

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ярославский государственный технический университет»

СОВРЕМЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ДОСТИЖЕНИЯ

I Международная молодёжная научно-техническая конференция

28 ноября 2024 г. Ярославль

Сборник материалов

Электронное издание

Ярославль
Издательство ЯГТУ
2025

ISBN 978-5-9914-1077-9

© Ярославский государственный технический университет, 2025

УДК 621
ББК 34
С56

С56 Современное машиностроение: актуальные вопросы и достижения: сб. материалов I Международной молодежной науч.-техн. конф., 28 ноября 2024 г., Ярославль / под общей редакцией д-ра техн. наук, доцента В.А. Ивановой (Россия, г. Ярославль); канд. техн. наук, доцента М.А. Садоха (Беларусь, г. Минск); PhD Д.Р. Аубакиров (Казахстан, г. Караганда). – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2025. – 188 с. - 1 CD-ROM. – Системные требования: PC Pentium IV, 512 Мб ОЗУ, Microsoft Windows XP/7, Adobe Acrobat Reader, дисковод CD-ROM, мышь. – Текст: электронный.

Содержит материалов I Международной научно-практической конференции «Современное машиностроение: актуальные вопросы и достижения» по следующим направлениям: оборудование и технологии машиностроения, материаловедение в машиностроении; стандартизация, метрология, оценка соответствия и управление качеством в машиностроении; оборудование и технологии литейного производства.

Предназначен для молодых учёных и аспирантов, стремящихся к профессиональному развитию и построению карьеры в научной сфере; младших специалистов и инженеров, работающих в машиностроительной отрасли и заинтересованных в знаниях о современных технологиях и инновациях, а также преподавателей и студентов технических вузов, планирующих специализацию или проектную деятельность в сфере машиностроения.

Рецензенты: Д.М. Мордасов, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Материалы и технология» Тамбовского государственного технического университета; М.А. Полякова, д-р техн. наук, профессор кафедры технологий обработки материалов Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.

Научное издание

**СОВРЕМЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ:
АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ДОСТИЖЕНИЯ:**

**I Международная молодежная научно-техническая конференция
28 ноября 2024 г., Ярославль**

Сборник материалов

Текстовое электронное издание

Программное обеспечение:
Microsoft Office Word, Adobe Acrobat.

Программное обеспечение для воспроизведения электронного издания:
Adobe Acrobat Reader, браузеры Google Chrom, Yandex.

Редакционная коллегия: **В.А. Иванова**, д-р техн. наук, доцент, директор института инженерии и машиностроения ФГБОУ ВО ЯГТУ, РФ, г. Ярославль; **М.А. Садоха**, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой "Машины и технология литейного производства" БНТУ, РБ, г. Минск; **Д.Р. Аубакиров**, PhD, и.о. заведующего кафедрой «Нанотехнологии и металлургия» НАО «КарТУ» им. А. Сагинова, Казахстан, г. Караганда

Редактор: М.А. Канакотина

Ответственная за электронное издание: О.А. Юрасова

Пописано к размещению: 18.04.2025

Объем издания: 8,38 Мб
Тираж 50 экз.
Комплектация издания 1 CD-ROM

Ярославский государственный технический университет: 150023,
г. Ярославль, Московский пр., 88
<http://www.ystu.ru>

Контактный телефон: 8 (4852) 44-15-19

СОДЕРЖАНИЕ

Приветствие участникам конференции.....	6
---	---

Секция «ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

1. Борисовский М.Е., Секретарев С.А., Лебедев А.Е. Новые реакторы для производства технического углерода.....	7
2. Гончаренко Д.А., Шамахов Л.М. Динамический анализ элементов системы стабилизации грузовой корзины шагающего робота.....	14
3. Грызунов А.В., Верлока И.И., Капанова А.Б. Регулирующие клапаны в системе нефтепереработки: назначение и конструкции.....	21
4. Тележкина К.А., Кулебякин А.А. Устройство противоскольжения для транспортных средств.....	31
5. Тихонов Н.А., Шамахов Л.М. Проблематика перевода минитрактора на электропривод.....	39
6. Федорова Е.Д., Греков А.В. Модернизация конструкции и технологии изготовления упора для стрельбы стоя.....	45
7. Шевцова А.И., Лебедев А.Е. Распылители жидкости центрального типа.....	55
8. Щелокова А.О. Захватное устройство для перемещения тел цилиндрической формы.....	61

Секция «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

9. Ерболат Н.Е., Нарембекова А.К. Влияние титана на высокомарганцовистую сталь: анализ микроструктурных изменений.....	68
10. Жексенов Б.Д. Инновационный подход к созданию легких и прочных конструкционных материалов через лазерное сплавление порошковых слоев.....	78
11. Жумабаев М.К., Нарембекова А.К. Исследование триботехнических свойств композитов на основе MoS_2 , легированных ультрадисперсной медью.....	89
12. Маниова Ш.М., Куандык А.Ж. Проблемы и перспективы развития железорудного сырья в Казахстане.....	96
13. Мусабай А.У. Создание режимов термической и механической обработки заготовок, предназначенных для производства высокопрочных крепежных элементов.....	103
14. Софронов Г.Д. Производственный реверс-инжиниринг с применением аддитивных технологий.....	112

15. Шатилло С.Д., Калининченко В.А. Металлографические исследования структуры композиционного материала при различных временных параметрах синтеза..... 118
16. Шокин К.В., Стоянова Т.Д. Исследование причин снижения твердости азотированного слоя деталей ДВС..... 124
17. Шорохов Д.А., Тихонов Д.Н., Тюремнов А.И., Тюремнов И.С. Предварительные результаты экспериментального определения упругих и вязких характеристик амортизаторов вибрационного катка при вынужденных колебаниях..... 134

**Секция «СТАНДАРТИЗАЦИЯ. МЕТРОЛОГИЯ.
ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ
В МАШИНОСТРОЕНИИ»**

18. Махалова С.С., Казюлина Д.И. Переход к индустрии 4.0: роль смарт-стандартов в модернизации производства..... 143
19. Наурбиев М.-Х.Х. Предпосылки к адаптации робастных процедур при планировании качества земснаряда..... 148
20. Новожилов В.В., Царева С.А., Паршина С.С. Применение инновационных цифровых методов в управлении качеством.... 156
21. Осколкова А.А., Чирков А.П. О методах калибровки координатно-измерительной машины типа «Рука»..... 161
22. Смирнов П.М., Таршис М.Ю. Некоторые варианты реализации бесконтактного метода оценки однородности сыпучей смеси..... 165
23. Страхова Я.В., Иванова В.А. Цифровизация жизненного цикла стандарта организации..... 172

**Секция «ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ
ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА»**

24. Галенкина А.В., Франчук А.А. Утилизация шлаков металлургического производства..... 179
25. Дыдыка Е.В., Франчук А.А. Добыча железа из болотной руды в условиях республики Беларусь..... 182
26. Славинский А.Л., Дикун А.О. Конструирование эффективной системы воздушного охлаждения FDM/FFF 3D-принтера для производства литейных моделей..... 185

ПРИВЕТСТВИЕ УЧАСТНИКАМ КОНФЕРЕНЦИИ

Уважаемые участники научно-технической конференции, уважаемые гости, коллеги, дорогие студенты!

Я рада приветствовать Вас в Ярославском государственном техническом университете на I Международной молодежной научно-технической конференции «Современное машиностроение: актуальные вопросы и достижения» в городе Ярославле. Особенно значимо проведение данного мероприятия в 2024 году – Юбилейном для нашего университета. Наш университет был создан в 1944 году, и сегодня нам 80!

Хотелось бы отметить важность этой конференции как мероприятия, объединяющего молодежь России, Беларуси и Казахстана, свидетельствующего о значимости науки в развитии экономик наших государств.

Машиностроение – основная отрасль мировой промышленности. Именно машиностроение оказывает влияние на развитие прогресса и престиж государств. Поэтому особенно значимо активное участие наших студентов в этой конференции.

Выражаю благодарность студенческому научному обществу института инженерии и машиностроения ЯГТУ (СНО института ИиМ) за организацию проведения данной конференции и участия в ней. Выражаю также благодарность студентам и их научным руководителям Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова (Республика Казахстан) и Белорусского национального технического университета (Республика Беларусь).

Выражаю благодарность всем участникам конференции и гостям, которые нашли время, чтобы принять участие в конференции.

Желаю плодотворных дискуссий и новых достижений!

*Иванова В.А., д-р техн. наук,
директор института инженерии и машиностроения ЯГТУ*

Секция «ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

УДК 661.666.41

НОВЫЕ РЕАКТОРЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

М.Е. Борисовский, С.А. Секретарев, А.Е. Лебедев

Научный руководитель – **А.Е. Лебедев**, д-р техн. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

В статье описаны конструкции новых реакторов для производства технического углерода, обладающих преимуществами над существующими аналогами.

***Ключевые слова:** сажа, технический углерод, производство технического углерода*

NEW REACTORS FOR THE PRODUCTION OF CARBON BLACK

M.E. Borisovsky, S.A. Sekretarev, A.E. Lebedev

Scientific Supervisor – **A.E. Lebedev**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

The article describes the design of a new reactor for the production of carbon black, which has advantages over existing analogues.

***Keywords:** carbon black, carbon black, carbon black production*

Технический углерод составляет отдельный класс в промышленных углеродосодержащих веществах. Углерод в техническом углероде находится в особой форме (модификации), которой нет в природных веществах. Технический углерод отличается огромной дисперсностью и тем, что формируется в газовой фазе при термоокислительном или термическом пиролизе углевод содержащего сырья, сопровождающийся распадом угле-

водородов на углерод и водород под действием повышенной температуры. По внешнему виду он является порошком черного цвета.

Технический углерод используется в различных отраслях промышленности. Основным потребителем техуглерода являются шинные заводы и предприятия резинотехнических изделий. На этих производствах технический углерод используется как активный наполнитель резин на основе синтетических каучуков.

Технический углерод производится двух видов: активный и полуактивный. При применении активного техуглерода в резинах повышается их механическая прочность, а также долговечность. Применяется при производстве шин для автомобилей, самолетов и других транспортных средств.

Полуактивные марки сажи применяются для резин с большими деформациями (резиновых лодок, камеры и др.).

Описанные в статье устройства относятся к промышленности технического углерода, а именно к реакторам для получения технического углерода печным способом.

Проведенный анализ существующих конструкций реакционного оборудования позволил выявить недостатки существующих реакторов. Установлено, что основным недостатком, влияющим на качество получаемого технического углерода, является недостаточная турбулизация газовых потоков в камерах реактора.

Рассмотрим некоторые существующие аппараты.

Известна конструкция реактора для получения сажи, содержащая последовательно и соосно установленные камеру горения со средствами для сжигания топлива с воздухом, смесительное сопло с сырьевыми форсунками и форсунками для воды, реакционную камеру со средствами для охлаждения и вывода сажегазовых продуктов. Сажа, полученная с такого реактора, характеризуется высокими усиливающими свойствами, но в настоящее время уже не удовлетворяет все возрастающим требованиям промышленности. Недостатком данного реактора является недостаточная турбулизация потоков в реакторе.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению является реактор для получения сажи, содержащий корпус, в котором последовательно расположены камеры горения, смесительное сопло, состоящее из двух каналов диаметром 0,15 м, общей эффективной площадью поперечного сечения 0,036 м² при отношении $d_k/d_{сф} = 0,7$. Каналы смесительного сопла расположены параллельно оси реактора.

В оба смесительных канала установлены сырьевые форсунки, реакционная камера для вывода охлажденных сажегазовых продуктов из реактора. Камера горения оборудована воздушной камерой для подачи воздуха и камерой для ввода газа.

В реакционной камере установлены водяные форсунки для предзакалки и охлаждения сажегазовой смеси. Камера горения, смесительное сопло, реакционная камера и устройство для вывода охлажденных сажегазовых продуктов из реактора образованы футеровкой, выполненной внутри корпуса из огнеупорных изделий.

Техническим результатом данных разработок является разработка новых конструкций реакторов для производства технического углерода, позволяющих обеспечить интенсивную турбулизацию потоков.

На рис. 1 и 2 показана схема первой конструкции реактора для производства технического углерода.

Реактор для производства технического углерода содержит корпус 1, в котором последовательно расположены камера горения 2, оборудованная воздушной камерой 3 для подачи воздуха и камерой для ввода газа 4, смесительные каналы 5, в которые установлены сырьевые форсунки 6, реакционную камеру 7 для вывода охлажденных сажегазовых продуктов, в которой установлены водяные форсунки 8 для предзакалки и охлаждения сажегазовой смеси.

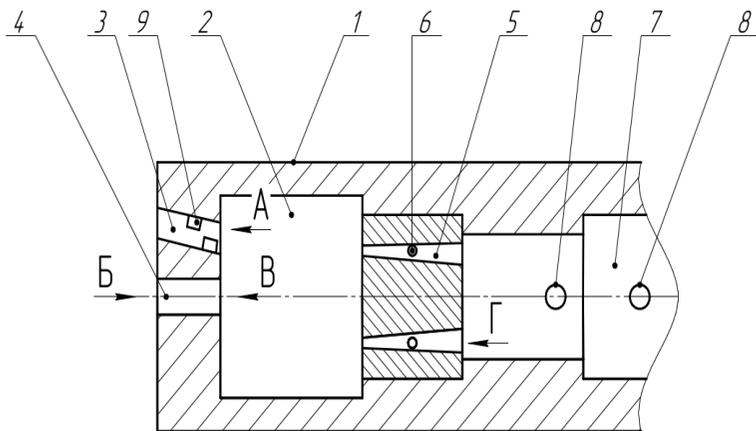


Рис. 1. Схема реактора для производства технического углерода

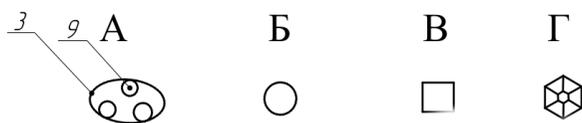


Рис. 2. Дополнительные виды

Воздушная камера 3 наклонена к оси корпуса 1, имеет эллиптическое поперечное сечение и содержит установленные на внутренних поверхностях завихрители 9, выполненные в виде колец, камера для ввода газа 4 имеет переменное сечение от кругового, в зоне входа, к квадратному в камере горения 2, а смесительные каналы 5 имеют форму усеченных пирамид, меньшие основания которых расположены со стороны камеры горения 2, а сырьевые форсунки 6 размещены под углом к осям смесительных каналов 5.

Реактор для производства технического углерода работает следующим образом.

Предварительно нагретый воздух поступает в камеру горения 2 через воздушную камеру 3, в которой, взаимодействуя с завихрителями 9, выполненными в виде колец, интенсивно турбулизуется. Использование кольцевой формы завихрителей 9 обеспечивает многократные деления и слияния потоков, что способствует интенсивной турбулизации.

За счет того, что воздушная камера 3 наклонена к оси корпуса 1, имеет эллиптическое поперечное сечение, поток, попадая в камеру горения 2, взаимодействует с потоком из воздушной камеры и интенсивно турбулизуется.

Топливный газ подают в камеру горения 2 через камеру для ввода газа 4, которая с целью турбулизации имеет переменное сечение от кругового, в зоне входа, к квадратному в камере горения 2. Такое изменение формы поперечного сечения приводит к многочисленным ускорениям и замедлениям потока, что способствует интенсивной его турбулизации.

В камере горения 2 происходит горение.

Поток продуктов полного горения поступает в смесительные каналы 5, где через сырьевые форсунки 6 подают нагретое углеводородное сырье. В смесительных каналах 5 сырье разлагается с образованием смеси сажегазовых продуктов (техуглерода и газа).

Благодаря тому, что смесительные полости 5 имеют форму усеченных пирамид, малые основания которых находятся со стороны камеры горения 2, а форсунки для подачи сырья 6 размещены под некоторым углом к осям каналов 5 для смешения, происходят интенсивные завихрения потоков, которые, в конечном итоге, способствуют получению продукта требуемого качества. Повышению интенсивности завихрений способствует пирамидальная форма поперечного сечения смесительных каналов 5.

За счет того, что сырьевые форсунки 6 размещены под углом к осям смесительных каналов 5 впрыск происходит под углом к потоку, движущемуся в смесительном канале 5 и при их взаимодействии происходит интенсивная турбулизация.

Из смесительных каналов 5 продукты поступают в реакционную камеру 7, в конце которой осуществляют охлаждение продуктов путем

впрыскивания через водяные форсунки 8 подогретой воды. Далее сажегазовые продукты выводят из корпуса 1.

На рис. 3 и 4 показана схема еще одной конструкции реактора для получения технического углерода, которая также может быть использована для получения активных марок технического углерода.

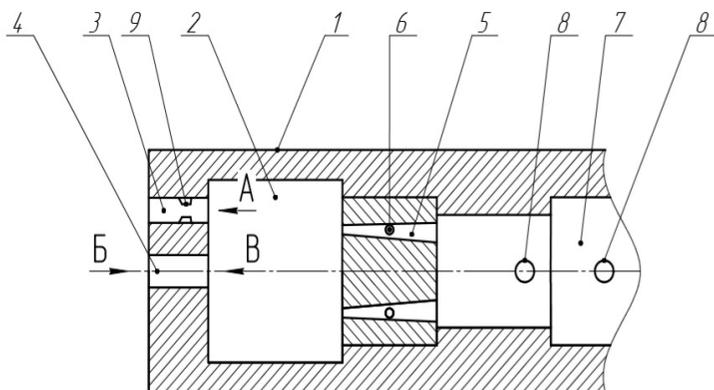


Рис. 3. Реактор для получения технического углерода

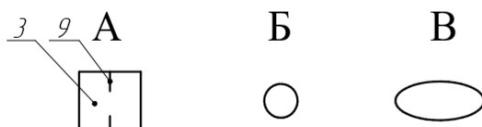


Рис. 4. Дополнительные виды

Несмотря на первую схожесть конструкций данных аппаратов, различные технические решения, заложенных в их конструкций, позволяют использовать эти аппараты для работы с сырьем разного типа.

Данный реактор для получения технического углерода содержит горизонтально расположенный цилиндрический корпус 1, в котором последовательно размещены камера горения 2, оборудованная воздушной полостью (камерой) 3 для подачи воздуха и камерой для ввода газа 4, смешительные каналы 5, в которые установлены сырьевые форсунки 6, реакционную камеру 7 для вывода охлажденных сажегазовых продуктов, в которой установлены водяные форсунки 8 для предзакалки и охлаждения сажегазовой смеси.

Воздушная камера 3 имеет квадратное поперечное сечение, содержит установленные на внутренних поверхностях завихрители 9 трапе-

цеидальной формы с отверстиями, камера для ввода газа 4 имеет переменное сечение от кругового, в зоне входа, к овальному в камере горения 2, каналы 5 расположены под наклоном к оси корпуса 1, имеют форму усеченных конусов, меньшие вершины которых расположены со стороны камеры горения 2.

Реактор для получения технического углерода работает следующим образом.

Предварительно нагретый воздух поступает в камеру горения 2 через воздушную камеру 3, в которой взаимодействуя с завихрителями 9 трапецеидальной формы с отверстиями и интенсивно турбулизуется.

Использование трапецеидальной формы обеспечивает взаимодействие потока с различными по длине сторонами завихрителей, а наличие отверстий обеспечивает перетоки газа, что также способствует ее турбулизации. За счет того, что воздушная камера 3 имеет квадратное поперечное сечение, в нем образуются многочисленные вихри.

Топливный газ подают в камеру горения 2 через камеру для ввода газа 4, которая с целью турбулизации имеет переменное сечение от кругового, в зоне входа, к овальному в камере горения 2.

Такое изменение формы поперечного сечения приводит к многочисленным ускорениям и замедлениям, что способствует интенсивной турбулизации.

В камере горения 2 происходит горение. Поток продуктов полного горения поступает в смесительные каналы 5, где через сырьевые форсунки 6 подают нагретое углеводородное сырье. В смесительных каналах 5 сырье разлагается с образованием смеси сажегазовых продуктов (техуглерода и газа).

Благодаря тому, что смесительные каналы 5 расположены под наклоном к оси корпуса 1, имеют форму усеченных конусов, меньшие вершины которых расположены со стороны камеры горения 2, происходит интенсивная турбулизация потоков, приводящая к получению продукта требуемого качества.

Турбулизации способствует как коническая форма сечения смесительных каналов 5, так и их наклонное расположение к оси корпуса 1, приводящее также к формированию ускорений потока.

Из смесительных каналов 5 продукты поступают в реакционную камеру 7, в конце которой осуществляют охлаждение продуктов путем впрыскивания через водяные форсунки 8 подогретой воды. Далее сажегазовые продукты выводят из корпуса 1.

Предлагаемые конструкции реакторов для производства технического углерода позволяют интенсивно турбулизировать потоки, что обеспечивает получение технического углерода требуемого качества и структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. №2823103 Российская Федерация, МПК В65В1/24, С09 С1/48. Реактор для получения технического углерода / А.Е. Лебедев, Д.А. Крутилов, И.А. Овчинников, Е.А. Есин, Т.Н. Новиков, А.С. Антонова, К.В. Иваничкин, В. Н. Силинский, М. М. Чигирев, А. В. Лебедева. Оpubл. 18.07.2024, Бюл. №20.
2. Пат. №2828260 Российская Федерация, МПК С09 С1/48. Реактор для получения технического углерода / А.Е. Лебедев, Д.С. Долгин, А.Б. Капранова, И.С. Гуданов, А.А. Ватагин, М.М. Чигирев, А.В. Лебедева. Оpubл. 08.10.2024, Бюл. №28.
3. Зуев В.П. Производство сажи / В.П. Зуев, В.В. Михайлов. – М.: Химия, 1970. – 223 с.
4. Мозговой И.В. Технология улавливания продуктов технического углерода / И.В. Мозговой, В.М. Шопин. Омск: ОмГТУ, 2014. 256 с.
5. Ивановский В.И. Технический углерод. Процессы и аппараты. Дополнительные материалы к учебному пособию / В.И. Ивановский. Омск, 2017. 100 с.
6. Пат. №2179564 Российская Федерация, МПК С09С1/48, С09С1/50. Технический углерод, способ его получения и реактор для получения технического углерода / В.Ю. Орлов. Оpubл.20.02.2002.
7. Пат. №149827 Российская Федерация, МПК С09С1/48. Реактор для получения технического углерода / В.И. Иванов, Б.Г. Васильев. Оpubл. 20.01.2015.
8. Пат. №2097398 РФ, МПК С09С1/48. Сажа для полимерных композиций, способ и реактор для ее получениясажа для полимерных композиций, способ и реактор для ее получения / АООТ «Ярославский технический углерод». Оpubл. 24.07.2017.
9. Пат. №2131766 РФ. МПК С09С1/48. Реактор для получения сажи / В.Ю. Орлов. Оpubл.20.06.1999.
10. Ильин А.И. Оценка размеров первичных агрегатов // Пути развития промышленности углерода. М., 1978. С. 28-36.

