двигателем или реактором, что позволяет установить отклонения от нормы и возможные очаги горения, утечки топлива, загрязнение фильтров.

Анализ магнитных полей: проводится путем регистрации изменений магнитного поля вблизи объектов. Применяется для выявления дефектов в ферромагнитных материалах, локализуя места внутренних разрывов и трещин.

Спектральный анализ вибрации: измеряет спектр амплитуд колебаний и определяет наличие гармоник, связанных с дефектами (резонансные частоты, аномалии в работе подшипников и опорных подшипников).

Гидродинамика и акустика потока жидкостей: исследует структуру потоков жидкостей, проходящих через каналы трубопроводов, компрессоры и турбины, определяя точки эрозии, образования воздушных пузырьков и другие явления, влияющие на целостность оборудования.

Электронные датчики и средства телеметрии: устанавливаются на оборудовании и непрерывно передают данные о температуре, влажности, уровне вибраций, параметрах напряжения и тока. Позволяют вести мониторинг удаленно и предупреждать оператора о возникновении отклонений от заданных нормативов.

Развитие новых подходов и инновационных технологий открывает новые возможности для улучшения диагностики, включая широкое внедрение интеллектуальных систем мониторинга, аналитических платформ на основе баз данных и автоматизированных систем мониторинга технического состояния, способных проводить инспекционные мероприятия в труднодоступных местах и в условиях повышенной опасности.

Шаги по минимизации отказов и повышению работоспособности оборудования:

- Проведение регулярных осмотров и профилактических ремонтов, внедрение периодического контроля всех важных узлов и агрегатов.

- Организация систематического обучения и повышения квалификации персонала, обучение правилам эксплуатации и соблюдению регламента ТО.

- Создание баз данных статистики отказов и выработка рекомендаций по выбору оптимального режима работы и способов восстановления оборудования.

- Усовершенствование методов диагностики, внедрение автоматизированных систем мониторинга состояния оборудования, дистанционное отслеживание его работоспособности.

- Выбор надежных поставщиков запасных частей и расходных материалов, строгий контроль соответствия стандартам качества.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология машинострения : В 2-х частях / И. В. Шрубченко, Т. А. Дуюн, А. А. Погонин [и др.]. Том Часть 2. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2013. – 358 с. – EDN SDAQJN.
2. Соколов С.А., Федоров А.Н. Особенности диагностики неисправностей дробильно-помольных комплексов на предприятиях строительной индустрии // Труды международной научно-технической конференции «Современные технологии строительства и реконструкции зданий», Белгород, 2020 г. — С. 215–222.
3. Дуюн, Т. А. Разработка технологических процессов : учебное пособие для студентов специальности 171600 - Механическое оборудование и технологические комплексы предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / Т. А. Дуюн ; Т. А. Дуюн ; Федеральное агентство по образованию, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. – Белгород : Белгородский гос. технологический ун-т (БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2007. – 140 с. – EDN QNBXBP.
4. Курочкин А.А., Чернышов В.В. Проблемы и пути повышения надёжности дробильно-измельчительного оборудования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2019. — № 3. — С. 11–18.
5. Карпов А.В., Лукьянова О.Н. Причины выхода из строя измельчительных агрегатов. // Горное оборудование и электромеханика. — 2019. — № 4. — С. 23–28.
6. Сергеев Е.С., Тимофеев Л.П. Анализ отказов дробильного оборудования горных предприятий. — СПб.: Политехника-сервис, 2017. — 210 с.
7. Виноградов С.Г. Диагностика и профилактика износа дробилок в условиях интенсивной эксплуатации. // Известия вузов. Горный журнал. — 2018. — № 3. — С. 112–119.
8. Жигулёв Б.М., Серёгин Т.Д. Методы повышения надежности дробильно-размольного оборудования. Учебник для вузов. — Екатеринбург: УрФУ, 2016. — 320 с.
9. Захаров Н.К., Никитин А.Е. Современные методы восстановления работоспособности изношенных деталей дробильных установок. // Научные труды университета «Горный». — 2020. — № 2. — С. 45–52.

Шаталов И.С., Миненкова А.А., Лобанов Д.В.

Научный руководитель: Латышев С.С., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ «ZOO.DEV» ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ 3D МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Инженерное дело как область деятельности человека, отличается стремлением к оптимизации, точности и эффективности, постоянно эволюционирует, предлагая новые способы решения сложных задач.