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ГРУЗОВОЙ КОРЗИНЫ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА

Д.А. Гончаренко, Л.М. Шамахов

Научный руководитель – **Л.М. Шамахов**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается выбор оптимальной схемы расположения механизма подъема для стабилизирующей корзины шагающего робота посредством проведения динамического анализа.

Ключевые слова: корзина, механизм подъема, схема расположения, динамический анализ

DYNAMIC ANALYSIS OF THE ELEMENTS OF THE STABILIZATION SYSTEM OF THE LOAD BASKET OF A WALKING ROBOT

D.A. Goncharenko, L.M. Shamakhov

Scientific Supervisor – **L.M. Shamakhov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

The choice of the optimal layout of the lifting mechanism for the stabilizing basket of a walking robot is considered by conducting a dynamic analysis.

Keywords: basket, lifting mechanism, layout, dynamic analysis

Динамический анализ конструкции – это процесс, который позволяет определить и спрогнозировать ожидаемые амплитуды перемещений конструкции, внутренние усилия и напряжения, сравнить вынужденные колебания с допустимыми значениями, а также провести анализ свободных колебаний. Такой анализ позволит лучше оценить, как конструкция себя ведет под действием различных условий.

Так, например, в работе Саад Загхлюл С. Ал-Кхаит [1] рассматривается динамический анализ различных геометрических форм исполнения звеньев робота. Автор работы предлагает четыре различных фор-

мы звена робота-манипулятора для исследования влияния формы звена робота на его динамические характеристики. В качестве звена робота рассматривается консольная балка. Для дискретизации уравнений движения и моделирования различных форм робота манипулятора используется метод конечных элементов. Представлены результаты, иллюстрирующие параметры звена робота-манипулятора для каждой из четырёх форм. В исследование входит расчёт динамической реакции на исходный крутящий момент, а также сравнивается вибрация схвата. Результаты моделирования свидетельствуют о том, что вибрация конца схвата вдоль траектории и в конечной точке движения меньше у звена, имеющего форму сужающейся балки.

В работе И.В. Кашлакова [2] затрагивается вопрос моделирования контактных сил при управлении шагающим роботом. В результате моделирования движения конечности, автор определил контактные силы при управлении шагающим роботом, построение математической модели, на основе которых вычисляются силы реакций при контакте стопы робота с поверхностью ходьбы. Вместе с тем, полученная модель позволит проводить анализ энергетических затрат при управлении шагающим роботом, а также возможна апробация разрабатываемых алгоритмов управления.

Авторы В.И. Гончаренко и В.А. Данилов [3] изучили основные типы конструкций шестиногих роботов и обоснования выбора конструкции реализованного макета робота. По результатам работы была построена математическая модель шестиногого шагающего робота, а также реализован базовый алгоритм походки данного робота. На основе вычислительного эксперимента выяснилось, что геометрический подход является более предпочтительным для решения задачи в рамках расчета кинематики для шагающего аппарата с инсектоморфным типом конечностей. Работоспособность и эффективность разработанного алгоритмического обеспечения подтверждена экспериментально при управлении лабораторным макетом шагающего робота.

Исследователи А.Н. Рукавицын и П.В. Чжо [4] в своей работе предоставляют динамику движения опорной конечности шагающего робота бионического типа. По результатам исследования удалось выяснить, что звенья механизма конечностей шагающего робота являются твердыми телами, которые могут незначительно деформироваться в процессе движения. В любой механической системе на движение звеньев накладываются связи, которые по сути являются кинематическими парами. Изучение динамики шагающего робота должно начинаться с разработки динамической модели его исполнительных систем, для чего следует абстрагироваться от некоторых частных особенностей разрабатываемой системы, которые могут считаться несущественными, и наибольшее внимание следует уделять тем конструктивным элементам, свойства которых пред-

ставляются наиболее важными для решения поставленной задачи. В данном случае для обеспечения инсектоподобного движения шагающего робота-паука выбрана походка, определяемая движением ног треножником, и была решена обратная задача динамики, которая заключалась в определении значений крутящих моментов и требуемых мощностей, реализуемых приводами исполнительных звеньев, на основе параметрических уравнений, описывающих траекторию движения стопы конечности шагающего робота.

В следующей работе авторы Д.Н. Базылев, А.А. Пыркин и А.А. Маргун [5] исследовали способы стабилизации двуногих роботов в положении стоя на подвижной опоре. Авторы предлагают два способа стабилизации двуногих шагающих робота в положении стоя на нестационарной поверхности. В первом алгоритме управления используется как кинематическая, так и динамическая модель робота. Данный подход основан на методе инверсной динамики, при котором исходная нелинейная динамическая модель линеаризуется обратной связью. Второй способ стабилизации базируется на использовании кинематической модели робота. Для данного подхода разработан гибридный регулятор. При малых угловых скоростях подвижной поверхности управление происходит ПД-регулятором. На высоких угловых скоростях при управлении дополнительно используются измерения гироскопа, установленного в торсе робота. В ходе сравнительного анализа были выявлены условия, при которых каждый из предложенных способов стабилизации при реализации на практике будет эффективнее. Полученные результаты могут быть использованы для стабилизации подобных роботов, осуществляющих перешагивания во время балансирования на подвижной поверхности или шагающих по ней. Направления дальнейших исследований заключаются в экспериментальной апробации разработанных алгоритмов стабилизации, а также в повышении числа звеньев и степеней свободы робота.

Автор Ю.Г. Алейников [6] работы рассматривает теоретические основы проектирования роботизированных шагающих шасси. Приведены нагрузочные характеристики приводов, демонстрирующие параметры приводов и их зависимости от величины управляющих сигналов управления. Для шагающих машин оптимально использовать сервоприводы с удельным крутящим моментом (отношение крутящего момента к весу сервопривода), превышающим значение $0,3 \text{ кг} \cdot \text{см}/\text{г}$ веса при скоростях вращения выходного вала $0,2 \text{ с}/60^\circ$. Практический эксперимент показал, что шагающая машина способна развивать 10 кг тяги при быстром движении и 33 кг при медленном, распределяя нагрузку на все приводы равномерно. Моделирование движения опытной шагающей машины весом 5 кг на практике показало максимальную скорость по ровной поверхности $1,12 \text{ м}/\text{с}$ ($4 \text{ км}/\text{ч}$), при этом расходуется большое количество энергии –

850 Вт·ч. Снижение скорости в два раза позволяет расходовать энергию экономно – 320 Вт·ч. Для случая создания тяговых усилий или транспортировки груза затраты на электроэнергию возрастут. Создана методика проектирования шагающих машин с динамической устойчивостью, позволяющая создавать машины двумя методами: определение параметров машины по заданным характеристикам приводов и определение требуемых параметров приводов по заданным характеристикам машины

Работа В.В. Чернышева [7] объясняет структуру энергозатрат шагающих машин и роботов при реализации больших тяговых усилий. Авторы делают вывод, что существует принципиальная возможность разработки шагающего движителя на базе цикловых механизмов, в которой различные затраты мощности, обусловленные самим шагающим способом передвижения Ю, и затраты мощности на прессование грунта и на реализацию полезного тягового усилия будут лежать в противофазе, либо их максимумы будут смещены во времени. Тем самым можно решить задачу повышения энергоэффективности движения шагающих робототехнических систем. За счет управления законом движения опорной точки по траектории можно несколько уменьшить неравномерность требуемой мощности на движение лишь в случае сравнительно небольшого тягового усилия. Дополнительные затраты мощности, обусловленные шагающим способом передвижения, в этом случае мало влияют на общие энергозатраты на передвижение. Результаты работы могут быть востребованы при разработке как простейших шагающих машин, например шагающих тракторов сельскохозяйственного назначения, так и для сложных шагающих робототехнических систем, предназначенных для проведения грунтовых работ при дефиците сцепного веса, например, в подводных условиях либо в условиях ослабленной гравитации.

Исследователь С.И. Савин в своей работе о генерации задающих воздействий для шагающего робота с упругими элементами рассказывает про проблемы генерации последовательности шагов и задания траектории центра масс для шагающих роботов с упругими элементами. Точность позиционирования робота, включая его стопы и центр масс. В связи с этим необходимо уточнение критерия сохранения роботом вертикальной устойчивости, требуется использование процедур коррекции походки робота с целью избежать накопления ошибки его позиционирования. Распределение значений ошибки позиционирования робота после выполнения заданного движения может рассматриваться как целевая функция при решении задачи оптимального выбора параметров походки робота. Предложены подходы к решению обратной задачи кинематики, основанные на использовании информации о динамике механизма для построения реализуемых траекторий в конфигурационном пространстве робота.

Проведя анализ существующих исследований в этой области, было решено спроектировать лабораторный стенд со стабилизирующей грузовой корзиной для шагающего робота [9], однако на этапе проектирования возникли вопросы, связанные с установкой стабилизирующей корзины. Каким лучшим образом расположить механизм подъема так, чтобы достичь максимальной грузоподъемности и минимального момента на валах серводвигателей при стабилизации корзины в двух осях из трех возможных. Для этой задачи был дополнительно спроектирован лабораторный стенд, на котором будут испытаны все схемы расположения, чтобы выбрать лучший вариант из всех возможных.

Для экономии времени и материала было решено провести динамический анализ в САПР среде, а именно был использован инструмент SolidWorks Motion.

На рис. 1 показан лабораторный стенд, состоящий из таких частей, как верхняя платформа 3, нижняя платформа 1, серводвигатели 4, механизм подъема 2, основания, служащие для крепления и позиционирования серводвигателя на платформах 1.

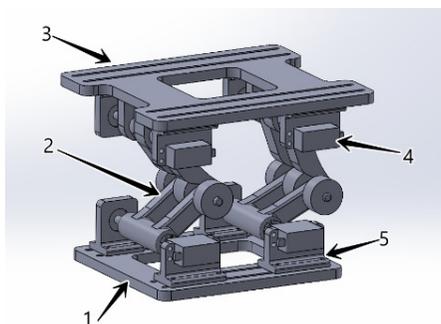


Рис. 1. Лабораторный стенд:

1 - нижняя платформа; 2 - механизм подъема; 3 - верхняя платформа;
4 - серводвигатель; 5 - основания для серводвигателей

Дальнейшие действия, будут проходить с перестановкой механизма подъема [10], состоящего из верхних и нижних вилок, закрепленных между друг другом шарниром. К схеме расположения будет приложена одинаковая и постоянная нагрузка в 50 Н, а также стенды будут выполнять возвратно-поступательные движения вверх и вниз с частотой 0,3 Гц. Всего будет рассмотрена одна схема расположения.

На рис. 2 показана схема расположения вилок «Внутри-Снаружи», также на рисунке показано синей стрелочкой под номером 1 действие постоянной нагруженной силы в 50 Н, а красной стрелочкой под номером

2 показано направление вращения серводвигателя, который приводит механизм подъема в действие.

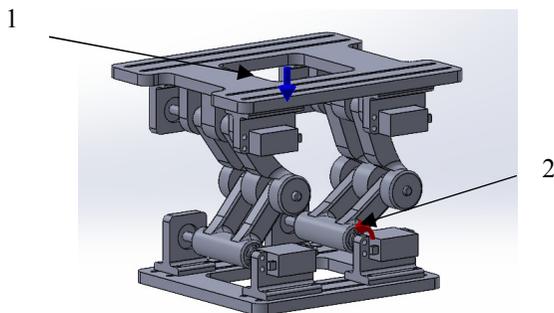


Рис. 2. Схема расположения «Внутри-Снаружи»:

1 - постоянная нагрузка 50 Н; 2 - направление вращения серводвигателя

По итогу проведения анализа на рис. 3 была выведена эпюра вращающегося момента, показывающая, что максимальный момент на валу серводвигателя при таком расположении составляет 3329 Н·мм.

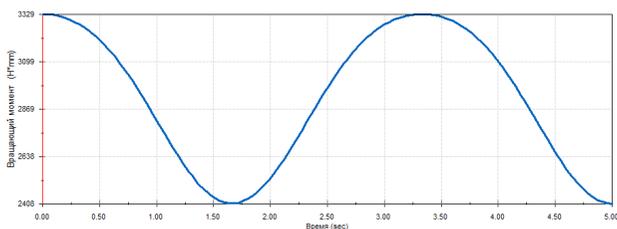


Рис. 3. Эпюра вращающегося момента схемы «Внутри-Снаружи»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саад Загхлюл С.А.К. Динамический анализ различных геометрических форм сполнения звеньев робота / С.А.К. Саад Загхлюл // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2009. № 3(151). С. 14-18. EDN KWLCXB.
2. Кашлаков И.В. Моделирование контактных сил в системе управления шагающим роботом / И.В. Кашлаков, Ю.А. Жуков // Журнал передовых исследований в области естествознания. 2024. № 20. С. 4-8. DOI: 10.26160/2572-4347-2024-20-4-8. EDN TRSZWM.

3. *Гончаренко В.И.* Проектирование шестиногих шагающих роботов в среде CAD-системы / В.И. Гончаренко, В.А. Данилов // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM–2017): Труды XVII международной научно-практической конференции, Москва, 12–14 декабря 2017 года / под ред. А.В. Толока; Институт проблем упр. им. В.А. Трапезникова. Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2017. С. 176-179. EDN YWDIHM.
4. *Рукавицын А.Н.* Исследование динамики движения опорной конечности шагающего робота бионического типа / А.Н. Рукавицын, П.В. Чжо // Транспортное машиностроение. 2023. № 1(13). С. 14-23. DOI 10.30987/2782-5957-2023-1-14-23. EDN VDJYWH.
5. Способы стабилизации двуногих роботов в положении стоя на подвижной опоре / Д.Н. Базылев, А.А. Пыркин, А.А. Маргун [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15, № 3. С. 418-425. DOI: 10.17586/2226-1494-2015-15-3-418-425. EDN TWCSUX.
6. *Алейников Ю.Г.* Теоретические основы проектирования роботизированных шагающих шасси / Ю.Г. Алейников, Г.Е. Митягин, Я.Г. Митягина. Москва: ООО "Мегаполис", 2023. 166 с. EDN JHANOPI.
7. *Чернышев В.В.* Структура энергозатрат шагающих машин и роботов при реализации больших тяговых усилий / В.В. Чернышев, В.В. Арыканцев // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 1(203). С. 6-18. DOI: 10.23683/2311-3103-2019-1-6-18. EDN ZZKYGL.
8. *Савин С.И.* Генерация задающих воздействий для шагающего робота с упругими элементами / С.И. Савин, Л.Ю. Ворочаева // Cloud of Science. 2019. Т. 6, № 1. С. 144-168. EDN BWJNDQ.
9. *Гончаренко Д.А.* Шагающий робот как доставщик малых грузов на стройплощадке / Д.А. Гончаренко, Л.М. Шамахов // Семьдесят шестая Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием: Сборник материалов конференции. В 3 ч. Ярославль, 19–20 апреля 2022 года. Том 2. Ярославль: Ярославский государственный технический университет, 2023. С. 464-467. EDN JIEQHN.
10. *Гончаренко Д.А.* Кинематика движения конечности шагающего робота / Д.А. Гончаренко // XVII Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых: материалы Всероссийской научной конференции, Вологда, 20–24 ноября 2023 года. Вологда: Вологодский государственный университет, 2023. С. 703-706. EDN QJLNQU.

РЕГУЛИРУЮЩИЕ КЛАПАНЫ В СИСТЕМЕ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ: НАЗНАЧЕНИЕ И КОНСТРУКЦИИ

А.В. Грызунов, И.И. Верлока, А.Б. Капанова

Научный руководитель – **А.Б. Капанова**, д-р физ.-мат. наук,
профессор

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются некоторые конструкции регулирующих клапанов специального исполнения, предназначенных для эксплуатации в сложных условиях нефтеперерабатывающей отрасли.

***Ключевые слова:** клапан регулирующий, кавитация, коррозия, высокая цикличность*

CONTROL VALVES IN THE OIL REFINING SYSTEM: PURPOSE AND DESIGNS

A.V. Gryzunov, I.I. Verloka, A.B. Kapranova

Scientific Supervisor - **A.B. Kapranova**, Doctor of Physics
and Mathematics Sciences, Professor

Yaroslavl State Technical University

Some designs of special-purpose control valves Intended for operation in difficult conditions of the oil refining industry are considered.

***Keywords:** control valve, cavitation, corrosion, high cycling*

Регулирующие клапаны имеют важное значение при получении нефтепродуктов регламентного качества. Их задача в качестве исполнительных механизмов систем управления – поддерживать критические параметры технологических операций на заданном технологами уровне с минимальным воздействием на гидродинамику потока в трубопроводах.

Различные клапаны спроектированы под конкретные условия применения, однако в любых из них при прохождении жидкости через дроссельный узел давление среды может упасть до уровня термодинамического равновесия данного вещества с его паровой фазой (давление насы-

щения), при этом образуются пузыри газа и пара [1], которые на поздних этапах их эволюции схлопываются, высвобождая энергию подобную микровзрыву. Данное явление, называемое гидродинамической кавитацией, ухудшает качество регулирования потока, повышает уровень вибрации и шума, ускоряет износ деталей и узлов регулирующей арматуры (рис. 1). В некоторых случаях кавитационные эффекты могут привести к отказу как самого клапана, так и смежного технологического оборудования. Для решения указанной проблемы дроссельный узел клапана должен иметь конструкцию, обеспечивающую давление рабочей среды в самом узком месте выше уровня границы образования насыщенного пара жидкости. Разработка каждой такой конструкции требует проведения целого комплекса исследовательских и проектных работ [2, 3].



Рис. 1. Последствия воздействия гидродинамической кавитации [2]

Некоторые процессы в промышленности требуют регулирования потоков коррозионно-активных сред. Коррозией металлов называется их разрушение вследствие химического или электрохимического взаимодействия с внешней (коррозионной) средой. От правильности выбора конструктивного и материального исполнения регулирующей арматуры будет зависеть срок службы регулирующих клапанов и безопасность обслуживающего персонала.

В настоящей работе рассмотрены существующие конструкционные решения, которые применяются в нефтеперерабатывающей отрасли для сложных технологических условий:

- 1) при высоких давлениях и скоростях потока (антикавитационные клапаны);
- 2) при агрессивных свойствах среды (антикоррозионные исполнения);
- 3) при наличии механических включений/загрязнений (мембранная арматура);
- 4) при обеспечении регламентного требования высокой цикличности исполнительных устройств.

Антикавитационные клапаны. Наибольшее распространение имеют следующие конструкции: 1) прямоточные с многоступенчатой

клеткой; 2) прямоточные и угловые с многоступенчатым дроссельным узлом; 3) осесимметричные с многоступенчатой клеткой.

Клапан с многоступенчатой клеткой. Снижение эффекта кавитации в клапанах с многоступенчатой клеткой (рис. 2) достигается за счет использования в проточной части перфорированной втулки (клетки), на которой происходит ступенчатое понижение давления. Клетка может иметь несколько слоев для формирования дополнительных ступеней понижения давления. Данное конструктивное решение применено в клапанах модели ET [4] компании Emerson (США), LTG3 компании ValvItalia (Италия), 41005 компании Masoneilan (США).

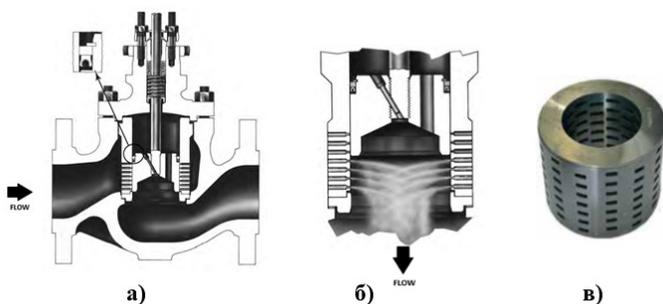


Рис. 1. Габаритный чертеж клапана [4]:
a – с многоступенчатой клеткой; *б* – клетка в разрезе;
в - внешний вид клетки

Основным достоинством регулирующей арматуры данного типа является ее низкая стоимость. Это достигается за счет того, что антикавитационный дроссельный узел установлен в клапаны стандартной и распространенной конструкции. Многоступенчатая клетка может устанавливаться в клапаны с корпусом углового и проходного типа [5].

К недостаткам подобной арматуры можно отнести следующее. Высокое гидравлическое сопротивление является общим недостатком клапанов с корпусами проходного и углового типа. При дросселировании загрязненных сред каналы проточной части предрасположены к забиванию, что снижает пропускную способность, а со временем приводит к заклиниванию и отказу клапана. При регулировании происходит ступенчатое изменение пропускной способности, т.к. образуются мертвые зоны между каналами в клетке. Несмотря на многоступенчатую конструкцию, только одна ступень понижения давления является активной. Уплотнительные поверхности седла и плунжера находятся на последней ступени дросселирования, т.е. в зоне наиболее подверженной влиянию кавитационных эффектов.

Клапан с многоступенчатым дроссельным узлом. Специальное исполнение, предназначенное для регулирования жидких сред с высоким перепадом давления.

Многоступенчатая конструкция дроссельного узла (рис. 3) понижает перепад давления на каждой ступени, не давая местному давлению падать ниже давления насыщенных паров рабочей жидкости, и тем самым предотвращает кавитацию. Все ступени являются активными и дросселируют поток одновременно, что позволяет избежать возникновения полного перепада на одной из них. Благодаря большому размеру зазора в дроссельном узле частицы большого размера имеют возможность свободно проходить через него без потери пропускной способности клапана. Число ступеней определяется исходя из свойств рабочей среды и требуемого перепада давления. Многоступенчатый дроссельный узел устанавливают в клапаны с корпусом проходного и углового типа.

Указанное антикавитационное решение применено в регулирующей арматуре модели Lincoln Log [6] компании Masonellan (США), Multi-Z компании Flowserve (США), NotchFlo компании Emerson (США).

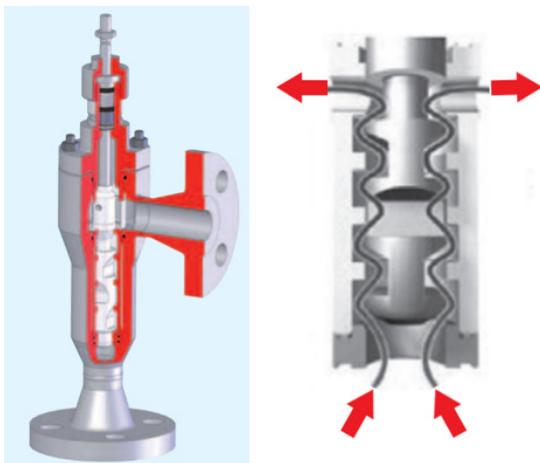


Рис. 3. Габаритный чертеж и схема дроссельного узла углового многоступенчатого клапана Masonellan с осевым потоком [6]

Основной недостаток таких клапанов – их гидравлическая характеристика. На выходе из дроссельного узла поток жидкости с высокой скоростью врывается в поверхность стенки корпуса, вызывая эрозионные повреждения (рис. 4), и только потом достигает выходного патрубка.

Клапан осесимметричный с многоступенчатой клеткой. Данная арматура относится к прямооточному типу и обеспечивает наиболее

симметричное относительно оси трубопровода (спрямленное) течение среды. Соответствующая конструкция [7] разработана в 1955 году компанией Mokveld.

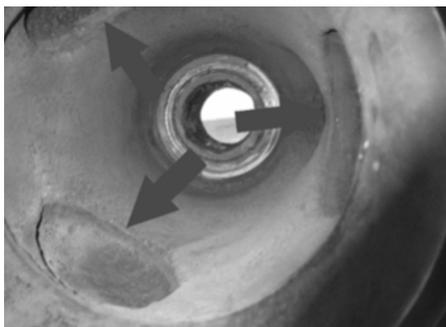


Рис. 4. Последствия воздействия гидродинамической кавитации на корпус регулирующего клапана

Борьба с кавитацией осуществляется за счет оснащения проточной части осесимметричного клапана многоступенчатой клеткой (рис. 5). Управление поршнем (плунжером) происходит посредством реечной передачи. Указанное конструктивное решение внедрено в регулирующей арматуре производства Mokveld (Нидерланды), Goodwin (Великобритания) и применяется в нефтегазовых установках.



Рис. 5. Габаритный чертеж осесимметричного клапана и внешний вид антикавитационных клеток [7]

При осуществлении эффективного регулирования потока жидкости с высоким перепадом давления недостатком указанной конструкции становится наличие перфорированной клетки, каналы которой могут засоряться (при наличии в среде механических включений), что приводит к понижению пропускной способности.

Клапаны в коррозионностойком исполнении. Основными направлениями обеспечения коррозионной стойкости узлов регулирующих клапанов, контактирующих с рабочей жидкостью, являются: 1) применение коррозионностойких сплавов; 2) исключение контакта металлических деталей с рабочей средой.

Клапаны из коррозионностойких сплавов. Выбор конструкционных материалов для деталей трубопроводной арматуры для работы в коррозионно-активных средах производится в соответствии с национальными стандартами [8] в зависимости от химического состава, рабочих значений концентрации компонентов, температуры и давления рабочей среды [9].

Отдельно стоит вопрос защиты основных деталей клапанов от сульфидного коррозионного растрескивания. Коррозия под воздействием высокосернистой среды (сульфидное растрескивание) представляет собой разрушение металлов под воздействием сероводорода и влаги. Сероводород усиливает свои коррозионные свойства в присутствии воды. В таких условиях может наблюдаться повышенная разрушаемость материала, приводящая к растрескиванию в результате совместного действия растягивающего напряжения и коррозии. Оборудование нефтехимических производств довольно часто подвержено риску сульфидного коррозионного растрескивания.

Выбор конструкционных материалов в таких случаях происходит в зависимости от объемного содержания сероводорода в среде или его парциального давления в газовой фазе (рис. 6). Важным аспектом являются механические свойства применяемых материалов, которые обеспечиваются определенными режимами термической обработки.

Условия эксплуатации			Материал			
Среда, концентрация компонентов, %	Температура, °С	Давление рабочей Рр, МПа (кгс/см ²)	Корпус, крышка	Золотники, диски	Штока, шпиндели	Наплавки
Природный газ, нефтепродукты и др. среды с повышенным содержанием H ₂ S (более 6%)	До 260	Любое	20ГМЛ 20ЮЧ 09Г2С 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н12М3Л 08Х18Н10Т	20ГМЛ 20ЮЧ 09Г2С 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н12М3ТЛ 08Х18Н10Т	07Х16Н6 03Х12Н10МТР 08Х18Н10Т 06ХН28МДГ	ЦН-6Л ЦН-12М Стеллит УОНИ-13/Н1-БК
			10Х17Н13М3Т ЭИ 943	10Х17Н13М3Т ЭИ 943	10Х17Н13М3Т ЭИ 943	06Х20Н10М3ДЗС4

Рис. 6. Фрагмент таблицы материалов для применения в средах с повышенным содержанием сероводорода [10]

Клапаны, исключаящие контакт металлических деталей с рабочей средой. Применение специальных коррозионностойких сплавов зачастую приводит к значительному повышению стоимости технологического оборудования в целом и клапанов в частности. Кроме этого коррозионная стойкость специальных сплавов обеспечивается при определенных параметрах рабочей среды, но может снижаться и при переходных процессах. Альтернативой применению таких материалов является исключение контакта металлических деталей с рабочей средой. Рассмотрим наиболее распространенные технические решения.

Футерованные клапаны. Конструкция отличается практически универсальной химической стойкостью и высокой надежностью. Материал футеровки выбирается с учетом рабочих условий. Наиболее распространенные материалы - PTFE (Фторопласт-4) и PFA, но их применение ограничено температурой 220 °С [8] и они чувствительны к наличию в рабочей среде механических включений. Подобное конструктивное решение применено в клапанах модели 132000 [11] компании Flowserve (рис. 7, а), УИФ-М1 компании Простор-Автоматика (Россия).

Для высокотемпературных применений, а также при наличии особых требований по механической прочности деталей, контактирующих с рабочей средой, могут быть применены конструкции с керамическими покрытиями и деталями. Недостатками данного решения является хрупкость деталей из керамики и высокая себестоимость.

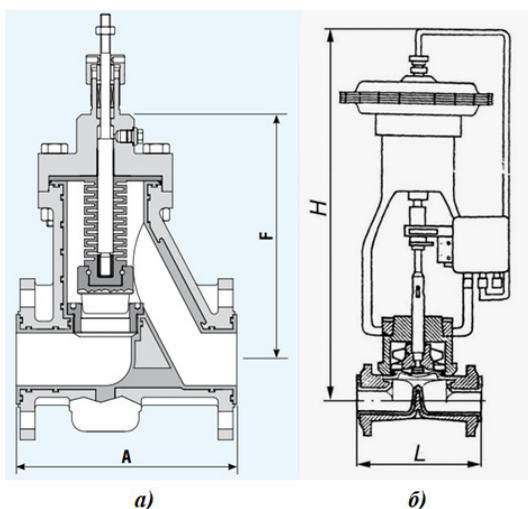


Рис. 7. Габаритный чертёж:

а – футерованного клапана в разрезе [11];
б – мембранного клапана 33500 Гидромаш–Норлат

Мембранные клапаны. Первое мембранное исполнительное устройство было обнаружено в Древней Греции. С его помощью регулировали температуру воды в горячих ваннах или уровень воды в резервуарах. Мембрана была изготовлена из грубой кожи.

Мембранные клапаны (рис. 7, б) применяются чаще всего при работе с жидкостями, которые содержат большое количество твердых частиц. Отличительной особенностью таких клапанов является то, что седло затвора изготовлено на торце перегородки, которая установлена поперек оси движения потока жидкости. При этом роль плунжера выполняет гибкая мембрана. Такая мембрана под воздействием шпинделя или штока прогибается, чтобы перекрыть проходное сечение трубопровода. Данное конструктивное решение применено в клапанах модели 33500 компании Гидромаш–Норнат (Россия).

Основное достоинство подобной конструкции является и её основным недостатком – это мембрана. Температурный диапазон применения мембранного клапана находится в диапазоне $-10 \dots +220$ °C [8].

Клапаны, работающие в условиях высокой цикличности. Некоторые технологические процессы современных производств, например, производство водорода или азота методом короткоциклового адсорбции, требуют применения регулирующих и отсечных клапанов, способных работать с высокой цикличностью на протяжении своего срока службы. Под циклом, в данном случае, понимается одно перемещение запорного органа из полностью открытого положения в полностью закрытое, и обратно. Клапаны, применяемые в таких процессах, должны быть способны выполнять до 400000 циклов в год без потери герметичности в затворе и относительно внешней среды в течение не менее 3-х лет.

На первый план при решении этой задачи выходит выбор материального исполнения контактирующих деталей с целью минимизировать взаимное эрозионное воздействие и сохранить прочность на протяжении всего срока службы.

Практически полными монополистами в данной области являются компании Neles (США) и Flowserve (США).

Компания Neles производит специализированные дисковые затворы [12] с двойным смещением, пневматические приводы и электропневматические контроллеры для работы в условиях высокой цикличности (рис. 8, а). Предприятие Flowserve выпускает подъемные клапаны [13] в проходном корпусе в комплекте с пневматическими приводами для работы в условиях высокой цикличности (рис. 8, б).

В завершении обзора клапанов специальных и антикавитационных исполнений хочется отметить, что представленный перечень является далеко не полным, но может рассматриваться как дополнение к условной классификации [14] конструкций дросселирующих устройств.

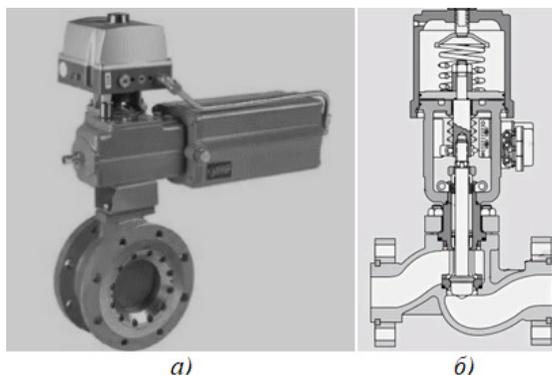


Рис. 8. Конструкции для работы при высокой цикличности:

а – дисковый затвор компаний Neles [12];

б – проходной регулирующий клапан компании Flowserve [13]

Таким образом, актуальность разработки новых технических решений в области проектирования специализированной регулирующей арматуры подтверждается вовлечением данного оборудования в различные технологические цепочки химических технологий на фоне проблемы обеспечения импортонезависимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капранова А.Б. О методах моделирования основных стадий развития гидродинамической кавитации / А.Б. Капранова, А.Е. Лебедев, А.М. Мельцер, С.В. Неключев, Е.М. Серов // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 3. С. 268-273.
2. Викторов Н.И. Организация технического обслуживания и ремонта запорно-регулирующей арматуры в ПАО «Славнефть-ЯНОС» / Н.И. Викторов, И.И. Верлока, А.В. Грызунов, Д.М. Веденеев // *Семьдесят пятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием*. 20-21 апреля 2022 г., Ярославль: сб. материалов конф. В. 3 ч. Ч. 2. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022. 795 с. 1 CD-ROM. Текст: электронный. С. 118-120.
3. Грызунов А.В. К анализу направления совершенствования конструкций регулирующих клапанов для нефтеперерабатывающей отрасли / А.В. Грызунов, И.И. Верлока, А.Б. Капранова // *Семьдесят седьмая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием*. 17-18 апреля 2024 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч.2. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2024. 789 с. 1 CD-ROM. Текст: электронный. С. 118-121.
4. Руководство по выбору клапанов с поступательным движением штока. URL: <https://www.pea.ru/docs/fileadmin/files/emerson/51-1-010-ru-s.pdf> (дата обращения: 15.11.2024)

5. ГОСТ 12893-2005. Клапаны регулирующие односедельные, двухседельные и клеточные. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2008.
6. Регулирующие клапаны серии 78400/18400 «LincolnLog». URL: [https:// masoneilan.nt-rt.ru/images/manuals/18400_78400.pdf](https://masoneilan.nt-rt.ru/images/manuals/18400_78400.pdf) (дата обращения: 15.11.2024).
7. Регулирующий клапан осевого типа. URL: <https://mokveld.com/media/downloaditem/file/-1-6-1.pdf> (дата обращения: 15.11.2024).
8. *Гуревич Д.Ф.* Трубопроводная арматура: Справочное пособие / Д.Ф. Гуревич. 5-е изд. М.: URSS, 2017. 370 с.
9. СТ ЦКБА 054-2008. Арматура трубопроводная. Конструкционные материалы для деталей трубопроводной арматуры, работающей в коррозионно-активных средах. Технические требования. Санкт-Петербург: ЗАО «НПФ «ЦКБА», 2008.
10. СТ ЦКБА 052-2008. Арматура трубопроводная. Требования к материалам арматуры, применяемой для сероводородосодержащих сред. Санкт-Петербург: ЗАО «НПФ «ЦКБА», 2008.
11. Flowserve 13200 series user manual. URL: <https://flowserve.manymanuals.com/hardware/132000-series/user-manual-13573> (дата обращения: 15.11.2024).
12. Neles. Flow control solutions. URL: <https://www.meadobrien.com/images/mead/PDFs / Metso-Neles-Flow-Control-Products-Valves-Actuation-and-Automation.pdf> (дата обращения: 15.11.2024)
13. Регулирующие клапаны Valtek Mark One. URL: <https://dortis.ru/upload/iblock/423/423b0c7e2253add4e7b287db9e3c37da.pdf?ysclid=m3msyxrwq0555216923> (дата обращения: 15.11.2024)
14. Анализ разновидностей современных антикавитационных решений в конструкциях регулирующих клапанов / А.В. Грызунов, И.И. Верлока, А.Б. Капранова, Е.Ф. Скурыгин // Южно-сибирский научный вестник. 2024. Вып. 3 (55). С. 223-234.

УСТРОЙСТВО ПРОТИВОСКОЛЬЖЕНИЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

К.И. Тележкина, А.А. Кулебякин

Научный руководитель – **А.А. Кулебякин**, канд. техн. наук,
доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются различные специальные шины, вездеходные гусеничные движители и специализированные устройства/приспособления для повышения сцепления автомобиля с дорогой, их достоинства и недостатки. Предложена новая конструкция устройства противоскольжения типа «Краб».

Ключевые слова: бездорожье, устройство противоскольжения, ходовые винты, конические зубчатые колеса

ANTI-SKID DEVICE FOR VEHICLES

K.I. Telezhkina, A.A. Kylebyakin

Scientific Supervisor – **A.A. Kylebyakin**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Various special tires, all-terrain crawler thrusters and specialized device for increasing the car's grip on the road, their advantages and disadvantages are considered. A new design of a "Crab" type anti-skid device has been proposed.

Keywords: off-road, anti-skid device, lead screws, bevel gears

Практически каждый автолюбитель сталкивался с такой проблемой, как пробуксовка колес во время езды по бездорожью (грязь, слякоть, слабые грунты, рыхлый снег, лед и т.д.), что вызывало трудности с продолжением движения автомобиля по заданному пути.

Для решения данной проблемы существуют специальные шины, вездеходные гусеничные движители (ВГД) и специализированные устройства/приспособления (грунтозацепы).

Есть несколько разновидностей шин с уникальными протекторами для экстремального бездорожья популярных фирм: Maxxis, Interco, Sil-

verstone, Simex и другие [1]. Яркими примерами являются шины Super Swamper TSL/BOGGER (особенно хорошо подходят для болотистой местности) американской компании «Interco Tire Corporation» и MUD TREPADOR M9060 тайваньской торговой марки «Maхxis». Чаще всего такие шины приобретают спортсмены трофи-рейдов, любители экстремального отдыха.

Среди вездеходных гусеничных движителей можно выделить два основных типа: автогусеницы и гусеничные траки/платформы. Самые известные компании по их производству: Stalker Track, Wheeltracks, TrackNGo и Егоза. Подобные системы пользуются популярностью для сложных зимних условий.

Специальные шины и гусеничные системы прекрасно справляются с различными видами бездорожья, но, к сожалению, в большинстве случаев совершенно не подходят для асфальтного покрытия, в связи с чем требуется замена на другие шины каждый раз при выезде на асфальт, что требует много времени и усилий. Также стоит отметить высокую стоимость ВГД и шин для бездорожья.

Таким образом, данные варианты абсолютно не подходят для тех, кто часто сталкивается с сочетанием разных условий езды в течение дня. Например, людям, живущим далеко за городом и работающим в нем, неудобно каждый раз менять шины при выезде с местности без какого-либо дорожного покрытия на проезжую часть. Поэтому на помощь приходят специализированные устройства/приспособления, которые позволяют повысить сцепление между шинами и сложным участком дороги/местности на необходимый промежуток времени, а затем их можно легко снять или убрать.

Существует несколько разновидностей таких устройств: браслеты/ремни, цепи, траки/ленты и устройства типа «Краб». Рассмотрим каждый из них.

Браслеты/ремни представляют собой конструкцию, которая состоит из цепи или какой-нибудь пластины с выступами/шипами, накладываемой на протектор шины, капроновой ленты, продеваемой между спицами диска, и фиксирующим замком. Иногда браслеты полностью изготавливаются из пластика, но данный вариант не отличается надежностью.

Цепи противоскольжения состоят из двух цепей, соединенных между собой поперечными цепями, которые создают над протектором шины выступы при креплении. Есть также варианты из резины с шипами.

Траки/ленты противоскольжения используются как подложки под колеса, имеют неровную основную поверхность с множеством выступов, иногда состоят из нескольких частей, быстро соединяющихся между собой.

Устройства типа «Краб» имеют различные конструкции, но основное их отличие от остальных видов приспособлений противоскольжения – крепление к шине производится с помощью скоб. Для примера можно привести конструкции устройств из следующих патентов: RU217665U1, RU2023598C1, RU2709510C1, WO2024194097A1 (рис. 1).

Сравнение достоинств и недостатков всех видов устройств/приспособлений противоскольжения представим в виде таблицы 1.

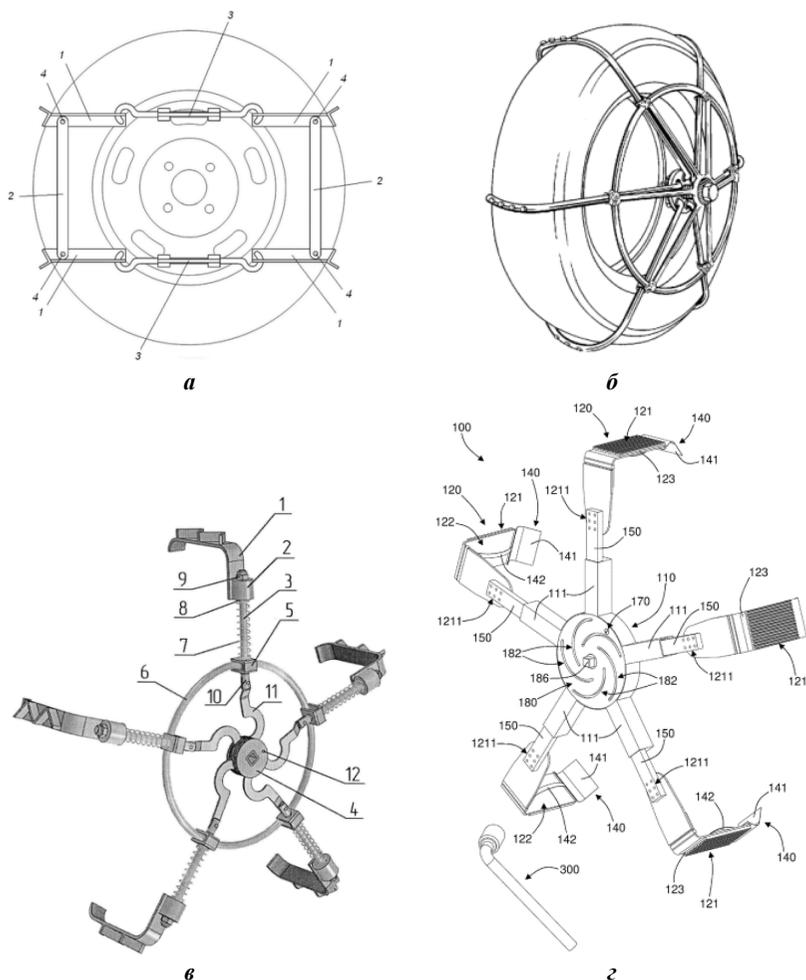


Рис. 1. Устройства типа «Краб»:

а – пат. RU217665U1 [2], *б* – пат. RU2023598C1 [3],
в – пат. RU2709510C1 [4], *г* – пат. WO2024194097A1 [5]

Таблица 1. Сравнение видов устройств/приспособлений противоскольжения

Браслеты/ ремни	
Время монтажа	≥ 0,5-1 мин на один браслет/
Цена	От 800 руб за комплект из 2 шт. браслетов с цепным элементом
Плюсы	Компактность. Низкая стоимость. Простота монтажа/демонтажа. Возможность регулировки под размер колеса
Минусы	Повышенная нагрузка на трансмиссию. Не подходят для некоторых дисков, у которых между спицами малое расстояние. Повышенный износ резины. Частые поломки замков/пряжек. Не подходит для длительного движения. Трудность использования в зимний период
Цепи	
Время монтажа	≥ 10 мин на одно колесо
Цена	От 2000 руб за комплект из 2 шт.
Плюсы	Компактность. Эффективность в глубоком снегу и на льду. Долгий срок службы
Минусы	Повышенная нагрузка на трансмиссию. Трудность установки новичкам. Невозможность установить, когда автомобиль застрял. Повышенный износ резины. Риск повреждения тормозных шлангов и дисков
Траки/ ленты	
Время монтажа	≈ 2 мин
Цена	От 500 руб за комплект из 2 шт.
Плюсы	Компактность. Низкая стоимость. Простота использования. Отсутствие вреда резине. Долгий срок службы гибких моделей
Минусы	Возможность применения только на очень короткие дистанции. Помогает только на начальном этапе буксования. Могут выкальзывать из-под колес
Устройства типа «Краб»	
Время монтажа	≈ 2-5 мин на одно колесо
Цена	От 2000 руб.
Плюсы	Быстрый монтаж/демонтаж. Не контактируют с дисками.
Минусы	Нескладные модели громоздки. Риск повреждения кузова при ненадежном закреплении

Как видим из сравнительной таблицы, каждый вид имеет свои особенности применения. Если рассматривать необходимость частого применения противоскользящего устройства, то подходят цепи и устройства типа «Краб». Но главный недостаток цепей – это быстрый износ резины, в то время как у «Крабов» можно предусмотреть элементы-скобы из материалов, не приносящих ей вред. Также цепи трудны в монтаже и

требуют заблаговременного закрепления на колесах. Самым оптимальным вариантом в соотношении цена-удобство-качество будут «Крабы».