Одним из важных аспектов этой деятельности является геометрическая подготовка, позволяющая инженерам генерировать модели объектов и конструкторскую документацию для их создания. [6]

В настоящее время, одним из наиболее перспективных инструментов, способных внести существенный вклад в развитие, является использование нейронных сетей.

Нейронная сеть – это алгоритмическая структура, предназначенная для имитации способа обработки информации человеческим мозгом. Она состоит из множества взаимосвязанных “нейронов” (вычислительных единиц), которые организуются в слои. Каждый нейрон принимает входные данные, обрабатывает их, используя функцию активации, и передает выходные данные другим нейронам. Сила связи между нейронами определяется весами, которые корректируются в процессе обучения на основе входных данных и желаемых результатов [7].

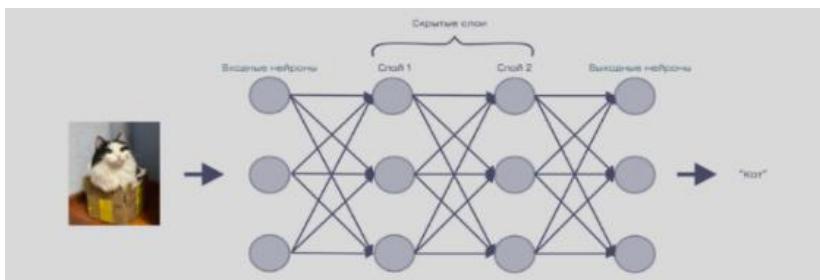


Рис. 1. Схема работы нейронных сетей

В данной статье рассмотрены возможности работы нейросетей в области создания 3D моделей поверхностей, на примере программы «Zoo Design Studio» [5].

Выбранный программный продукт разрабатывает компания «Zoo», которая создает платформу для будущего проектирования и производства. В данной платформе есть возможности для создания 3D моделей путем текстового запроса (генеративное проектирование), задания программного кода (скриптовое проектирование). Помимо этого, реализована возможность проектирования классическим способом, путем создания эскизов и выполнения команд твердотельного моделирования.

Одним из недостатков данной программы, является работа исключительно на английском языке, что требует дополнительных затрат времени на формирование запроса. При этом надо учитывать, что для построения корректной модели надо прописывать все нюансы геометрии. Как правило формирование конечной модели происходит за несколько итераций с последовательным уточнением параметров.

Проверка простой геометрии на примере куба, цилиндра и конуса показала, что нейронная сеть создает полностью достоверную геометрию

В качестве примера более сложной геометрии было выбрано зубчатое колесо с параметрами: модулем 6, количеством зубьев 36, шириной 30 мм, делительным диаметром 216 мм, исходный контур по ГОСТ 13755-2015, без отверстия под вал.

На рисунке 2 представлен запрос на английском языке: «Gear wheel with 36 teeth, 30 mm wide, 216 mm dividing diameter, modulus 6, initial contour according to GOST 13755-2015, without shaft hole.», и результат построения в программе «ZOO.DEV».

Среднее время ожидания создания геометрии не превышает 30 секунд, поскольку обработка запроса происходит на серверах платформы. Это позволяет использовать данную нейронную сеть на любых персональных компьютерах.

Слева на рисунке 2 представлены окно создания модели и готовая модель в интерфейсе программы, справа представлена зубчатое колесо, созданное в CAD программе «Компас 3D».

В программе «ZOO.DEV» реализована возможность скачать построенную модель в различных форматах. Дальнейший анализ модели осуществлялся в формате \*step, в приложении Компас 3D.

Для проверки корректности полученной модели, было создано аналогичное зубчатое колесо в программы «Компас 3D» [4].

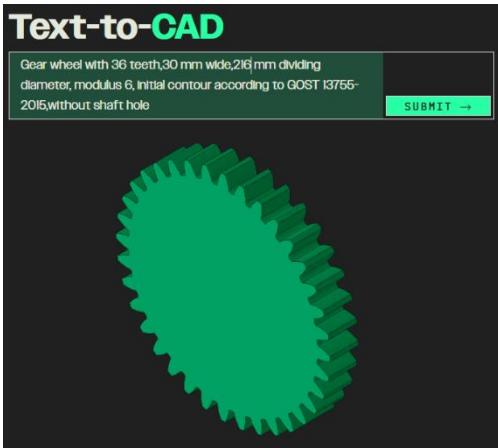


Рис. 2. Окно создания запроса нейронной сети, полученная геометрия и зубчатое колесо, созданное в Компас 3Д

На рисунке 4 показан результат наложения чертежей полученных зубчатых колес: синяя линия – контур зубчатого колеса созданной нейронной сетью, черная линия – контур зубчатого колеса созданной в программе «Компас 3Д» [3].