На данный момент, несмотря на многочисленные преимущества перед другими типами, «Крабы» пользуются меньшей популярностью в основном из-за нескладной конструкции (см. рис. 1, б, в), которая занимает много места в багажном отделении, или же необходимости большой силы при ручном креплении (см. рис. 1, а).

В патенте WO2024194097A1 (см. рис. 1, а) автор попытался создать складную компактную конструкцию, но главный существенный ее недостаток – ненадежность, одной из причин которой является крепление грунтозацепа к колесу за счет растяжения пружин, находящихся в каждом корпuse луча (рис. 2).

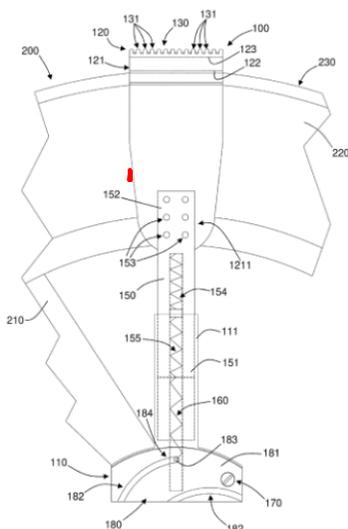


Рис. 2. Пружинный механизм закрепления [5]

Большой надежностью и точностью характеризуются механические передачи. Трудностью подбора механизма для грунтозацепа типа «Кrab» состоит в том, что необходимо одновременно и равномерно осуществлять движение минимум 5 лучей [6], а также должно создаваться достаточное усилие захвата для предотвращения соскальзывания конструкции с колеса.

Так как грунтозацеп схож по конструкции с захватным устройством для цилиндрических деталей, то можно переконструировать захват в устройство противоскольжения типа «Кrab» с некоторыми доработками.

Подходящим вариантом является захват из патента SU1645138: «Захват, содержащий корпус и зажимные губки, расположенные радиально с возможностью осевого перемещения и кинематически связанные с общим приводом, причем кинематическая связь выполнена в виде зубчатых колес, отличающийся тем, что зажимные губки снабжены фрикционными элементами, закрепленными на корпусе, и выполнены в виде четырех взаимно перпендикулярно расположенных ходовых винтов с запяточником на рабочем конце, размещенных в центральном отверстии зубчатых колес» (рис. 3) [7].

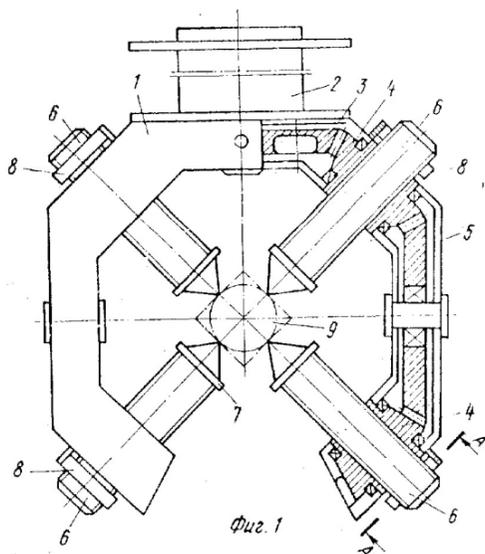


Рис. 3. Захват из патента SU1645138 [7]

Основными необходимыми доработками в данной конструкции являются:

1. Увеличение количества лучей (с четырех до пяти);
2. Изменение способа предотвращения проворачивания ходового винта (в данный момент это осуществляется с помощью П-образной пружины);
3. Добавление корпуса для лучей;
4. Добавление скоб для крепления к колесу.

Для увеличения количества лучей необходимо изменить межосевой угол зубчатой передачи. В настоящее время он равен $\Sigma=90^\circ$. По несложной формуле можно подсчитать, что для пяти лучей он будет составлять $\Sigma=72^\circ$.

Для предотвращения проворачивания ходового винта воспользуемся шпоночным соединением.

Готовый прототип конструкции грунтозацепа представлен на рис. 4 (на рисунке не изображены стопорные кольца и некоторые части элементов корпуса).

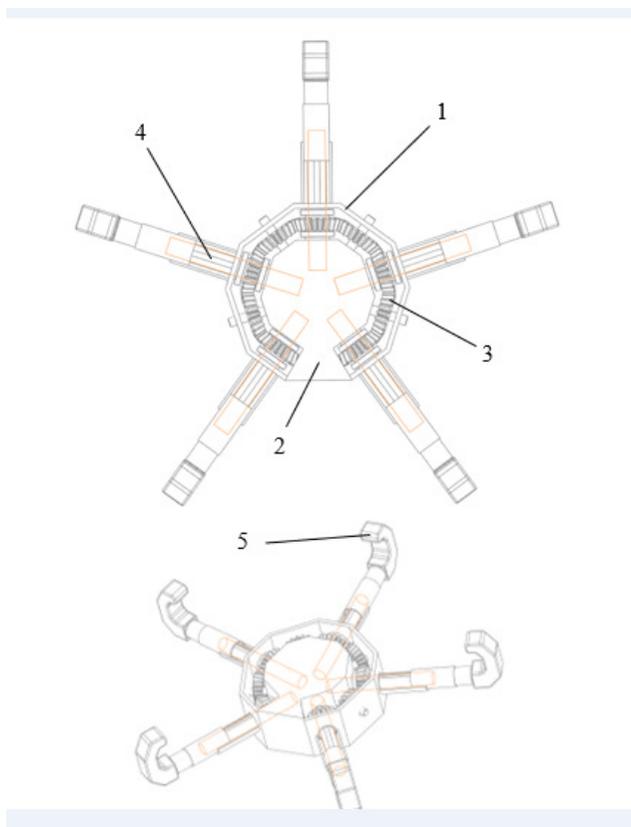


Рис. 4. Прототип конструкции грунтозацепа:

- 1 – корпус; 2 – привод; 3 – коническое зубчатое колесо;
4 – ходовые винты; 5 – скобы для крепления на колесо

Полученный прототип обладает повышенной точностью и надежностью по сравнению с другими вариантами устройств противоскольжения типа «Краб» за счет кинематики в виде конических зубчатых колес, а также имеет возможность для усовершенствований как в дизайне, так и в механизме передачи (подбор оптимальных параметров зубчатых колес).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Евдокимов И.* Экстремальная дюжина. 12 шин категории Extreme / И. Евдокимов // Журнал «4x4 Club». 2018. №09. URL: <https://4x4.media/40582-ekstremalnaya-duyzhina-12-shin-kategorii-extreme.html?ysclid=m3mk2q9bo812763341> (дата обращения: 08.11.2024).
2. Патент №RU217665U1. Противобуксовочное приспособление для колесной техники // Роспатент: [сайт]. URL: <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWU1/000/000/000/217/665/%D0%9F%D0%9C-00217665-00001/DOCUMENT.PDF> (дата обращения: 08.11.2024).
3. Патент №RU2023598C1. Противобуксовочное устройство // Роспатент: [сайт]. URL: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002023598&TypeFile=html (дата обращения: 08.11.2024).
4. Патент №RU2709510C1. Быстросъемное устройство противоскольжения // Роспатент: [сайт]. URL: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0002709510&TypeFile=html (дата обращения: 08.11.2024).
5. Патент №WO2024194097A1. Removable grip device for a motor vehicle wheel (Съемное захватное устройство для колеса автомобиля) // Espacenet: [сайт]. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/087555017/publication/WO2024194097A1?q=WO2024194097A1> (дата обращения: 08.11.2024).
6. Патент №RU191328U1. Устройство антибуксовочное // Роспатент: [сайт]. URL: <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWU1/000/000/000/191/328/%D0%9F%D0%9C-00191328-00001/DOCUMENT.PDF> (дата обращения: 08.11.2024).
7. Патент №SU1645138. Захват // Роспатент: [сайт]. URL: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=0001645138&TypeFile=html (дата обращения: 08.11.2024).

ПРОБЛЕМАТИКА ПЕРЕВОДА МИНИТРАКТОРА НА ЭЛЕКТРОПРИВОД

Н.А. Тихонов, Л.М. Шамахов

Научный руководитель – **Л.М. Шамахов**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

Статья посвящена анализу вопросов и возможных решений, возникающих при переходе минитракторов на электропривод. Также рассмотрена конструкция для передачи крутящего момента.

***Ключевые слова:** транспорт, трактор, электродвигатель, электропривод, системы управления*

THE PROBLEM OF TRANSFERRING A MINITRACTOR TO AN ELECTRIC DRIVE

N.A. Tikhonov, L.M. Shamakhov

Scientific Supervisor – **L.M. Shamakhov**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

The article is devoted to the analysis of issues and possible solutions that arise during the transition of minitractors to an electric drive. The design for torque transmission is also considered.

***Keywords:** transport, tractor, electric motor, electric drive, control systems*

Целью работы является обзор трудностей и возможных технических решений, связанных с переводом минитрактора на электропривод.

В последние годы все больше внимания уделяется переходу от традиционных источников энергии к более экологически чистым и эффективным вариантам. В этом контексте перевод минитракторов на электропривод представляет собой перспективное направление сразу для нескольких сфер деятельности. Однако этот процесс сопровождается рядом технических, экономических и эксплуатационных трудностей, которые необходимо учитывать. Исходя из ранее проанализированных перспектив и достоинств электропривода студентами Ярославского государственного технического университета была начата разработка минитрактора на

электроприводе. В статье рассмотрены основные решения возникших вопросов при конструировании такой машины.

Для передвижения и возможности использования навесного оборудования такого типа техники необходима передача крутящего момента от выходного вала двигателя к входному валу редуктора. Для этого, исходя из имеющихся комплектующих и места под крепление, была разработана специальная конструкция передачи, представленная на рис. 1. Она заключается в передаче крутящего момента от двигателя 1 через цепную передачу 2 на промежуточный вал 5, далее через ременную передачу 3 на входной вал редуктора 4.

Такая конструкция проста в изготовлении и обслуживании. Также планируется установка защиты от грязи и других объектов, которые могут повредить механизм. За счет установки компонентов передачи вместо двигателя внутреннего сгорания (ДВС), габариты машины не увеличиваются и обеспечивается комфортное и безопасное использование машины.

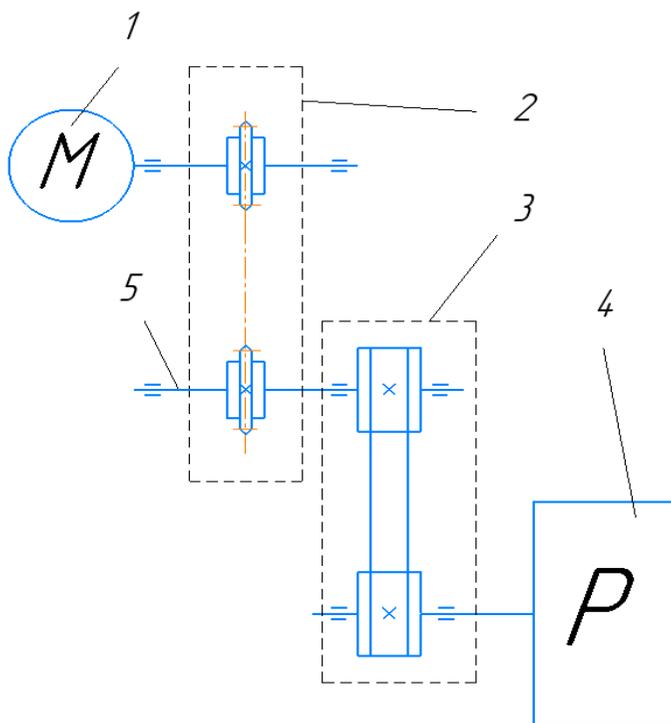


Рис. 1. Кинематическая схема передачи

В ходе разработки электроминитрактора возник вопрос о размещении компонентов электропривода. Для решения этого вопроса были созданы 3D-модели элементов привода и установлены на модель минитрактора с отсутствующими деталями классического привода от ДВС. Чтобы создать модель всей машины и деталей привода, использовался реверс-инжиниринг, т. е. создание моделей по существующим образцам. Для этого были измерены детали конструкции минитрактора и элементы электропривода, затем были созданы эскизы, а по ним выполнены модели.

Самым крупным элементом является аккумулятор. Было принято решение создать раму-подвес для размещения в передней части машины, как показано на рис. 2 и 3. Данная рама будет изготовлена с помощью сварного соединения профилей и крепится к раме трактора на болты. Так как аккумулятор ставится на раму, решено было использовать прокладку из резины, для снижения вибраций и ударов, и обеспечения совместимости отверстия под крепежные болты, на которые аккумулятор крепится к раме-подвесу. Такое размещение аккумулятора даёт ряд преимуществ. Во-первых, обеспечивается удобный и легкий доступ к разъему под зарядку аккумулятора. Во-вторых, за счет веса аккумулятора решается проблема недостаточного сцепления передних колес с дорожным покрытием, данная проблема была замечена при использовании исходного минитрактора с приводом ДВС.

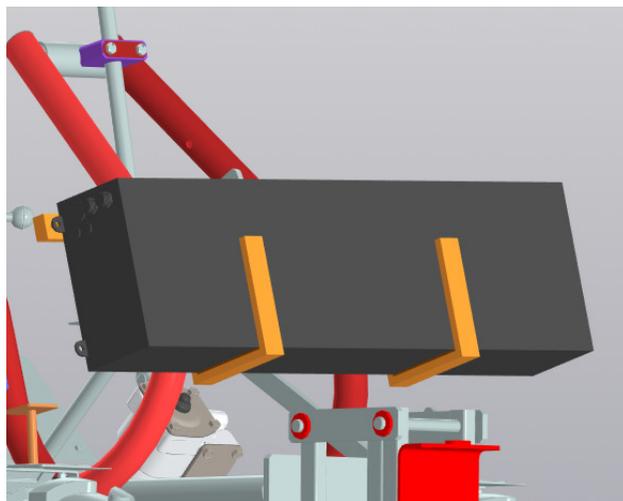


Рис. 2. Размещение аккумулятора, вид спереди

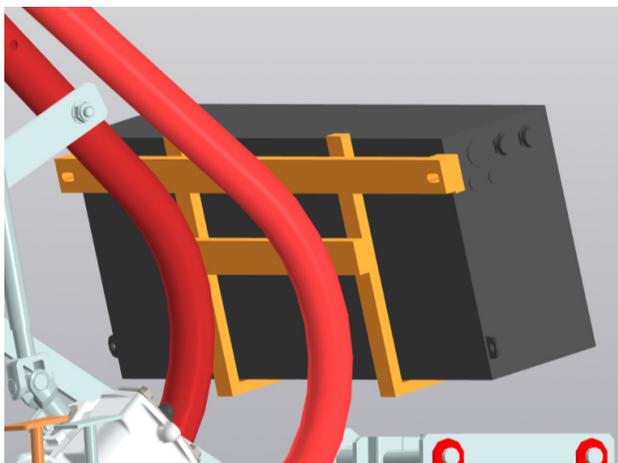


Рис. 3. Размещение аккумулятора, вид сзади

Также необходимо разместить элементы передачи – электродвигатель и промежуточный вал. Место под них было выбрано там, где ранее находился снятый двигатель внутреннего сгорания. На рис. 4 обозначены следующие компоненты системы: электродвигатель 1, промежуточный вал 3, которые закреплены на металлических подставках 5 и 4 соответственно. Эти металлические пластины будут изготовлены методом плазменной резки и последующей гибки листового металла с использованием специализированного оборудования. Крутящий момент передается через ремень, который соединяет промежуточный вал с валом редуктора, при этом натяжение ремня регулируется прижимным роликом 2. Этот способ расположения компонентов электропривода был выбран как оптимальный благодаря своей доступности в изготовлении с имеющимся оборудованием, надежности и простоте обслуживания. В случае возникновения неисправностей ремонт не потребует значительных затрат, так как все необходимые детали можно без труда найти у отечественных поставщиков, что снижает зависимость от импортных комплектующих.

Стоит отметить, что вес минитрактора увеличился не значительно. Это связано с тем, что, заменив двигатель внутреннего сгорания на электродвигатель, вес всей конструкции снизился, а при установке аккумулятора вернулся почти в свои прежние значения.

Для удобства эксплуатации и безопасности в конструкцию введены тормоза дискового типа (рис. 5). Конструкция включает в себя диск 1, вал редуктора 2, шкив 3.

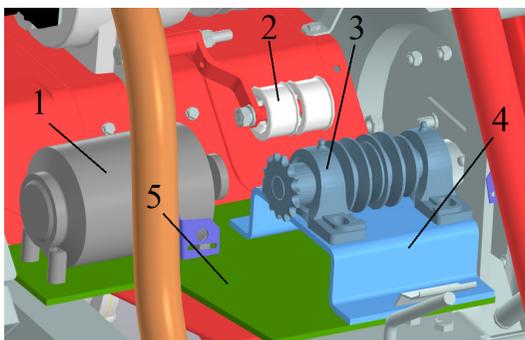


Рис. 4. Элементы передачи

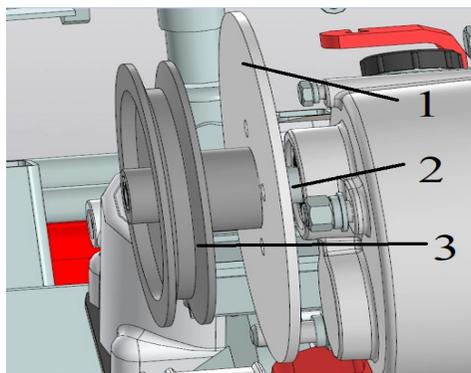


Рис. 5. Конструкция тормоза

Одной из главных проблем при переходе на электрические двигатели является ограниченный запас хода, который напрямую зависит от емкости аккумулятора. Для мототракторов, работающих в различных условиях и использующих разное навесное оборудование, это может стать серьезным препятствием, так как они часто требуют длительной работы без подзарядки. Решением данного вопроса может послужить использование аккумуляторов высокой емкости.

Переоборудование мототрактора под электропривод требует значительных финансовых вложений. Элемент конструкции, наиболее увеличивающий стоимость машины – аккумулятор, так как в нем используются дорогостоящие материалы, такие как медь, литий, никель, кобальт и графит. Стоимость электродвигателей и других компонентов, по сравнению с дизельными аналогами, почти такая же. С учетом экономии топлива из-за отсутствия ДВС использование электропривода очень актуально.

Но необходимо учитывать дороговизну аккумулятора.

Этот вопрос был решен сотрудничеством с производителями техники, автозапчастей, а также элементов электропривода. Технику для переоборудования и комплектующие привода предоставили такие компании, как: «АГАТ» - город Гаврилов-Ям, «Тофалар» - город Тутаев.

Операторы машин привыкли работать с традиционной техникой, применение которой не вызывает особых трудностей. Хотя использование электропривода простое и интуитивное, в некоторых ситуациях переход на электропривод потребует новых знаний и навыков.

Данный вопрос снимается разработкой короткой, но простой для изучения инструкцией по эксплуатации и решению возможных неисправностей. Также стоит отметить, что электрические системы зачастую менее подвержены поломкам благодаря своей простоте и отсутствию сложных механических узлов.

Перевод минитрактора на электропривод – это шаг в будущее, который имеет множество преимуществ, включая снижение выбросов вредных веществ, уменьшение шума и повышение энергоэффективности.

Несмотря на существующие трудности, их анализ и разработка уникальных решений позволяют успешно преодолевать эти проблемы. С каждым годом оборудование становится дешевле и надежнее, а инфраструктура зарядки развивается, делая переход на электрическую тягу для техники все более привлекательным вариантом, в том числе и для минитракторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Панченко С.Л.* Перспектива перехода автомобильного транспорта на электропривод как одно из направлений обеспечения экологической безопасности атмосферного воздуха / С.Л. Панченко, С.А. Толстов // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, посвященной проведению в Российской Федерации Года науки и технологий в 2021 году и 55-летию учебного заведения, Иваново, 10–11 ноября 2021 года. Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2021. С. 478–482. EDN GTDWJX.
2. *Девянин С.Н.* Проблемы развития электропривода АТС / С.Н. Девянин, А.В. Шабанов, А.А. Савастенко // Автомобильная промышленность. 2021. № 12. С. 4–7. EDN YGUXTB.
3. *Багаев А.А.* Современное состояние и перспективы развития электропривода // Вестник АГАУ. 2003. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-elektroprivoda>

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УПОРА ДЛЯ СТРЕЛЬБЫ СТОЯ

Е.Д. Федорова¹, А.В. Греков²

Научный руководитель – А.В. Греков, ассистент

¹ООО «Ярославское стрелково-техническое бюро»

²Ярославский государственный технический университет

Предлагается вариант модернизации конструкции деталей приспособлений индивидуальных спортивных изделий (на примере упора для стрельбы стоя) и технологии изготовления, с использованием FDM-технологии. Рассматривается вопрос выбора материала и параметров печати.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, FDM-технология, оружейное дело, пулевая стрельба, кастомизация спортивных принадлежностей, упор (опора для ладони)

MODERNIZATION OF DESIGN AND MANUFACTURING TECHNOLOGY A FORE-END RAISER BLOCK FOR STANDING SHOOTING

E.D. Fedorova¹, A.V. Grekov²

Scientific Supervisor – A.V. Grekov, Assistant

¹LLC «Yaroslavl Shooting and Technical Bureau»

²Yaroslavl State Technical University

An option is proposed for modernizing the design of parts of devices for individual sports products (using the example of a stand for standing shooting) and manufacturing technology using FDM technology. The issue of choosing material and printing parameters is considered.

Keywords: additive technologies, 3D-printing, FDM-technology, gunsmithing, bullet shooting, customization of sports accessories, fore-end raiser block (palm support)

Появление аддитивных технологий привело к радикальному изменению способов производства спортивного инвентаря. Последняя пара десятилетий охарактеризовалась прогрессом в области материаловедения, нетиповых инженерных решениях и технологиях, что привело к созданию спортивного инвентаря, оборудования и экипировки, которое не

только улучшает результаты, но и гарантирует безопасность использования и индивидуализацию под спортсмена. Подобные инновации в способе изготовления экипировки и инвентаря существенно видоизменяют способы тренировок и выступлений спортсменов, помогая им достигать новых рекордов.

Так, например, предлагается усовершенствованная технология получения трехмерных ортогональных тканей, областью применения которой авторы статьи видят применение технологии при производстве спортивной экипировки. Преимуществом экипировки, изготовленной по такой технологии, является малая чувствительность к расслаивающим нагрузкам ввиду отсутствия выраженных слоев в армирующем наполнителе [1].

К изготовлению методом 3D-печати спортивной экипировки можно также отнести печать подошвы кроссовок для бега, подробно рассмотренную в работе [2]. В этом исследовании была спроектированы несколько моделей подошвы беговой обуви с различным типом структуры, произведена оценка созданных вариантов методом конечных элементов и выявлена оптимальная структура (хиральная).

Однако 3D-печать применяется не только как альтернативная технология производства спортивной одежды и обуви, но и как способ изготовления инвентаря и приспособлений. В статье [3] рассматривается проектирование и дальнейший анализ с испытаниями изготовленной методом FDM-печати из PLA пластика конструкции досок для водных видов спорта (для серфинга, кайтсерфинга и скимбординга). Один из вариантов модели – со структурой, вдохновленной сотами, показал наилучшие результаты сопротивлению изгиба доски.

Также известно применение аддитивных технологий в качестве технологии изготовления защитных щитков для голеней, использующихся в подвижных играх. В статье [4] выявлены оптимальные настройки печати данного изделия из TPU+PETG филамента для достижения требуемых параметров ударной прочности.

Несмотря на широкое использование 3D-печати для производства спортивного инвентаря и экипировки в целом, технология 3D-печати спортивного оружия и приспособлений к нему только начинает развиваться.

Один из ярких примеров использования данного метода показан в работе [5]). В данной статье приводится пример топологической оптимизации затыльника к винтовке, используемой в биатлоне, и его дальнейшее изготовление путем FDM-технологией. Для получения геометрических параметров формы затыльника авторами работы было проведено 3D-сканирование плеча спортсмена, на основе этих данных разработана предварительная конструкция затыльника, которая далее была топологически оптимизирована с учетом анизотропии ортотропного материала и

влияния направления печати, при сохранении необходимой жесткости конструкции. Поскольку топологически оптимизированная конструкция содержала локальные тонкостенные участки, где были сосредоточены напряжения, авторами работы было проведено дополнительное усиление конструкции. После этого был выбран тип заполнения для печати и произведена печать полученной модели изделия. Результат анализа МКЭ показал улучшение удельной жесткости (на 12,7%). Безопасность конструкции была оценена испытаниями на сжатие. Было обнаружено, что затыльник винтовки выдерживает нагрузку 13,92 кН, что соответствует ее весу в 14 294 раза (99,4 г). Этот результат соответствует улучшению на 40% по сравнению с исходным проектом, что указывает на то, что предлагаемый проект, основанный на топологической оптимизации, превосходит исходный проект. Учитывая, что затыльник весит менее 100 г, его можно использовать в реальных соревнованиях по биатлону без существенного увеличения веса винтовки, что крайне важно для спортсменов.

Из приведенного выше обзора видно, что основными проблемами, вытекающими из использования традиционных материалов для изготовления спортивной экипировки и приспособлений (а в частности, и к спортивному стрелковому оружию), является высокая стоимость производства и длительность изготовления деталей, что приводит к высокой стоимости изделий и, как следствие, недоступности приспособлений большей доле спортсменов. Использование 3D-печати как способа изготовления некоторой части деталей изделия решает данную проблему за счет использования материалов и оборудования низкой стоимости, простоты разработки технологического процесса, автоматизации изготовления деталей. Однако, при изготовлении ряда нагруженных деталей с помощью аддитивных технологий, очень остро встает вопрос о надежности и безопасности такой конструкции, при условии испытывания ей постоянной статической и эпизодической динамической нагрузки.

Целью данной работы являлась модернизация конструкции и технологии изготовления упора (опоры для ладони) с использованием 3D-печати.

Данная цель была разбита на следующие задачи:

1. Анализ недостатков прототипа, изготовленного по патенту на полезную модель RU 229 587 U1 FDM-технологией [6];
2. Перепроектирование 3D-моделей деталей и сборки упора;
3. Выбор и обоснование метода печати, материалов и оборудования;
4. Изготовление макета упора с использованием аддитивных технологий;
5. Изготовление упора с использованием металлообработки и аддитивных технологий;
6. Проверка работоспособности и ключевых характеристик изделия.

Упор (опора для ладони) – это любое удаляемое устройство или выступ под цевьём, которое служит опорой винтовки для руки, которая находится впереди при стрельбе стоя [7].

Проанализируем существенные недостатки изготовления всех деталей данного приспособления по патенту RU229 587U1 [6] методом 3D-печати. В статье [8] был показан опытный образец (рис. 1 и 2), проходивший эксплуатационные испытания со статической нагрузкой на момент написания статьи.

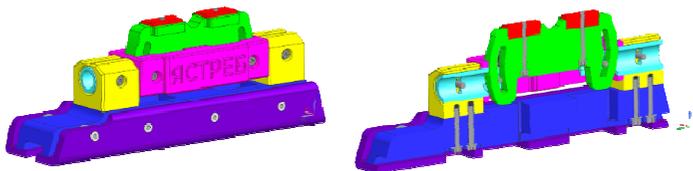


Рис. 1. Конструкторская модель сборки упора, проходившего эксплуатационные испытания

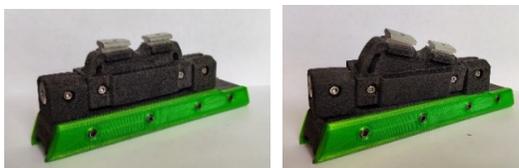


Рис. 2. Изготовленный образец упора

В дальнейшем, в ходе эксплуатационных испытаний, был выявлен ряд проблем, связанных с группой деталей, выполненных из TPU-пластика методом FDM-технологии:

- При сильной затяжке винтовых зажимов и многократном использовании упора возникал сдвиг слоев и, как следствие, разрушение деталей;
- В качестве ответных деталей в винтовом соединении использовались впаиваемые втулки с внутренней резьбой. При большом натяге втулки вырывало из тела детали, делая детали неработоспособными;
- TPU-пластик требовал продолжительной постобработки после печати. Данная абразивная обработка являлась крайне трудоемкой в связи с небольшими габаритами деталей и наличием труднодоступных отверстий и пазов.

В связи с вышеуказанными проблемами была осуществлена попытка изготовить данную группу деталей из нейлона с наполнением стеклопластиком (PA6 GF, производитель – REC), дополнительно отредактировав 3D-модели таким образом, чтобы форма деталей была упро-

цена, а отверстия под впаивание втулок были заменены отверстиями под прямоугольные гайки (рис. 3).

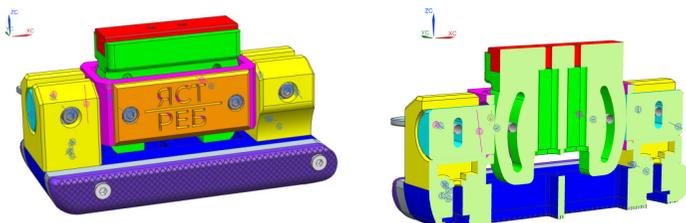


Рис. 3. 3D-модели, спроектированные под печать FDM-технологией из PA6 GF

В результате из PA6 GF была изготовлена деталь «Корпус», как наиболее подверженная разрушению из-за сдвига и отрыва слоев при печати. Данный материал, в контексте использования, проявил себя как плохо сжимающийся, усилие затяжки должно было быть крайне большим, что также несло бы для конечного потребителя неудобства. В ходе тестовой проверки выяснилось, что при усилии затяжки, равном 1,04 Н·м (измерения проводились при помощи динамометрического ключа), проявляется сдвиг слоев и дальнейшее разрушение детали. В связи с вышеописанными фактами от идеи использования пластикового филамента для группы деталей, входящих в подъемный механизм упора для стрельбы, было решено отказаться.

Дальнейшая работа строилась с жесткой привязкой к металлу, как материалу изготовления деталей, входящих в подъемный механизм упора для стрельбы стоя. В связи с этим, детали «Корпус» и «Ось» (2 шт.) были объединены в одну. Результат создания 3D-моделей данных деталей показан на рис. 4: зажимы (2 шт., см. на рис. 1, 3, 4 – желтые), пластина (1 шт., на рис. 1, 3, 4 – зеленая), корпус (1 шт., см. на рис. 1, 3, 4 – розовый). Данные детали проектировались исходя из разработанных в [8] технических требований к изделию.

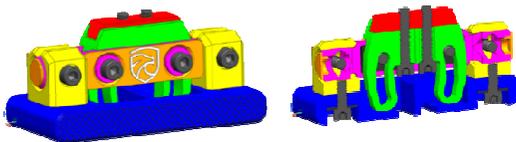


Рис. 4. 3D-модели, спроектированные под металлообработку, в сборке

Крепления к винтовке, в целях обеспечения универсальности приспособления, разрабатывались под два типоразмера ответных планок малокалиберных и пневматических винтовок: на цевье винтовок под планку

на советском фонде спортивных винтовок и современных российских моделях (первый изготовленный образец имел крепления только под планки советского и российского производства) и под стандартную евро шину (рис. 5).

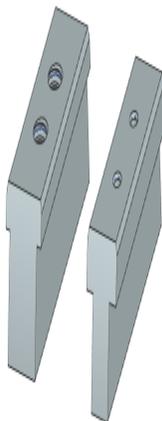


Рис. 5. 3D-модели креплений к двум типоразмерам шин на цевье винтовки

Для дальнейшего изготовления данной группы деталей был принят алюминиевый сплав АМгб.

Перед изготовлением полноценного тестового образца, включающего в себя группу нагруженных деталей из АМгб, был напечатан макетный образец из PETG-пластика для проверки работоспособности заложенного функционала (за исключением выдерживания статической и динамической нагрузок), геометрических характеристик и эргономики изделия. Полученный макетный образец показан на рис. 6.

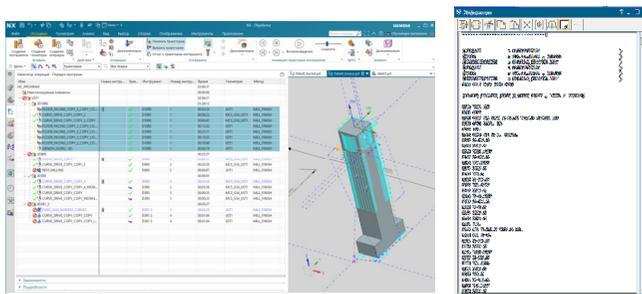


Рис. 6. Макетный образец из PETG-пластика с комплектом сменных оснований разной ширины

Анализ созданного макета дал возможность увидеть некоторые недоработки в конструкции (неверно заданные допуски на размеры соприкасающихся деталей). С незначительными изменениями в конструк-

ции нагруженные детали было принято изготовить на 5-осевом фрезерном центре с ЧПУ DMG Deckel Maho DMU 70 Evolution.

Для изготовления спроектированных и доработанных деталей были написаны управляющие программы (далее – УП) для обработки (под систему ЧПУ Sinumerik 840D) в CAD-/CAM-/CAE-системе NX 1973 (рис. 7).



Для производства оснований и декоративных накладок материалом был назначен PETG-пластик (производитель – НИТ), т.к. данный материал обладает достаточной прочностью, был отработан при создании прошлого тестового образца и при этом является экономически выгодным для производства.

В качестве оборудования использовался FDM-принтер Bambu Lab P1S. Настройки печати данного принтера и нарезка детали в слайсере Bambu Studio [10] показаны на рис. 9 и 10.

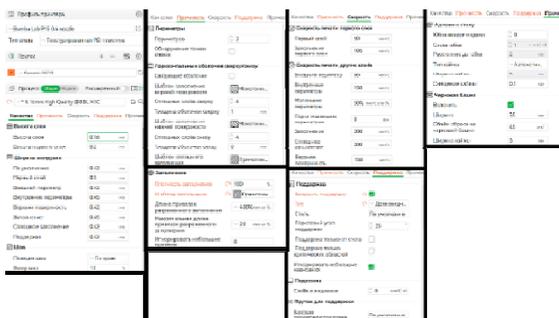


Рис. 9. Наиболее важные настройки печати деталей из PETG-пластика

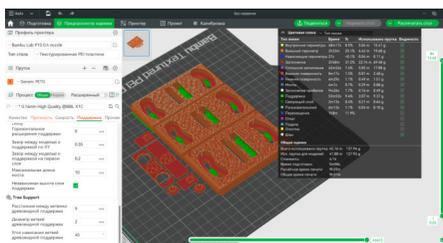


Рис. 10. Нарезка одного комплекта деталей из PETG на слои в Bambu Studio

Изготовленный образец показан на рис. 11 и 12.



Рис. 11. Изготовленный образец упора



Рис. 12. Изготовленный образец упора на винтовках Ataman M2R Sport Match Премиум (РФ), Walter LG300 Anatomic (Германия), Steyr Challenge (Австрия) и Gruning + Elmiger R3 Racer (Швейцария)

Геометрические и весовые характеристики изделия совпадают с заданными. На данный момент изделие успешно прошло эксплуатационные испытания со статической нагрузкой.

При оценке возможностей применения аддитивных технологий как метода изготовления приспособлений для спортивной стрельбы было выяснено, что использование FDM-технологии для производства устройств к спортивным винтовкам является ограничено применимым, в зависимости от решаемой задачи и служебного назначения детали.

В ходе работы был проведен анализ недостатков прототипа, изготовленного по патенту на полезную модель. Выяснилось, что для группы нагруженных деталей данный способ изготовления не является оптимальным. Были перепроектированы 3D-модели деталей и сборки упора, с учетом последующего изготовления нагруженной группы материала из АМг6. Выбран метод печати – FDM-технология, материал – PETG-пластик и оборудование – 3D-принтер Bambu P1S для изготовления ненагруженной группы деталей. Для проверки геометрических параметров и, частично, функционала был напечатан макетный образец полностью из PETG-пластика. После некоторых доработок был создан тестовый образец из АМг6 и PETG, отражающий весь заложенный при разработке и корректировке в процессе модернизации, функционал. Геометрические и весовые характеристики тестового образца совпали с заданными. Тестовый образец успешно прошел эксплуатационные испытания со статической нагрузкой.

Цель работы, заключающаяся в модернизации конструкции и технологии изготовления, выполнена в полном объеме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гречухин А.П.* Новый способ формирования 3D-ортогональных тканей, виртуальная реальность и 3D-печать / А.П. Гречухин, П.Н. Рудовский // *Технология текстильной промышленности*. 2019. № 6 (384). С. 35-38. URL: https://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2020/07/384_6.pdf (дата обращения: 14.11.2024)
2. 3D printed sports shoe Midsoles: Enhancing comfort and performance through finite element analysis of negative Poisson's ratio structures / Sun, Yue, Qixuan Zhou, Wenxin Niu, Shichen Zhang, Kit-lun Yick, Bingfei Gu, Wang Xu // *Materials & Design*. Amsterdam: Elsevier, 2024. С. 245-251. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127524006671> (дата обращения: 14.11.2024)
3. 3D Printing On-Water Sports Boards with Bio-Inspired Core Designs / A. Soltani, R. Noroozi, M. Bodaghi, A. Zolfagharian, R. Hedayati // *Polymers* №12. Basel: MDPI, 2020. P. 250-257. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/1/250> (дата обращения: 14.11.2024)
4. Characterization of FDM 3D Printed Parts Using TPU+PETG Filaments For Shin Guard Products / Mahros Darsin, Sumarji, Agit Yoga Yulio, Ahmad Syuhri, Mochamad Edoward Ramadhan, I Made Ivan W.C.S // *Jurnal Polimesin*. 2024. Vol. 22. Lhokseumawe: Politeknik Negeri Lhokseumawe, С. 120-124. URL: <https://ejurnal.pnl.ac.id/polimesin/article/view/4122> (дата обращения: 14.11.2024)
5. *Park J.H.* Topology optimization and additive manufacturing of customized sports item considering orthotropic anisotropy / J.H. Park, B. Goo, K. Park // *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. 2019. Т. 20. P. 1443-1450.
6. Патент № 229587 Российская Федерация, МПК F41C 23/16 (2006.01). Опора для ладони для стрельбы стоя: № 2024114302: заявл. 27.05.2024: опубл. 15.10.2024 / Федорова Е.Д., Ключников А.С., Порсев К.И. URL: https://new.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=229587&TypeFile=html (дата обращения: 14.11.2024)
7. Правила вида спорта "Пулевая стрельба" (утв. приказом Министерства спорта РФ от 29 декабря 2017 г. № 1137). URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71752622/#review> (дата обращения: 02.11.24).
8. Аддитивное производство индивидуальных спортивных изделий на примере изготовления упора для стрельбы стоя / Е.Д. Федорова, Г.С. Адеев, Д.В. Удалов, А.М. Шапошников // Семьдесят седьмая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. Сборник материалов конференции. Ярославль: ЯГТУ, 2024. С. 19-24. URL: <https://ystu.ru/files/2024/%D0%9D%D0%A2%D0%9A-2024.%20%D0%A7.%202.pdf> (дата обращения: 14.11.2024)
9. *Canessa E.* Low-cost 3D printing for science, education sustainable development / E. Canessa, C. Fonda. М.: Zennaro, 2013. 202 с.
10. Bambu Studio // Bambu Lab: [site]. URL: <https://bambulab.com/en/download/studio> (дата обращения: 14.11.24).

РАСПЫЛИТЕЛИ ЖИДКОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТИПА

А.И. Шевцова, А.Е. Лебедев

Научный руководитель – **А.Е. Лебедев**, д-р техн. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматриваются распылители жидкости для различных отраслей промышленности при проведении процесса высушивания растворов, организации реакционных и массообменных процессов. В первом распылителе распылительная насадка установлена с эксцентриситетом с целью получения равномерного распределения концентрации жидкой фазы по длине орошаемой зоны, во втором распылителе к внешней поверхности распылительной насадки присоединены с возможностью углового смещения перфорированные кольца с квадратной формой отверстий.

Ключевые слова: центробежный распылитель жидкости, установка распылительной насадки с эксцентриситетом, изменяемая форма отверстий

CENTRIFUGAL LIQUID SPRAYER

A.I. Shevtsova, A.E. Lebedev

Scientific Supervisor – **A.E. Lebedev**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

The article discusses liquid sprayers for various industries during the drying process of solutions, the organization of reaction and mass transfer processes, characterized in that in the first sprayer the spray nozzle is installed with an eccentricity in order to obtain a uniform distribution of the concentration of the liquid phase along the length of the irrigated zone, in the second sprayer perforated nozzles are attached to the outer surface of the spray nozzle with the possibility of angular displacement rings with square shaped holes.

Keywords: centrifugal liquid sprayer, installation of a spray nozzle with eccentricity, variable hole shape

В настоящее время в химической и других отраслях промышленности существует большое разнообразие конструкций распылителей.

По способу распыливания выделяют механическое, электрическое, ультразвуковое и пневматическое (газовое) распыление.

Наибольшее распространение в химической и смежных отраслях получили распылители механического типа.

К механическим распылителям относят форсунки давления, центробежные распылители, ударно-струйные аппараты, а также комбинированные устройства.

Недостатками форсунок давления является засорение сопел при распыливании загрязненных жидкостей, а также необходимость применения насосного оборудования для получения высоких давлений на впуске.

Этих недостатков лишены распылители центробежного типа. В центробежных аппаратах жидкость поступает на быстро вращающийся распыливающий орган, засорение которого практически невозможно.

Несмотря на многообразие конструкций распылительных устройств, проблема получения качественного однородного распыла решена неокончательно.

Проанализировав достоинства и недостатки существующих устройств, нами были предложены новые конструкции распылителей центробежного типа:

1) центробежный распылитель жидкости с распылительной насадкой, установленной с эксцентриситетом; имеющий высокое качество распыла, позволяющий получить разреженный поток с равномерным распределением объемной плотности капель в аппарате для задач химической и других отраслей промышленности;

2) центробежный распылитель жидкости с изменяемой формой отверстий, имеющий высокое качество распыла и позволяющий регулировать размер капель и их объемную плотность.

Центробежный распылитель жидкости с распылительной насадкой, установленной с эксцентриситетом.

Предлагаемое устройство предназначено для распыления жидкостей в химической, пищевой и других отраслях промышленности. Наиболее целесообразно использование центробежного распылителя жидкости при проведении процесса высушивания растворов, при организации реакционных и массообменных процессов.

Задачей разработки является создание центробежного распылителя жидкости, имеющего высокое качество распыла, позволяющего получить разреженный поток с равномерным распределением объемной плотности капель в аппарате для задач химической и других отраслей промышленности. Схема разработанного устройства показана на рис. 1.