Проведенный визуальный анализ показал, что модели практически идентичны.

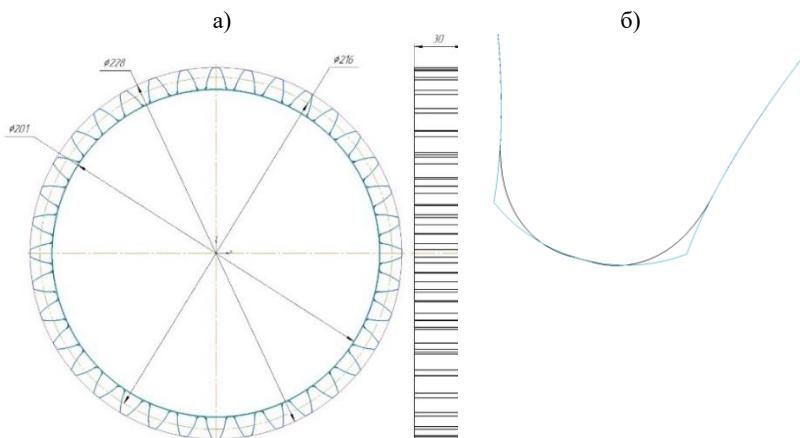


Рис. 3. Сравнение зубчатых колес, полученных в программах в Компас 3Д и ZOO.DEV со справочными данными

Проверка геометрических характеристик полученных колес показала, что все параметры соответствует справочным значениям:

- диаметр выступов зубьев (фиолетовая линия)

$$d_a = m(z + 2) = 6(36 + 2) = 228\text{мм}, \quad (1)$$

где  $m$  - модуль зацепления;  $z$  - количество зубьев;

- диаметр впадин зубьев (утолщенная зеленая линия)

$$d_f = m(z - 2,5) = 6(36 - 2,5) = 201\text{мм}; \quad (2)$$

- делительный диаметр (оранжевая осевая линия)

$$d = mz = 6 * 36 = 216\text{мм}; \quad (3)$$

- ширину зубчатого колеса 30мм;

- эвольвенты зуба полностью совпадают.

При создании модели нейронная сеть допустила грубую ошибку (Рис. 4б): не создано скругление у основания зуба, которое нормируется ГОСТ 13755-2015 (Рис. 5).

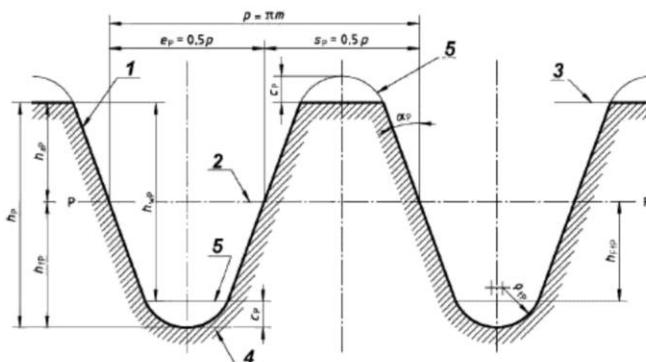


Рис. 5. Выдержка из ГОСТ 13755-2015

Отсутствие данного скругления создает концентратор напряжения в зубчатом колесе, что в перспективе может привести к разрушению зубчатого колеса.

Полученный опыт создания 3D моделей позволяет сделать вывод, что нейронные сети такие как «Zoo Design Studio» разрабатываемые для инженерного проектирования, пока не способны обеспечить достаточную точность и надежность, для построения 3D моделей сложной геометрии. На данном этапе развития они могут быть полезны для начальных стадий прототипирования, созданий концепций изделия.

Учитывая высокие темпы обучения и совершенствования нейронных сетей, возможно, что в будущем их использование займет более значимое место среди инструментов для проектирования.