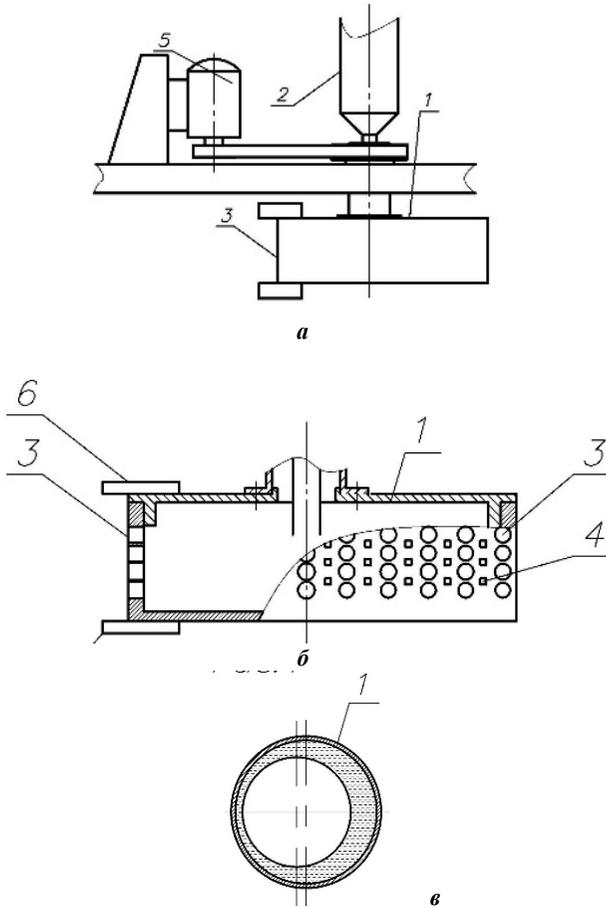


Рис. 1. Центробежный распылитель жидкости с эксцентриситетом:
а - общий вид; *б* - сечение насадки; *в* - схема размещения жидкости

Центробежный распылитель жидкости содержит распылительную насадку 1, устройство загрузки 2, отверстия 3 и 4, расположенные горизонтальными рядами. Вращение распылительной насадки производится от привода 5. Для снижения инерционной нагрузки, вызванной смещением оси вращения насадки (эксцентриситета) установлены противовесы 6.

Центробежный распылитель работает следующим образом.

Подлежащая распылению жидкость или раствор поступает из устройства загрузки 2 во внутреннюю полость распылительной насадки 1, вращающейся от привода 5. Под действием центробежных сил жидкость

поднимается по ее внутренней стенке, проходит через отверстия 3 и 4 в боковой поверхности и распыляется.

С целью получения равномерного распределения концентрации жидкой фазы по длине орошаемой зоны (расстояния от оси вращения) распылительная насадка установлена с эксцентриситетом. При таком исполнении распылительной насадки толщина столба жидкости в ней увеличивается пропорционально расстоянию от оси вращения.

С ростом толщины жидкостного столба, а следовательно, и давления жидкости на стенку скорость истечения жидкости из отверстий повышается, что приводит к возрастанию дальности полета струй и образованных при их распаде капель.

Таким образом, частицы жидкости, вылетающие из отверстий наименее удаленных от центра распылительной насадки, движутся ближе к оси распылительной камеры, чем капли струй, вылетающих из отверстий, находящихся на большем удалении.

Для получения равномерного распределения объемной плотности капель по высоте орошаемой зоны между горизонтальными рядами отверстий размещены отверстия меньшего размера квадратного сечения, обеспечивающие заполнение «пустых» участков между потоками капель, вытекающими из отверстий 3.

Наличие таких областей обусловлено тем, что при истечении жидкости из отверстий 3 сформированные факелы имеют в сечении нормальный закон распределения, при этом по краям потоков наблюдается образование зон с пониженным содержанием капель.

Квадратная форма отверстий 4 позволяет получить разреженные потоки, структура которых наиболее полно позволяет выровнять концентрацию частиц в общем потоке.

Достижение равномерного распределения объемной плотности (концентрации) частиц приведет к повышению эффективности массо-теплообменных процессов и снижению энергозатрат.

Данный центробежный распылитель жидкости при простой конструкции позволяет получить распыл высокого качества с равномерным распределением капель по сечению аппарата.

Другой конструкцией распыливающего устройства является распылитель жидкости центробежного типа с изменяемой формой отверстий.

Данный аппарат предназначен для распыления жидкостей в химической, пищевой и других отраслях промышленности. Наиболее целесообразно использование центробежного распылителя жидкости при проведении процесса высушивания растворов, при организации реакционных и массообменных процессов.

Схема разработанного устройства показана на рис. 2.

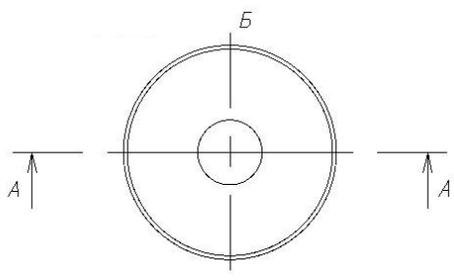
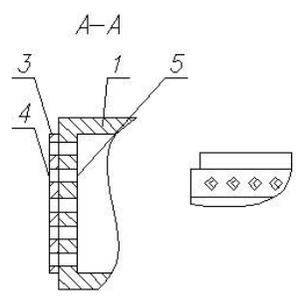
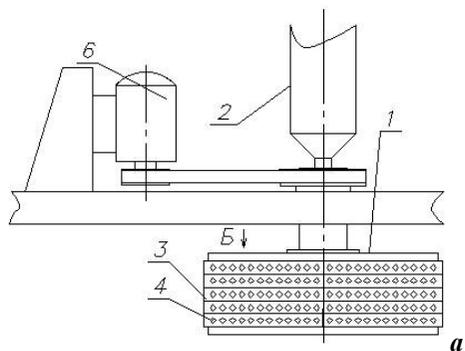


Рис. 2. Центробежный распылитель жидкости с изменяемой формой отверстий:
а - общий вид; *б* - сечение насадки; *в* - схема

Центробежный распылитель жидкости содержит распылительную насадку 1, устройство загрузки 2, кольца 3. В распылительной насадке и кольцах выполнены отверстия 4 и 5, расположенные горизонтальными рядами и имеющие форму квадрата. Вращение распылительной насадки производится от привода 6.

Центробежный распылитель работает следующим образом.

Подлежащая распылению жидкость или раствор поступает из устройства загрузки 2 во внутреннюю полость распылительной насадки 1, вращающейся от привода 5. Под действием центробежных сил жидкость поднимается по ее внутренней стенке, проходит через отверстия 4 и 5 и распыляется.

Наличие на внешней поверхности распылительной насадки расположенных друг над другом перфорированных колец с квадратными отверстиями позволяет угловым перемещением изменять их размер (при перекрытии отверстий в насадке и кольцах), что позволяет регулировать диаметр образуемых капель и изменять пропускную способность. Выполнение отверстий в виде квадрата, одна из диагоналей которого вертикальна, позволяет при угловом смещении сохранять постоянную форму.

Регулировкой проходных сечений отверстий существует возможность получения потока с требуемыми параметрами распределения объемной плотности, в том числе и равномерным.

Данный центробежный распылитель жидкости при простой конструкции позволяет получить распыл высокого качества.

Центробежный распылитель жидкости, содержащий устройство загрузки, распылительную насадку, на боковой поверхности которой выполнены отверстия, расположенные горизонтальными рядами, отличающийся тем, что к внешней поверхности распылительной насадки присоединены с возможностью углового смещения расположенные друг над другом перфорированные кольца, а отверстия в насадке и кольцах имеют квадратную форму, причем одна из диагоналей отверстий расположена вертикально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пажи Д.Г.* Основы техники распыления жидкостей / Д.Г. Пажи, В.С. Галузов. М.: Химия, 1984. 216 с.
2. Пат. №2435650 Российская Федерация, МПК В05В3/00. Распылитель жидкости / А.И. Зайцев, А.Е. Лебедев, А.Б. Капранова, А.В. Дубровин, Ю.В. Никитина. Оубл. 10.12.2011.
3. Пат. №2449838 Российская Федерация, МПК В05В1/26. Ударно-струйная форсунка / А.И. Зайцев, А.Е. Лебедев, А.Б. Капранова, А.А. Павлов. Оубл. 10.05.2012.
4. Пат. №2278742 Российская Федерация, МПК В05В1/30. Распылитель жидкости / А.Л. Душкин, А.В. Карпышев, Н.Н. Рязанцев. Оубл. 27.06.2006.
5. Пат. №2069107 Российская Федерация, МПК В05В3/12. Распылитель жидкости / В.А. Зорин, А.В. Зорин, Н.В. Никитин. Оубл. 20.11.2002.

ЗАХВАТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЕЛ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

А.О. Щелокова

Научный руководитель – **А.А. Кулебякин**, канд. тех. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

Рассматриваются типы захватных устройств, достоинства и недостатки механических захватов, приведен пример механического захватного устройства для перемещения цилиндрических тел и предложен вариант его модернизации.

Ключевые слова: машиностроение, автоматизация, промышленные роботы, захватное устройство

GRIPPER FOR MOVING CYLINDRICAL BODIES

A.O. Shchelokova

Scientific Supervisor – **A.A. Kulebyakin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Types of grippers, advantages and disadvantages of mechanical grippers are considered, an example of a mechanical gripper for moving cylindrical bodies is given and a variant of its modernization is proposed.

Keywords: mechanical engineering, automation, industrial robots, gripper

На сегодняшний день во многих сферах применяются промышленные роботы. В машиностроительном производстве их применение распространено особенно широко. Они используются в станках, а также при сборке, при перемещении и транспортировке готовых изделий и т.д. Важным элементом промышленного робота является его захват. Все захватные устройства можно разделить на четыре большие группы [1]:

- Механические - удерживание объекта осуществляется под действием реакций в точках (зонах) контакта с рабочими элементами, создаваемых двигателем или собственным весом объекта.

- Вакуумные – удерживающие объект посредством разрежения воздуха в замкнутой полости рабочего элемента – присоски.

- Магнитные – удерживающие объект при действии магнитных сил, создаваемых постоянным магнитом или электромагнитом.

- Прочие – имеют сильно различающуюся конструкцию и принцип действия, но не достигшие достаточного распространения, чтобы быть вынесенными в отдельную группу.

Каждая группа имеет свои наиболее удачные области применения, однако стоит отметить, что наибольшей распространенностью обладают механические захватные устройства [2]. Они обладают следующими преимуществами [3]:

1. Универсальность – механические захваты могут работать с широким спектром объектов, включая детали сложной формы, стандартные и нестандартные изделия. Это делает их подходящими для множества задач в машиностроении, таких как сборка, сварка и перемещение деталей.

2. Простота конструкции – по сравнению с вакуумными или магнитными захватами механические устройства имеют, в некоторых случаях, более простую конструкцию. Это снижает вероятность отказов, упрощает обслуживание и ускоряет ремонт. Кроме того, они легче интегрируются в системы управления промышленными роботами.

3. Высокая грузоподъемность – механические захваты способны выдерживать значительные нагрузки, что делает их незаменимыми при работе с крупногабаритными и тяжелыми металлическими заготовками. Например, вакуумные захваты имеют ограничения по массе объектов, с которыми они могут работать [4].

4. Экономичность – Производство механических захватов обходится дешевле, чем, например, вакуумных устройств, которые требуют сложных сенсорных систем и источников энергии. Это снижает затраты на внедрение и обслуживание автоматизированных линий.

5. Независимость от внешних факторов – В отличие от вакуумных захватов, которые зависят от состояния поверхности объекта (гладкость, отсутствие пыли и грязи), механические устройства эффективно работают в условиях загрязнения и на грубых поверхностях. Магнитные захваты ограничены только металлическими деталями, а механические могут применяться для различных материалов.

6. Надежность в долгосрочной перспективе – Механические захваты, благодаря своей простоте конструкции, имеют более длительный срок службы и меньше подвержены износу, чем, например, вакуумные, срок службы одной присоски составляет примерно 6-12 месяцев [5].

Наряду с преимуществами у механических захватов можно выделить следующие недостатки:

1. Эксплуатационные расходы – они появляются вследствие наличия подвижных узлов, которые подвержены износу при интенсивной эксплуатации, поэтому данные части захватного устройства требуют регулярного обслуживания, смазывания и замены изношенных деталей механизма.

2. Невозможность точного регулирования силы зажима – механические захваты, в частности с пневматическим приводом, могут оказывать значительное давление на удерживаемый объект, что может привести к его повреждению. Это делает их менее подходящими для работы с хрупкими или пластичными материалами, такими как стекло или пластик [6].

3. Относительно низкая скорость работы – в сравнение с магнитными захватами, механические обладают не столько высокой скоростью захвата, что может замедлить производственные процессы [7].

4. Требование к точности захвата – для корректной работы механического захвата требуется точное позиционирование детали. Ошибки в размещении объекта могут привести к срыву захвата, что повышает риск аварийных ситуаций на производственной линии [8].

Несмотря на эти недостатки, механические захватные устройства являются достаточно эффективным и распространенным решением, особенно в среднем и тяжелом машиностроении.

Одним из наиболее часто встречающихся деталей примитивов в машиностроении являются детали цилиндрической формы (валы, шестерни и т.д.). Для перемещения деталей такой конфигурации важно предъявлять высокие требования к точности и надежности захватных устройств. Но не каждое механическое захватное устройство может обеспечить соответствие этим требованиям. В патенте RU 2347674 C1 [9] рассмотрен вариант конструкции специализированного захвата, который соответствует им. Рассмотрим его конструкцию подробнее.

Устройство содержит корпус, зажимные элементы, кинематически связанные между собой зубчатой передачей, зубчатые колеса, заблокированные на одной оси, причем сменные зажимные элементы соединены штифтами с кольцевыми зубчатыми сегментами цилиндрического прямозубого редукционного механизма с внутренним и внешним зацеплением и кинематически связаны с шестерней, заблокированной на одной оси с червячным колесом, при этом червяк, вращающий колесо, одет на вал электродвигателя, закрепленного на корпусе схвата с проточками, в котором смонтирован прижимной ролик.

Устройство имеет следующий принцип работы (рис. 1, 2). Электродвигатель 9, закрепленный на корпусе 1, вращая расположенный на оси червяк 8, передает вращение на червячное колесо 7 и заблокированное с ним на одном валу зубчатое цилиндрическое колесо 6, которое сообщает круговое движение кольцевым зубчатым сегментам 2, 3 цилиндриче-

ского прямоугольного редукционного механизма по направляющим элементам боковых поверхностей и проточкам корпуса 1, на которых штифтами 11, 12 закреплены сменные зажимные элементы 4, 5, захватывающие объект 13 и обеспечивающие возможность захвата объектов как цилиндрической, так и плоской формы. Центры качения сменных зажимных элементов 4, 5 перемещаются по окружности, диаметр которой проходит через центр шестерни 6, за счет этого координаты центра захватываемого объекта 13 не изменяются. Сменные зажимные элементы 4, 5 могут быть выполнены из упругого гибкого материала для исключения возможности повреждения поверхности объекта 13. Прижимной ролик 10 закреплен гайкой 14 в корпусе 1 для устранения зазоров и люфта [9].

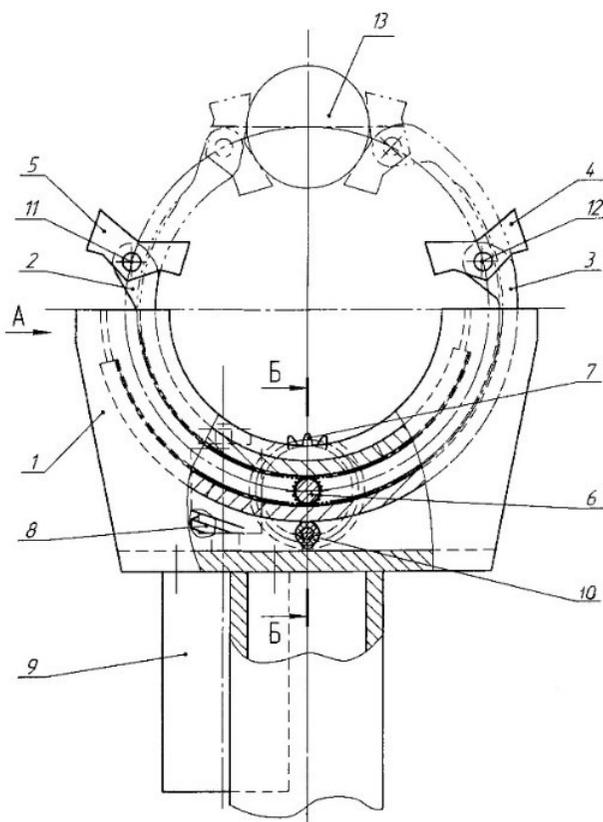


Рис. 1. Механическое захватное устройство

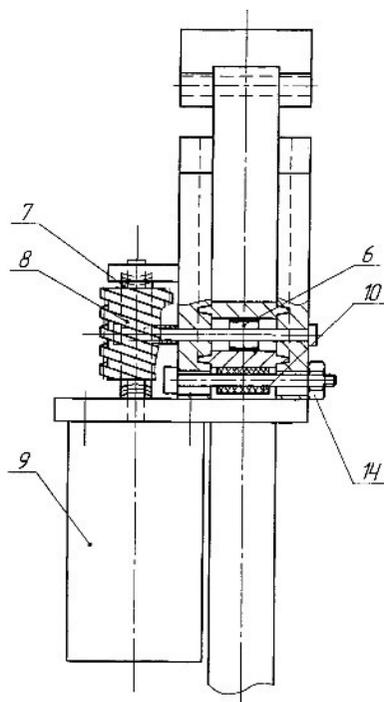


Рис. 2. Механическое захватное устройство

Данный захват позволяет перемещать цилиндрические детали с большей эффективностью. Однако данную конструкцию можно модернизировать до двух захватов. Такое решение позволит:

- расширить номенклатуру переносимых деталей, появится возможность переносить детали нестандартных длин и форм, например, ступенчатые валы, оси, трубы и т.д.;

- обеспечение симметричного распределения нагрузки – два захвата, расположенные с противоположных сторон цилиндрической детали, обеспечивают симметричное распределение нагрузки. Это преимущество позволит обеспечить наиболее точное позиционирование детали, а именно сохранить точную геометрию детали и предотвратить её деформацию, особенно при транспортировке длинных или тяжёлых валов;

- стабильность при перемещении – две точки соприкосновения минимизируют качение или вращение цилиндрической детали во время транспортировки. Это важно, поскольку цилиндры имеют круглую поверхность, склонную к неконтролируемому движению;

- минимизация повреждений – двухзахватные механизмы равномерно распределяют давление на поверхность, предотвращая её повреждение. Это особенно важно для деталей с полированной или обработанной поверхностью, которые играют важную роль в конечной сборке;

- снижение инерции при транспортировке – при быстром перемещении тяжёлых цилиндров инерционные силы могут вызвать вибрацию и потерю контроля. Двухзахватные системы уменьшают инерционные колебания за счёт более надёжной фиксации детали.

Поэтому для модернизации рассмотренного ранее захватного устройства можно рассмотреть следующие варианты:

- использование одного шагового двигателя, позволит сэкономить, но сам захват не будет иметь возможности перемещать ступенчатые детали (коленчатый вал), будет обладать невысокой мощностью, а также меньшей адаптивностью к разным условиям;

- использование двух шаговых двигателей, позволит транспортировать ступенчатые детали, и каждый захват будет выдавать большую мощность за счет питания от двух разных двигателей, а также большую адаптивность к разным условиям. Независимая работа двигателей позволит устройству адаптироваться к неидеальным условиям, например, если деталь обладает смещенным центром тяжести, то за счет возможности настройки каждого захвата на определенное усилие захват станет обладать большей гибкостью в отношении деликатности поверхности (например, если одна из поверхностей для захвата полированная). Однако такой шаг сделает конструкцию более дорогой.

Таким образом, наиболее предпочтительным вариантом для транспортировки протяженных в пространстве деталей цилиндрической формы является захват с использованием двух шаговых двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захватные устройства промышленных роботов: Учебное пособие / К.А. Краженко, Ю.В. Янчевский, А.А. Кулебякин, А.Ю. Торопов. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2007. 83 с. (дата обращения: 17.11.2024).

2. *Минигазова И.Н.* Обзор различных захватов для промышленных роботов манипуляторов / И.Н. Минигазова // Научная электронная библиотека «КиберЛенинка». URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-razlichnyh-zahvatov-dlya-promyshlennyh-robotov-manipulyatorov> (дата обращения: 17.11.2024).

3. Типы захватных устройств // Промышленная автоматизация: [сайт]. URL: <https://industrialization.ru/typy-zahvatnykh-ustroystv/> (дата обращения 17.11.2024).

4. *Агарков А.М.* Вакуумные захватные устройства / А.М. Агарков, Д.С. Межуев, Д.С. Прохоров // Научная электронная библиотека «КиберЛенинка»: [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vakuumnye-zahvatnye-ustroystva?ysclid=m3m1dzn3p5768831076> (дата обращения: 17.11.2024).

5. Системы вакуумных захватов // SCHMALZ: [сайт]. URL: https://www.schmalz.com/site/binaries/content/assets/media/schmalz.ru/05_services/catalogs/VG/vacuum_area.pdf (дата обращения 17.11.2024).
6. Механический, магнитный или вакуумный грузозахват? / Вектор групп: [сайт]. URL: <https://vektor-grupp.ru/articles/mekhanicheskiy-magnitnyy-ili-vakuumnyy-gruzozakhvat/> (дата обращения 17.11.2024).
7. Захватные устройства промышленных роботов // Электронная библиотека книг по робототехнике: [сайт]. URL: <http://roboticslib.ru/books/item/f00/s00/z0000027/st004.shtml> (дата обращения: 17.11.2024).
8. *Жиленков А.А.* Исследование возможностей механических захватных устройств / А.А. Жиленков, Т.А. Писарев, П.Е. Царева // Научная электронная библиотека «КиберЛенинка»: [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vozmozhnostey-mehanicheskikh-zahvatnyh-ustroystv> (дата обращения 17.11.2024).
9. Патент № RU2347674 С1. Схват манипулятора // Роспатент: [сайт]. URL: <https://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=2347674> (дата обращения: 17.11.2024).

**Секция «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
В МАШИНОСТРОЕНИИ»**

УДК 669.187

**ВЛИЯНИЕ ТИТАНА НА ВЫСОКОМАРГАНЦОВИСТУЮ
СТАЛЬ: АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ**

Н.Е. Ерболат, А.К. Нарембекова

Научный руководитель – **А.К. Нарембекова**, канд. техн. наук,
ассоциированный профессор

Карагандинский технический университет
имени Абылкаса Сагинова

В этой статье изучается влияние легирования титаном на микроструктуру стали с высоким содержанием марганца с целью улучшения ее механических свойств и эксплуатационных характеристик. Это исследование дает всестороннее понимание структурной эволюции стали с высоким содержанием марганца, легированной титаном, прокладывая путь для будущих достижений в обработке стали и проектировании сплавов.

***Ключевые слова:** высокомарганцевая сталь, сталь Гадфилда, ковшовая обработка, модифицирование, микроструктура, механические свойства, уменьшение зерна*

**EFFECT OF TITANIUM ON HIGH MANGANESE STEEL:
ANALYSIS OF MICROSTRUCTURAL CHANGES**

N.Y. Yerbolat, A.K. Narembekova

Scientific Supervisor – **A.K. Narembekova**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov

This article examines the effect of titanium alloying on the microstructure of steel with a high manganese content in order to improve its mechanical properties and operational characteristics. This study provides a comprehensive understanding of the structural evolution of titanium-alloyed high manganese steel, paving the way for future advances in steel processing and alloy design.

Keywords: high manganese steel, Hadfield steel, ladle processing, modification, microstructure, mechanical properties, grain refinement.

Введение

Как хороший износостойкий материал, высокомарганцевая сталь широко используется во многих областях, таких как машиностроение, горнодобывающая промышленность, металлургия, угольная, химическая промышленность, железные дороги и многих других областях из-за своей превосходной организации и производительности.

В Казахстане исследования свойств данной стали также набирают обороты, поскольку в горно-обогащительной промышленной площадке Казахстана запасные части многих оборудований изготавливаются из этой марки стали в силу своей износостойкости. Изучение его состава, механических свойств является главным приоритетом в этой области.

Традиционная высокомарганцевая сталь является трещинонеустойчивой, и во время ее плавки, термической обработки могут появиться различные дефекты отливок. Испытания на излом могут показать, что структура получилась транскристаллизационной, что является браком. Размер зерен могут получиться большими, что приводит к дополнительной термической обработке. Это очень затратный процесс.

В данной работе изучалось влияние легирования Ti на микроструктуру и свойства высокомарганцевистой стали, что дает важные рекомендации по повышению износостойкости высокомарганцевистой стали и продлевает срок службы шлифовальных и литейных деталей.

Целью данного исследования является изучение механизма действия титана на микроструктуру высокомарганцевой стали.

Главным открытием статьи является повышение износостойкости высокомарганцевых отливок, легированных титаном, повышение способности к упрочнению при ударных нагрузках. А также в легированных титаном высокомарганцевых сталях образуются включения и множество дисперсных частиц, повышающих прочность. Износ отливок из высокомарганцевой стали, легированной титаном, значительно меньше, чем традиционная высокомарганцевая сталь.

После легирования титаном высокомарганцевая сталь может улучшить кристаллическую структуру и устранить столбчатые кристаллы. Легирующая обработка может улучшить размер, форму и распределение включений. Проведены испытания на твердость, предела прочности при растяжении, износостойкости с различным содержанием титана.

Результаты исследования являются достаточно надежными, поскольку при испытаниях стали использовались современные методы и современное оборудование для выявления микроструктуры, основных механических свойств.

Для прогноза максимального срока эксплуатации отливок достаточно точно знать основные механические свойства. Они являются главным показателем качества деталей.

Про высокомарганцевую аустенитную сталь были посвящены множества исследований ученых всего мира. Книги, статьи, монографии – все они находят новые открытия, путем изменения химического состава, микроструктуры стали. Однако не все новшества находят свое практическое продолжение в промышленности, не все нюансы технологии можно выполнить в производственных условиях. Тем не менее, новые пути модификации, выплавки, разливки стали, а также совершенствование современных оборудований позволяют провести апробацию некоторых из них. Исследование данной статьи, без сомнения, добавило еще один значительный взнос в исследования про высокомарганцевую сталь.

Материалы и методы исследования. Основными методами исследования в статье выступают три периода: аналитический, экспериментальный, сравнительный методы.

В аналитической части описываются основные факторы, влияющие на механические свойства и микроструктуру высокомарганцевистой стали и эффективность легирования титаном на улучшение вышеуказанных параметров.

Экспериментальная часть включает в себя математическое моделирование оптимального химического состава стали, количества легирования титаном, режимов термообработки.

Одним из важных методов контроля качества высокомарганцевистой стали является – металлографический анализ. В связи с этим, в исследовании ключевую роль играет металлографический анализ микроструктуры до и после обработки легированием. Образцы для металлографического анализа полируют наждачной бумагой, затем протравливают 4%-ным раствором азотной кислоты, промывают спиртовым раствором, сушат и наблюдают за микроструктурой в виде отливки с помощью сканирующего электронного микроскопа. Чтобы увидеть фазы и количество выделений, которые могли появиться при затвердевании сплавов, использовалось программное обеспечение Thermo-Calc (база данных TCFE7).

Как известно, с уменьшением величины микро- и макрозерна высокомарганцевой стали резко улучшаются ее механические свойства, возрастают трещиностойкость и износостойкость [1]. Для контроля макроструктуры образца анализируется излом образца по пятибалльной шкале.

Наряду с микроструктурным анализом, также проводилось измерение твердости на приборе Роквелла. Для испытаний на ударно-абразивный износ стали до и после обработки легированием использова-

лась вертикальная универсальная машина для испытания на трение и износ MM-W1. Проведены испытания на растяжение образца на разрывочной машине СМТ5605.

На основе полученных данных параметры механических свойств – износостойкость, твердость, ударная вязкость, прочность, микроструктура стали, легированная до 0,20% Ti, сравнивались с параметрами традиционной высокомарганцевистой стали без легирования титаном.

Результаты и обсуждение. Согласно ГОСТ 2176-77, высокомарганцевая сталь 110Г13Л должна иметь следующий химический состав, %: С 0,9-1,4; Mn 11,5-15; Si 0,3-1; S ≤ 0,05; P ≤ 0,12; Cr ≤ 1; Ni ≤ 1; Cu ≤ 0,3 [1].

Высокомарганцевая сталь имеет аустенитную структуру, после заковки имеет более высокие механические свойства, чем в литом состоянии. Показателями, характеризующими на практике качество высокомарганцевой стали, являются ударная вязкость и износостойкость. В условиях истирания со значительными ударными и большими удельными статическими нагрузками высокомарганцевистая сталь обладает высокой износостойкостью [3].

Под износостойкостью стали понимают способность ее оказывать сопротивление различным видам износа в процессе эксплуатации и испытания [4].

Исходная твердость высокомарганцевой стали зависит от содержания углерода и остаточных карбидов и составляет после термической обработки HB 179–230 [5].

Титан вводят в высокомарганцевую сталь для повышения ее износостойкости, измельчения структуры при первичной кристаллизации, устранения столбчатого строения отливок и улучшения механических характеристик. Повышение механических характеристик высокомарганцевой стали при введении в нее титана объясняется не только измельчением зерна аустенита, но и их упрочнением и усилением межзеренных связей [1].

На значительное улучшение механических и служебных свойств стали при добавлении в нее до 0,15% титана показывают многие исследователи, как В.И. Власова и Е.Ф. Комолова. Ими было установлено, что присутствие в высокомарганцевой стали 0,1% не оказывает положительного влияния на ее свойства. Титан интенсифицирует процесс упрочнения высокомарганцевой стали и заметно тормозит рост аустенитного зерна при ее нагреве [1].

Чтобы увидеть фазы и количество выделений, которые могли появиться при затвердевании сплавов при температуре 400–1800 °С, использовалось программное обеспечение Thermo-Calc (база данных TCFe7), результаты представлены на рис. 1. Температуры выделения этих фаз в сплаве 1,05 С-12,5 Mn-0,15Ti приведены в табл. 1. Видно, что с пониже-

нием температуры последовательно выделяются фазы MnS, Mn₇C₃ и Mn₃C (цементит). После образования аустенита сначала при 1266 °C начинается образовываться MnS, а затем при 868° C выделяются частичные первичные карбиды среди аустенитной фазы. Сразу после этого при 776 °C выделяется цементит, а при 568 °C происходит перлитное превращение (BCC_A2). По сравнению со сплавом 1,05C-12,5Mn (см. рис. 1, а), при добавлении титана образуется стабильная фаза Ti(CN) выше температуры затвердевания (1495 °C) (см. рис. 1, б), поскольку титан имеет более высокое сродство к азоту, чем другие элементы. Количество осадка Ti(CN) продолжает увеличиваться до температуры (1255 °C), при которой завершается затвердевание.

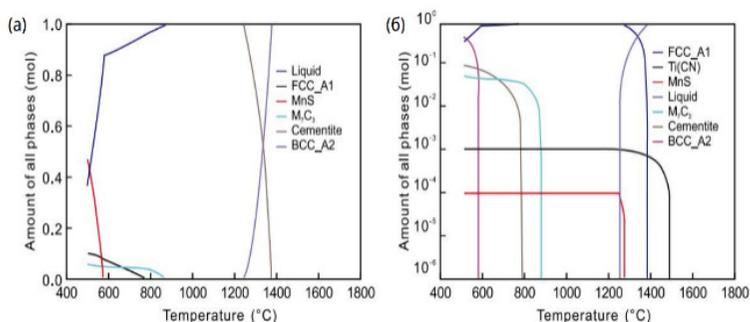


Рис. 1. Прогнозируемая диаграмма фазового выделения сплавов в диапазоне температур 400–1800 °C:
a - 1,05 C-12,5Mn; *б* - 1,05C-12,5Mn-0,15Ti

Таблица 1. Температуры выделения фаз сплава 1,05C-12,5Mn-0,15Ti в диапазоне температур 400–1800 °C

Ti(CN)	Ликвидус	Солидус	MnS	Mn ₇ C ₃	Цементит	BCC_A2
1495 °C	1380 °C	1255 °C	1266 °C	868 °C	776 °C	568 °C

На рис. 2 показано влияние содержания марганца и титана на микроструктуру сплавов в литом состоянии. Показано, что все литые сплавы имеют аустенитную матрицу, окруженную легированным цементитом (FeMn)₃C в пластинчатой форме, а карбиды молибдена (MoC) распределяются в удлиненной или сферической форме в центре пластинчатого цементита. Карбиды, образовавшиеся в литой сплавах, были измерены с помощью программного обеспечения Image-J и перечислены в таблице 2. Нет существенной разницы в количестве карбидов в двух сплавах.

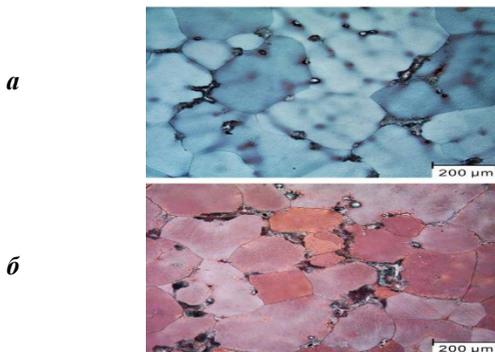


Рис. 2. Оптические микрофотографии, показывающие микроструктуру сплавов в литом состоянии:

a - 1,05С-12,5Mn; *б* - 1,05С-12,5Mn-0,15Ti

Таблица 2. Объемная доля карбидов и аустенита в литейных сплавах, %

Сплав	1,05С-12,5Mn	1,05С-12,5Mn-0,15Ti
Карбиды	6,1±2,5	9,06±2,5
Аустенит	Бал.	Бал.

Микроструктуры СЭМ на рис. 3 показывают, что осаждение Ti(CN) размером 2-5 мкм происходит на границах зерен или рядом с ними, что указывает на то, что предсказанный равновесный состав на рис. 1 хорошо согласуется с экспериментальными измерениями при температуре окружающей среды. Увеличение содержания Ti до 0,15% приводит к сегрегации Ti(CN) по границам зерен.

Кроме того, по результатам ЭДС, приведенным на рис. 3, видно, что фосфор концентрируется на границах зерен аустенита и образует эвтектику (FeMn)₃P. Новые интерфейсы Ti(CN) служили центрами зародышей сегрегации фосфора.

Углерод – это элемент, который быстро диффундирует при высоких температурах, поэтому, когда жидкий металл контактирует с добавками ферротитана (FeTi), углерод имеет тенденцию быстро диффундировать к низкоуглеродистым областям FeTi. Аналогично, добавленные ферротитаны (FeTi) начинают растворяться в расплавленном металле, позволяя титанам свободно диффундировать [6].

Сразу после этого из-за тепловой конвекции первичные частицы TiC диффундируют через расплавленную сталь при высокой температуре, обеспечивая диффузию атомов азота. При этом происходит трансформация частиц TiC в частицы Ti(CN) [7]. Тип решетки титана гексаго-

нальный, закрытоупакованный и может образовывать устойчивые соединения с азотом, кислородом и углеродом [8].

Как видно из таблицы 3, по сравнению с образцом 1,05C-12,5Mn добавление 0,15Ti привело к снижению на 13%.

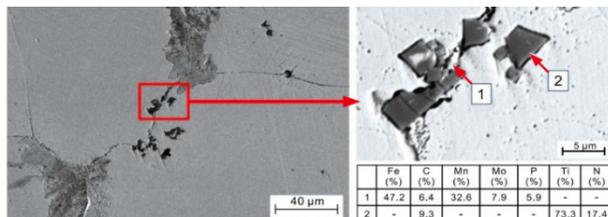


Рис. 3. СЭМ-микрофотография (режим BSE) и результаты ЭДС литого сплава 1,05C-12,5Mn-0,15Ti

Таблица 3. Размер зерен сплавов в литом и отожженном состоянии

Сплавы	В исполнении	Раствор отожжен	Крупность зерна %
1,05C-12,5Mn	243±20 мкм	338±26 мкм	~39
1,05C-12,5Mn-0,15Ti	152±8 мкм	161±5 мкм	~5

На рис. 4 и 5 представлены микроструктуры сплавов, отожженных на раствор. Сплавы без Ti имеют полностью аустенитную микроструктуру, в то время как сплавы, содержащие Ti, имеют аустенитную структуру, включающую частицы Ti(CN), особенно на границах зерен и рядом с ними. Это указывает на то, что, за исключением стабильных частиц Ti(CN), все вторичные выделения, такие как пластинчатые карбиды и фосфидные эвтектики, успешно растворяются в аустенитной матрице при термообработке отжига на раствор и быстрой закалке.

Кроме того, как видно из таблицы 3, отжиг на раствор привел к укрупнению зерен сплавов. Однако сплавы, содержащие Ti, демонстрируют очень небольшую степень укрупнения зерен по сравнению со сплавами, не содержащими Ti, поскольку выделения действуют как закрепляющие частицы и предотвращают рост зерна. На рис. 6 представлена микроструктура сплава 1,05C-12,5Mn-0,15Ti после закалки при 1100 °C.

Повышенное содержание марганца и титана повышает твердость всех литейных сплавов. Высочайшая твердость и предел текучести получаются на сплаве 1,05C-12,5Mn-0,15Ti из-за меньшего размера зерна по сравнению с другими литейными сплавами. Увеличение предела текучести литого сплава на 4 % получено при уменьшении размера зерна аустенита с (243±20) мкм без Ti до (152±8) мкм с модификацией 0,15 % мас. Ti (см. табл. 3).

Твердость сплавов, отожженных на раствор, демонстрирует аналогичную тенденцию с их литым состоянием, но с более высокими значениями твердости и превосходной пластической деформацией выше 50%.

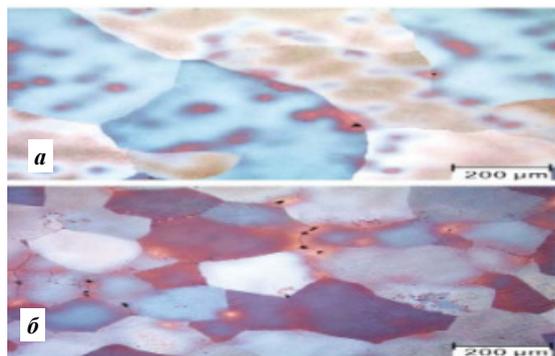


Рис. 4. Оптические микрофотографии, показывающие микроструктуру сплавов, отожженных на раствор:
a – 1,05C-12,5Mn; *б* – 1.05C-12,5Mn-0.15Ti

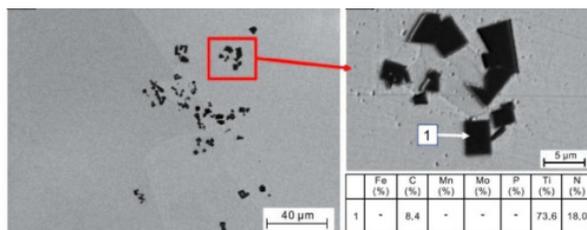


Рис. 5. Микрофотография СЭМ (режим BSE) и результаты ЭДС сплава 1,05C-12,5Mn-0,15Ti в состоянии отжига в растворе

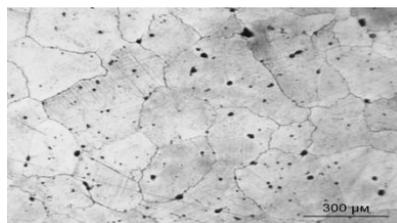


Рис. 6. Микроструктура сплава 1,05C-12,5Mn-0,15Ti после закалки при 1100 °C

Сочетание упрочнения границ зерен, упрочнения твердого раствора и дисперсионного упрочнения приводит к увеличению относительного удлинения, твердости, текучести и предела прочности в литом сплаве 1,05С-12,5Мн-0,15Тi на 30, 31, 8 и 12% соответственно по сравнению со сплавом без титана. Однако энергия удара Шарпи линейно уменьшается с добавлением Тi. Меньшие зерна обычно считаются важным способом достижения лучшей ударной вязкости в объемно-центрированных кубических (ВСС) сталях.

Одним из наиболее важных результатов этого исследования является то, что добавление 0,15% Тi поразительно снижает скорость изнашивания отожженных на раствор сплавов, особенно в условиях изнашивания при высоких напряжениях. Одна из причин заключается в том, что выделения Тi(CN) образуют гетерогенные зародыши при затвердевании [10]. Это приводит к измельчению зерен в целом, а также препятствует росту зерен при отжиге в растворе.

Закключение. Микроструктурная модификация и, как следствие, улучшение механических свойств высокомарганцевых сталей, имеющих очень широкую область применения, имеет большое значение. В этом исследовании изучено влияние добавок Мн и Тi на микроструктуру и механические свойства отлитых и отожженных в растворе и затем закаленных в традиционную высокомарганцевую сталь и с добавлением 0,15% Тi. В частности, в результате добавления титана с оптимизированной скоростью было установлено, что:

1. Комбинация мелкозернистого упрочнения, упрочнения твердым раствором и дисперсионного упрочнения приводит к значительному увеличению относительного удлинения, твердости, текучести и предела прочности на 30, 31, 8 и 12% соответственно, а также снижению на 9% по ударной вязкости отожженного сплава 1,0С-17Мн-0,15Тi по сравнению со сталью Тi;

2. Износостойкость сплава 1,05С-12,5Мн-0,15Тi, отожженного на раствор, при высоких нагрузках трения увеличивается до 44% по сравнению с традиционным сплавом.

При повышении износостойкости высокомарганцевых аустенитных сталей также очень важно повысить предел прочности и относительное удлинение, не вызывая при этом существенного снижения ударной вязкости.

В данном исследовании сплав 1,05С-12,5Мн-0,15Тi может быть использован для материалов, подверженных повышенным нагрузкам изнашивания и применяемых в условиях, когда необходимы относительно более высокие свойства растяжения при достаточной пластичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Давыдов Н.Г.* К вопросу повышения качества отливок из высокомарганцевой стали 110Г13Л / Н.Г. Давыдов, Б.М. Благих, А.М. Бигеев. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1972. 138 с.
2. *Давыдов Н.Г.* Высокомарганцевая сталь. М.: Металлургия, 1979. 176 с.
3. *Колокольцев В.М.* Влияние химического состава на структуру и свойства хромомарганцевых аустенитных сталей / В.М. Колокольцев, Л.Б. Долгополова, Н.М. Мулякко // Литейные процессы. 2003. № 3. С. 31-36.
4. *Тен Э.Б.* Эффективность ковшевой обработки стали 110Г13Л ферросиликоалюминием и титаном / Э.Б. Тен, Е.Ю. Лихолобов // Материалы международной научно-практической конференции «Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии». Караганда: ХМИ им. Ж. Абишева, 2011. С. 328-329.
5. *Тен Э.Б.* Контроль окисленности жидкой стали 110Г13Л и оптимизация ее ковшевой обработки / Э.Б. Тен, Е.Ю. Лихолобов // Труды 4-й международной научно-практической конференции «Металлургия Прииртышья в реализации программы форсированного индустриальноинновационного развития «Казахстан-2030». Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2011. С.188-192.
6. *Тен Э.Б.* Термодинамические предпосылки управления процессом плавки 110Г13Л измерением активности кислорода в расплаве / Э.Б. Тен, Е.Ю. Лихолобов // Труды международной научной конференции «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан-2030». Караганда: КарГТУ. 2011. С. 385-387.
7. Effect of titanium alloying on the microstructure and properties of high manganese steel / W.W. Zhuang, H.X. Zhi, H.D. Liu [et al.] // E3S Web Conf. 2019. Vol. 79. 01001. P. 1-6.
8. Particles precipitation in Ti- and Al-deoxidized Hadfield steels / D. Sifakas, T. Matsushita, A. Lauenstein [et al.] // Steel Res. Int. 2016. Vol. 87(10). P. 1344-1355.
9. *Gürol U.* Effect of carbon and manganese content on the microstructure and mechanical properties of high manganese austenitic steel / U. Gürol, S.C. Kurnaz // J. Min. Metall. Sect. B. Metall. 2020. Vol. 56(2). P. 171-182.
10. *Turnbull D.* Nucleation Catalysis / D. Turnbull, B. Vonnegut // Ind. Eng. Chem. 1952. Vol. 44(6). P. 1292-1298.