Важным моментом подготовки инженера является не только изучение возможностей нейронных сетей, но и получение базового образования, позволяющего контролировать полученный результат и выполнять часть работы самостоятельно.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 13755-2015. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Исходные контуры: дата введения 2017-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 15 с.
2. Методические указания по проектированию зубчатого зацепления / Т.Ф. Соловьева, И.В. Костюк, С.В. Зубова. – М.: МАДИ, 2017. – 32 с.
3. Анна Весельева Видеоуроки Компас 3D V18 Зубчатое колесо (учебный чертеж) / Анна Весельева [Электронный ресурс] // VK Видео: [сайт]. – URL: <https://vkvideo.ru> (дата обращения: 15.05.2025).
4. Креативная механика Зубчатое колесо в Компас 3D / Креативная механика [Электронный ресурс] // Дзен: [сайт]. URL:<https://dzen.ru> (дата обращения: 15.05.2025).
5. [Электронный ресурс] // Design Studio | Zoo: [сайт]. URL: <https://zoo.dev> (дата обращения: 15.05.2025).
6. Латышев, С.С. ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ НА ФОРМИРОВАНИИ КОМПЕТЕНЦИЙ У СТУДЕНТОВ / С.С. Латышев, Л.П. Чуева // Молодежь и научно-технический прогресс. Сборник докладов VIII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 4-х томах. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 129-131.
7. Как устроена нейронная сеть и зачем ей слои // Arcsinus: [сайт]. – URL: <https://www.arcinus.ru> (дата обращения: 26.05.2025)

**УДК 658**

**Ятковский А.П.**

*Научный руководитель: Дуганова Е.В., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ПРИМЕНЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ AR В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

Термин «Индустрія 4.0» закрепился в научном и промышленном дискурсе после начала инициативы, запущенной в Германии в 2011 году

с участием ведущих представителей бизнеса, политической элиты и научного сообщества. Главной целью, определённой в рамках этой инициативы, стала максимизация конкурентных преимуществ промышленных предприятий посредством интеграции киберфизических систем в ткань производственных операций. Концепция киберфизической системы подразумевает глубокое внедрение вычислительных процессов в разнообразные материальные объекты, вне зависимости от их природы, будь то искусственно созданные или биологические структуры [1].

Динамика развития индустрии 4.0 базируется на быстром прогрессе целого ряда ключевых областей: передовые решения в анализе больших данных, внедрение распределённых реестров, автоматизация на базе автономных роботов, технологии интернета вещей, инновационные методы трёхмерной печати, развитие печатной микроЗЛектроники, а также создание и распространение платформ виртуальной и дополненной реальности. Подстёгивают движение к новой промышленной эпохе тенденции к ресурсной оптимизации совместно с очевидным воздействием на повышение стандартов и комфорта жизни. Процесс автоматизации становится доминирующим трендом, ведя человечество к эпохе, где полноценный переход функций от человека к интеллектуальным автоматизированным системам становится фактически неизбежным, а эффективность этих решений становится определяющим фактором лидерства.

Информационные платформы способствуют радикальному улучшению управления производством и вспомогательными операциями, успешно справляясь с широким спектром задач, ранее выполняемых человеком. Различие уровня современных производств демонстрирует, насколько важно использование высокотехнологичных подходов, особенно в компаниях, применяющих инновационные решения индустрии 4.0.

Примером отечественной компании, реализующей полный цикл высокотехничного инжиниринга и выпуска сложных промышленных систем для разных отраслей, выступает АО «ОКБ Зенит». Анализ каждой стадии производственных процессов внутри организации отображает целый массив задач, для которых использование современных информационно-технологических инструментов может обеспечить заметное увеличение отдачи имеющихся ресурсов. Среди приоритетных направлений модернизации выделяется проект по интеграции механизмов дополненной реальности непосредственно в производственные сценарии.

Дополненная реальность представляет собой технологию наложения компьютерно-генерируемых элементов — будь то графика, текстовые пояснения, звуковые сигналы или иные визуальные и аудиовизуальные компоненты — на реально окружающее пространство, причём это происходит синхронно с восприятием пользователем событий. Важно чётко разграничивать AR и VR: если первая встраивает цифровые вставки в физическую реальность, воздействуя на пространство и расширяя привычное восприятие, вторая полностью формирует самостоятельную искусственную среду, изолируя пользователя от настоящего мира и обеспечивая полное погружение в смоделированную действительность [2].

С применением технологий дополненной реальности процессы сборки и монтажа изделий приобретают принципиально новый формат: использование цифровых 3-мерных схем, доступных через мобильные устройства, заменяет традиционные бумажные носители и предоставляет возможность специалистам в режиме реального времени визуализировать все этапы монтажа в виде пространственных проекций. При этом каждый элемент, попадающий в фокус устройства, снабжен интерактивной инструкцией, значительно упрощающей понимание его назначения и функционирования. Дополнительная опция виртуального тестирования собранной продукции позволяет оперативно выявлять скрытые конструкторские изъяны, что было бы невозможно обнаружить на этапе бумажного проектирования [3].

В контексте сервисного обслуживания оборудования данная технология создает предпосылки для коренного изменения привычных подходов к ремонту: диагностика неисправностей и выполнение сложных регламентных процедур существенно ускоряются благодаря визуализации последовательности действий через AR-интерфейс. Это минимизирует риск ошибок, возникающих вследствие человеческого фактора, и оптимизирует временные затраты, таким образом обеспечивая значительный прирост надежности производства и снижение стоимости восстановительных работ.

Для внедрения указанных инноваций требуются специализированные устройства, среди которых «Epson Moverio BT-200» (Япония) демонстрирует наиболее сбалансированные характеристики: разрешающая способность 960x540 Px, 23-градусный угол обзора, вес всего 88 г и емкость аккумулятора 2720 мАч. Средняя цена такого устройства на российском рынке составляет 47,9 тысячи рублей.

Запланированный инвестиционный объем на мероприятия определяется в 1,721 млн рублей — по 860,5 тыс. рублей на каждое

направление. В эту сумму включены расходы на приобретение оборудования AR-класса, разработку необходимого софта, логистические услуги и обучение сотрудников работе с новыми технологиями. Экономическая отдача выражается в оптимизации фонда оплаты труда посредством автоматизации и сокращения численности персонала. При заданном горизонте инвестиций от одного до трех лет (в зависимости от направления) и дисконтной ставке, установленной на уровне 17%, срок окупаемости для процессов сборки и монтажа достигает одного года; для ремонтных мероприятий этот показатель составляет два года. Представленные показатели свидетельствуют о высокой целесообразности и эффективности реализации предложенных инноваций [4].

Ожидаемые результаты интеграции AR-технологии на производственном предприятии включают: существенное ускорение возврата инвестиций; рост производительности труда до 34%; уменьшение вероятности технологических ошибок инженерно-технического персонала на 5–10%; быстрое сокращение производственных простоев и многократное (от двух до десяти раз) увеличение скорости реагирования сервисных бригад на внеплановые поломки; уменьшение зависимости от квалификации отдельных сотрудников; а также снижение командировочных расходов на величину от 15 до 20 процентов [5].

Современные компании все чаще воспринимают внедрение AR-технологий как стратегически важный инструмент для оптимизации бизнес-процессов, выводя область применения таких решений далеко за рамки индустрии развлечений. По прогнозам Digi-Capital, глобальный рынок дополненной реальности к 2020 году был оценен в сумме, приближающейся к 90 миллиардам долларов США.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуганова Е.В., Загородний Н.А., Кравченко А.А., Щетинин Н.А. Производственно-техническая инфраструктура предприятий автомобильного транспорта. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. 123 с
2. Хисамутдинов М. В. Расширенный интерфейс человек-робот с дополненной реальностью / М. В. Хисамутдинов, Я. С. Коровин, Д. Я. Иванов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2019. - № 9. - С. 113-120.
3. Тесленко И. Б. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ КОМПАНИЕЙ / Д. В. Виноградов, А. М. Губернаторов, В. Е. Крылов, И. Ю. Куликова, Н. В.

Муравьева, Н. О. Субботина // Владимир: Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 2018 — 116 с.

4. Базров, Б.М. Основы технологии машиностроения: Уч. / Б.М. Базров. // М.: Инфра-М, 2019. - 492 с.

5. Киберфизическая система / [Электронный ресурс] // Cruer : [сайт]. — URL: <http://www.cruer.com/max7612/> (дата обращения: 26.05.2025).

## **Оглавление**

Вдовина Ю.Н.

ГИБРИДНАЯ СВАРКА ..... 3

Воронков И.Е., Воротынцев Д.Д.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛА  
ТОКАРНОГО СТАНКА В СПЕЦИАЛЬНОМ ПРОГРАММНОМ  
МОДУЛЕ..... 7

Воронков И.Е., Баранов Д.С., Минасова В.Е.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ ОБРАБОТКИ ФАСОННЫХ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ..... 12

Гусейнова Д.Ф.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СБОРКИ КОРПУСНЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ СУДОВ: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ..... 17

Довыденко И.С., Воронков И.Е.

РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРИЗОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ  
ЭЛЕМЕНТОВ УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ  
..... 21

Дуюн И.А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ  
БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИМУЛЯЦИОННОЙ СРЕДЫ..... 26

Жердев А.Д., Долгополова А.С., Прокопова П.С.

ПОДХОДЫ ПОСТРОЕНИЙ ЧЕРТЕЖЕЙ В САПР КОМПАС-3Д.. 31

Каблучко И.П.

РОЛЬ РОБОТОВ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 35

Канищев Д.В.

СВАРКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ ..... 39

Коростелёв П.П.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ Т7 С ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ (НА ПРИМЕРЕ ТРАКТОРА «КИРОВЕЦ» СЕРИИ К-7М) .....	44
Куртякова Р.Н.	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ: АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТОВ И ИМПЕРАТИВЫ .....	49
Лобанов Д.В., Миненкова А.А., Шаталов И.С.	
КАПЛЯ, ОСОБЕННОСТИ ЕЕ ГЕОМЕТРИИ.....	54
Лукьянов А.С.	
ВЛИЯНИЕ РАЗДЕЛКИ КРОМОК НА КАЧЕСТВО СВАРНОГО ШВА .....	59
Лучников Д.В., Чуев К.В., Третьякова Е.Ю.	
ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ БОРТОВОГО КОЛЬЦА ИЗ ШИНЫ .....	64
Лучников Д.В., Чуев К.В., Горохов П.С.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ДЛЯ РАЗРЫВА БОРТА ПОКРЫШКИ И НАЧАЛА ИЗВЛЕЧЕНИЯ БК .....	68
Лучников Д.В. Чуев К.В., Третьякова Е.Ю.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПО НЕРАЗРЫВУ БОРТОВОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН..	73
Лучников Д.В. Чуев К.В., Третьякова Е.Ю.	
ИМИТАЦИОННОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ БОРТОВОГО КОЛЬЦА ИЗ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШИН.....	77
Лучников Д.В. Чуев К.В., Третьякова Е.Ю.	
РАЗРАБОТКА САЕ-СИМУЛЯЦИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРОВОЛОКИ БОРТОВОГО КОЛЬЦА В ПРОЦЕССЕ УТИЛИЗАЦИИ ШИНЫ .....	81
Марченко В.А.	

УМНЫЕ ДОРОГИ: ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ V2X НА БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ .....	85
Миненкова А.А., Шаталов И.С., Лобанов Д.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ЦИЛИНДРА И КОНУСА НА ФОРМУ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ .	89
Михальчук А.А.	
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТОПЛЕНИЯ .....	93
Исса Ю.М., Науменко В.В., Калашник И.А., Верьянко И.Ю., Дятлов Н.И.	
АНАЛИЗ СМЕСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ .....	98
Исса Ю.М., Науменко В.В., Калашник И.А., Алешкин К.К., Токмаков А.С.	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАВОДОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ .....	101
Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Атласюк В.А. Чернолихов И.А.	
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ДЕЗИНТЕГРАТОРОВ .....	105
Пашков Г.А., Погореленко К.А.	
ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО НАДЗОРА ЗА СТРОИТЕЛЬНЫМИ РАБОТАМИ .....	111
Писаренко А.С.	
УПРАВЛЕНИЕ ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БЛА) В СИМУЛЯЦИОННОЙ СРЕДЕ .....	115
Плетнёв В.А.	
АВТОМОБИЛЬНЫЕ ШИНЫ .....	119
Погореленко К.А., Пашков Г.А.	

ХАРАКТЕРНЫЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И СООРУЖЕНИИ ВЫСОТНЫХ ОБЪЕКТОВ .....	123
Погореленко К.А., Евдокимов А.Ю.	
СТАНОВЛЕНИЕ ИДЕИ ЖИЛЫХ КВАРТАЛОВ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРАКТИКЕ СССР 1930-х ГОДОВ.....	128
Чесноков И.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОТКАЗА И ПОТЕРИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	132
Шаталов И.С., Миненкова А.А., Лобанов Д.В.	
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ «ZOO.DEV» ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ 3D МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ.....	137
Ятковский А.П.	
ПРИМЕНЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ AR В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ .....	141