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ЛЕГКИХ И ПРОЧНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЧЕРЕЗ ЛАЗЕРНОЕ СПЛАВЛЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ СЛОЕВ

Б.Д. Жексенов

Научный руководитель – **В.А. Юдакова**, магистр техн. наук,
старший преподаватель

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова

Рассматривается разработка нового титанового метаматериала, созданного с использованием аддитивных технологий, который сочетает в себе две решетчатые структуры для повышения прочности, легкости и устойчивости к высоким температурам. Этот материал демонстрирует потенциал для применения в аэрокосмической отрасли, биомедицине, машиностроении, автомобилестроении и производстве дронов для борьбы с лесными пожарами.

***Ключевые слова:** лазерное сплавление порошковых слоев, улучшение распределения нагрузки, пористые структуры, многопологические структуры, жаростойкость, решетки из тонких пластин.*

INNOVATIVE APPROACH TO THE CREATION OF LIGHTWEIGHT AND DURABLE STRUCTURAL MATERIALS THROUGH LASER MELTING OF POWDER LAYERS

B.D. Zhexenov

Scientific Supervisor – **V.A. Yudakova**, Master of Technical Sciences,
Senior Lecturer

Abylkas Saginov Karaganda Technical University
(Saginov Technical University)

The paper examines, development of a new titanium metamaterial created using additive manufacturing technologies is being considered. This material combines two lattice structures to enhance strength, lightness, and resistance to high temperatures. It shows potential for applications in the aerospace industry, biomedicine, mechanical engineering, drone manufacturing for wildfire suppression, and the automotive industry.

***Keywords:** laser powder bed fusion, improved load distribution, porous structures, multi-topological structures, heat resistance, thin-walled lattice structures*

Метаматериал – это искусственно созданный материал, обладающий уникальными физическими свойствами, которые не встречаются в природных материалах. Основная особенность метаматериалов заключается в их структуре, состоящей из повторяющихся ячеек с размерами от нанометров до миллиметров, которые позволяют управлять различными характеристиками, такими как механическая прочность, плотность, электромагнитные свойства и теплоотдача. Метаматериалы могут быть изготовлены из традиционных материалов, таких как металл или пластик, но их уникальные свойства обусловлены именно геометрией и топологией, а не химическим составом. В последнее время интерес к метаматериалам значительно вырос благодаря развитию аддитивного производства (3D-печати), которое позволяет создавать сложные и точные структуры, недоступные при использовании традиционных методов обработки. Метаматериалы стали популярны благодаря их способности решать актуальные проблемы в таких областях, как авиакосмическая промышленность, медицина и машиностроение [1], где важно создавать материалы с новыми функциональными возможностями.

Для машиностроения метаматериалы открывают широкие возможности в решении проблем, связанных с улучшением прочности, снижением веса и повышением эффективности использования материалов. Благодаря возможности проектировать структуру на микроуровне, метаматериалы могут быть адаптированы для решения конкретных инженерных задач, таких как повышение устойчивости к усталостным нагрузкам, поглощение вибраций и увеличение теплоотводящих характеристик. Это особенно актуально для создания легких и прочных деталей в автомобилестроении и авиации, где уменьшение веса приводит к снижению расхода топлива и выбросов CO₂. Также метаматериалы позволяют разрабатывать новые амортизирующие и изоляционные элементы, которые могут эффективно гасить удары и вибрации, что повышает долговечность и надежность оборудования. В перспективе использование метаматериалов в машиностроении поможет создавать более эффективные и экологичные конструкции, улучшать эксплуатационные характеристики продукции и снижать затраты на материалы и энергопотребление [2, 3].

Метаматериалы, созданные с помощью аддитивного производства, представляют собой уникальные ячеистые структуры, которые позволяют модифицировать их свойства за счёт инновационных конструктивных решений. Среди них выделяются решетчатые метаматериалы с полыми стойками (HSL), которые демонстрируют высокую эффективность благодаря многофункциональной архитектуре. Они находят применение в легких конструкциях, биомедицине, системах микроциркуляции жидкостей и тепловой инженерии. Для дальнейшего повышения прочностных характеристик и расширения эксплуатационного диапазона решеток HSL

исследователями из Королевского технологического института Мельбурна (RMIT) была предложена интеграция тонкопластинчатой решетки топологии во внутренние полости пространства.

Аддитивное производство (АП), особенно метод лазерного плавления порошка в порошковой постели (LPBF), является ключевой технологией для создания сложных металлических метаматериалов, таких как многотопологическая интегрированная полая решетка (TP-HSL) из титанового сплава Ti-6Al-4V. LPBF позволяет точно плавить металлический порошок, слой за слоем, формируя изделия со сложной внутренней структурой и уникальными механическими характеристиками. Это открывает возможности, недоступные традиционным методам обработки, таким как литье и фрезерование, которые ограничены в производстве сложных геометрий. Аддитивное производство позволяет создавать решетчатые конструкции с минимальными ограничениями по форме, что способствует оптимизации массы изделия и повышению его прочностных характеристик. Например, тонкопластинчатые и полые стойки TP-HSL, изготовленные методом LPBF, обеспечивают высокую точность и равномерное распределение нагрузки по всей структуре. Такая технология позволяет проектировать сложные ячеистые элементы, адаптируя их размеры, толщину стенок и топологию под конкретные требования, что снижает риск концентрации напряжений и улучшает долговечность изделий. Благодаря возможности изменять геометрию и параметры решетки в рамках одного изделия, аддитивное производство позволяет создавать конструкции с градиентными свойствами, где разные участки изделия обладают различной плотностью и жесткостью, обеспечивая функциональную интеграцию и снижение веса.

Помимо сложных геометрий, АП предоставляет значительные экономические преимущества за счет минимизации отходов и сокращения затрат на инструментальную оснастку. В отличие от традиционных методов, таких как фрезерование, где значительная часть материала уходит в стружку, аддитивное производство использует материал только там, где это необходимо, что особенно важно при работе с дорогими сплавами, такими как Ti-6Al-4V. Это снижает себестоимость производства и позволяет экономить дорогостоящие материалы, делая процесс более экологичным и рентабельным. Отсутствие необходимости в использовании пресс-форм и штампов также сокращает время и затраты на подготовку производства, что особенно выгодно при изготовлении небольших партий или уникальных деталей. Кроме того, процесс LPBF позволяет контролировать скорость охлаждения и нагрева материала, минимизируя остаточные напряжения и улучшая микроструктуру сплава. Это снижает риск появления дефектов, таких как трещины, и повышает прочностные характеристики изделий. Возможности легирования и адаптации состава

порошков в процессе печати также позволяют создавать сплавы с улучшенными эксплуатационными свойствами, такими как повышенная коррозионная стойкость и теплопроводность. Всё это делает аддитивное производство незаменимым инструментом для создания инновационных и конкурентоспособных продуктов в машиностроении [1], авиации и медицине, открывая новые перспективы для разработки легких, прочных и долговечных компонентов.

Постоянный поиск легких, прочных и многофункциональных материалов остаётся одним из ключевых драйверов инноваций в материаловедении. Механические металлические метаматериалы – искусственно разработанные структуры, представляющие собой сетчатые материалы, составленные из взаимосвязанных элементов (стоек, пластин или оболочек) – являются одним из таких инновационных направлений. Эти элементы образуют пористую структуру с размерами полостей от субмиллиметра до миллиметра, повторяясь в виде регулярных ячеек [1]. Благодаря уникальной архитектуре, металлические метаматериалы обладают свойствами, недоступными для обычных твердых материалов и классических ячеистых структур, что делает их многообещающими для широкого спектра приложений [4].

Тем не менее, несмотря на значительные исследования в данной области, лишь небольшое количество металлических метаматериалов (титановые и алюминиевые сплавы, нержавеющая и мартенситностареющая сталь, никелевые суперсплавы, сплавы Co–Cr–Mo) смогли достичь механических характеристик, существенно превосходящих показатели магниевых сплавов при аналогичной плотности. Например, добиться предела текучести более 200 МПа при плотности ниже 1,8 г/см³ оказалось трудной задачей, что ограничивает применение этих материалов в областях, требующих высокой несущей способности, устойчивости к термическим нагрузкам и коррозии [4, 5].

Недавно появившиеся металлические метаматериалы с полой решеткой (HSL) имеют каналы диаметром от субмиллиметра до миллиметра. Их конструкция вдохновлена природными объектами, такими как полые стебли растений (например, *Ipomoea aquatica*) и кораллы *Tubipora musica* (коралл-органная труба), а также опытом в гражданском строительстве по оптимизации сечения несущих конструкций. До недавнего времени производство таких сложных топологий было затруднено, но с развитием аддитивных технологий, таких как метод плавления порошка (PBF), стало возможным изготовление и масштабирование структур HSL [1]. Метаматериалы из титанового сплава Ti-6Al-4V, произведенные методом лазерного плавления порошка (LPBF) – это сложные HSL-метаматериалы, демонстрирующие выдающуюся структурную эффективность, значительно превосходя аналоги с твердой решетчатой струк-

турой при той же плотности. Это делает их высокоэффективной топологией для легких металлических конструкций и открывает новые возможности для применения в авиационной, автомобильной и медицинской промышленности.

Такое дополнение решает сразу две задачи: значительно увеличивает устойчивость узлов HSL к деформации и равномерно распределяет прикладываемые нагрузки. Это позволяет добиться повышенной прочности новой топологии. Метаматериалы с интеграцией тонкопластинчатой структуры в полые стойки (TP-HSL), изготовленные из титанового сплава Ti-6Al-4V, имеют плотность от 1,0 до 1,8 г/см³ и демонстрируют предел прочности, превосходящий все известные ячеистые металлические структуры, включая классические HSL и решетки из сплошных стоек (SSL), изготовленные из других сплавов. Помимо прочностных характеристик, у сплава Ti-6Al-4V сохраняются такие важные свойства, как коррозионная стойкость, биосовместимость и высокая термостойкость.

Интеграция различных топологий в титановую основу позволяет создавать легкие и прочные многофункциональные металлические материалы нового поколения для применения в самых различных промышленных отраслях, открывая новые возможности для создания высокоэффективных инженерных решений [2, 6].

Исследователи из Королевского технологического института Мельбурна (RMIT), используя два типа решетчатых структур, создали материал, состоящий из решеток с полыми стойками (HSL) и тонкими пластинами (TPL). HSL представляет собой структуру с полыми каналами для перераспределения нагрузки, но они часто имеют слабые места в местах пересечения каналов. В свою очередь, решетки TPL состоят из тонких пластин, которые равномерно распределяют напряжение, но сами пластины остаются достаточно массивными.

На рис. 1, *a–c* представлена новая стратегия интеграции много-топологических структур, включающая простую кубическую решетку из пластин (TPL) из титанового сплава Ti-6Al-4V. Эта решетка встраивается в пустотелую область простой кубической полый решетки (HSL), образуя усовершенствованную интегрированную тонкопластинчатую полую структуру (TP-HSL). Такая компоновка основана на последовательной ориентации элементов: стойки и пластины следуют общей оси без изменения базовой ячейки, что упрощает процесс синтеза топологии и обеспечивает максимальную синергетическую эффективность. Более того, TP-HSL рассчитана на прочное соединение всех горизонтальных стоек с пластинами, что позволяет равномерно распределять нагрузки и увеличивать общую механическую прочность конструкции.

На рис. 1, *d–f* представлены оптические изображения образцов Ti-6Al-4V TP-HSL с плотностью 1,0, 1,5 и 1,8 г/см³, изготовленных мето-

дом лазерного плавления порошковой постели (LPBF). Ti-6Al-4V был выбран как основной материал для TP-HSL благодаря его средней плотности, высокой прочности и отличной коррозионной стойкости. Этот сплав зарекомендовал себя в агрессивных средах (морская вода, кислоты, щелочи, биологические жидкости), благодаря чему широко используется в аэрокосмической, автомобильной и медицинской промышленности [1]. Кроме того, его технологичность в аддитивном производстве и биосовместимость делают его одним из наиболее изучаемых сплавов для 3D-печати [7, 8].

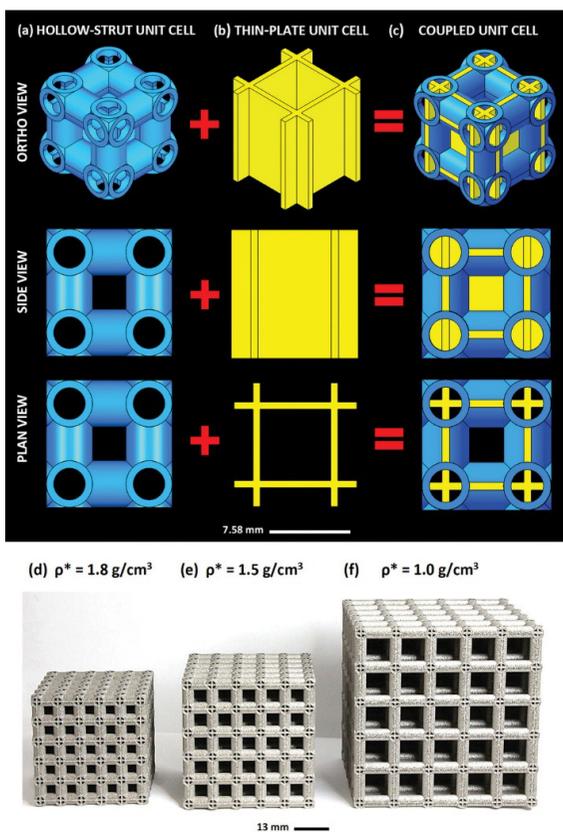


Рис. 1. Модели, демонстрирующие интеграцию элементарной ячейки кубической решетки полых стоек HSL (a) с элементарной ячейкой кубической решетки тонких пластин TPL (b) для формирования элементарной ячейки TP-HSL (c). Оптические изображения образцов Ti-6Al-4V TP-HSL с плотностью 1,0, 1,5 и 1,8 г/см³ посредством изменения размера элементарной ячейки решетки (d–f)

Согласно результатам исследователей из Королевского технологического института Мельбурна (RMIT), внутренний и внешний диаметры полых стоек TP-HSL (рис. 2, левый столбец) установлены на уровне 3 и 4,4 мм соответственно, что дает толщину стенки 0,7 мм. Пластины в конструкции TP-HSL (рис. 2, правый столбец) имеют ту же толщину, что и стенки стоек, что позволяет уменьшить диаметр внутреннего канала с 3 до 1,15 мм. Этот размер канала сохраняет способность к свободному проходу порошка без риска закупорки, что особенно важно при изготовлении сложных архитектур методом LPBF. Конструкция образцов решетки включает $5 \times 5 \times 5$ ячеек, а плотности TP-HSL варьируются от 1,0 до 1,8 г/см³ за счет изменения размера элементарной ячейки от 7,58 до 13 мм.

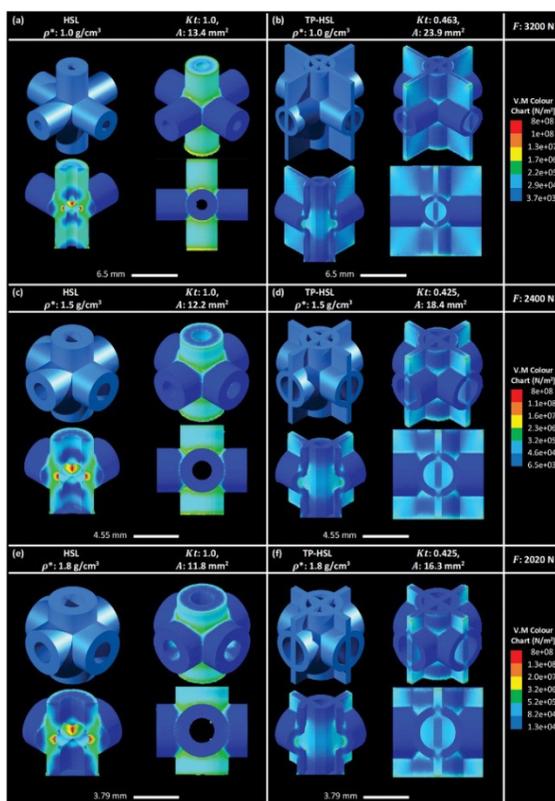


Рис. 2. Изотропный линейный упругий МКЭ узлов Ti-6Al-4V HSL (*a, c, e*) и узлов TP-HSL (*b, d, f*) для плотностей (ρ^*) 1,0, 1,5 и 1,8 г/см³: K_t – коэффициент концентрации напряжений; A – площадь поперечного сечения, нагруженная при сжатии; F – приложенная сжимающая сила

Для проверки эффективности предложенной интеграции многогопологической структуры исследователями из Королевского технологического института Мельбурна (RMIT) проведен анализ методом конечных элементов (FEM) для моделей HSL и TP-HSL из Ti-6Al-4V. В ходе анализа установлено, что коэффициент концентрации напряжений (K_t) в TP-HSL примерно на 56% ниже, чем в традиционных HSL с аналогичной плотностью. Это объясняется перераспределением напряжений между внутренними и внешними пластинами, а также дополнительными распорками, выровненными по нагрузке. Напротив, в традиционных HSL максимальные напряжения сосредоточены на внутренних стенках узлов, что часто приводит к их преждевременной деформации и снижению общей прочности конструкции. Таким образом, интеграция тонкопластинчатой структуры с полой решеткой не только минимизирует локальные концентрации напряжений, но и улучшает устойчивость к деформациям, что подтверждает преимущества предложенной стратегии.

Метод конечных элементов показал схожие результаты для всех трех вариантов TP-HSL с плотностями 1,0, 1,5 и 1,8 г/см³, подтверждая эффективность многогопологической интеграции. Эти результаты подчеркивают высокий потенциал использования новой архитектуры TP-HSL в критически важных приложениях, где требуется высокая структурная целостность при сниженной массе [8-10].

Профессор Ма Цянь из RMIT отмечает, что равномерное распределение напряжения по всей структуре значительно улучшает её механические свойства. Однако такая сложная структура не могла быть изготовлена традиционными методами, и поэтому исследователи применили аддитивные технологии – лазерное сплавление порошковых слоев. Этот процесс позволяет создавать сложные 3D-детали по слоям, устраняя излишки порошка после печати и формируя пористую сеть внутри изделия [3, 4, 11].

Сплав титана Ti-6Al-4V, использованный для создания метаматериала, известен своей коррозионной стойкостью в морской среде, высокой прочностью и устойчивостью к температурам до 350 °С. В дополнение, команда из RMIT предложила использовать другой сплав – Ti-SF61, который обладает жаростойкостью до 600 °С, что расширяет потенциальные области применения, включая аэрокосмическую отрасль и системы борьбы с лесными пожарами.

Процесс печати осуществлялся на 3D-принтере SLM Solutions 250HL с лазерной мощностью 100 Вт, диаметром пятна 80 мкм и скоростью сканирования 750 мм/с. Коэффициент перекрытия расплава варьировался от 50 до 70%, что обеспечивало высокую геометрическую точность и устойчивость структур. После печати образцы охлаждались до

комнатной температуры в порошковой среде, что предотвращало термические деформации и обеспечивало высокое качество поверхности. Для топологии TP-HSL образцы печатались вертикально, что позволяло тонким пластинам выполнять роль опорных элементов, предотвращая провисание и деформацию горизонтальных участков длиннее 3 мм. Внутренний диаметр полых стоек был увеличен до 1,15 мм, что превышает рекомендованный минимум в 0,7 мм, облегчая удаление порошка после печати. Моделирование структур проводилось методом конечных элементов (МКЭ) с использованием ПО CATIA v5 2022. Линейно-упругий анализ позволил выявить критические зоны локальной пластической деформации, что служит ключевой причиной преждевременного разрушения узлов HSL из Ti-6Al-4V. Основная цель заключалась в снижении вероятности выхода из строя узлов за счет оптимизации распределения напряжений. В качестве сжимающих нагрузок применялись силы 3200 Н для плотности 1,0 г/см³, 2400 Н для 1,5 г/см³ и 2020 Н для 1,8 г/см³, что соответствовало максимальному напряжению в 800 МПа.

Для анализа геометрии структур применялся метод микро-КТ с использованием GE Phoenix v-tome-x s240, оснащенного медным фильтром. Образцы различных плотностей исследовались с разрешением 33 мкм (1,0 г/см³), 39 мкм (1,5 г/см³) и 53 мкм (1,8 г/см³). Данные позволили провести точную реконструкцию структуры и выявить возможные дефекты аддитивного производства.

Механические свойства образцов изучались методом квазистатического одноосного сжатия на машине MTS с максимальной нагрузкой 900 кН. Испытания проводились при комнатной температуре (20 °C) и скорости деформации $1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$, что соответствует международным стандартам ISO. Экспериментальные данные подтвердили высокую прочность и стабильность новой топологии TP-HSL, превосходящую по показателям традиционных HSL решеток из аналогичных материалов [7, 8].

В заключение отметим, что интеграция многотопологических металлических метаматериалов, таких как TP-HSL из титанового сплава Ti-6Al-4V, может принести значительные преимущества в машиностроении, открывая возможности для создания легких и высокопрочных конструкций. Легкие материалы, такие как TP-HSL, позволяют значительно снизить массу изделий без потери прочности и жесткости. Это критично для авиационной и автомобильной промышленности, так как снижение веса деталей самолётов и автомобилей ведет к уменьшению расхода топлива, повышению экономической эффективности и снижению выбросов CO₂. В робототехнике и машиностроении использование легких конструкций позволяет разрабатывать более маневренные и экономичные системы, повышая их эксплуатационные характеристики. Многотопологиче-

ские структуры обеспечивают равномерное распределение напряжений, снижая риск локальных концентраций, что уменьшает вероятность трещин и деформаций. Это полезно для ответственных несущих конструкций, таких как мосты, опоры и рамы больших машин, а также для деталей сложной геометрии (валы, шестерни), которые можно оптимизировать по весу и прочности с помощью решетчатых структур [3, 11].

Учитывая, что метаматериалы на основе Ti-6Al-4V обладают высокой термостойкостью (до 350 °C) и устойчивостью к коррозии в агрессивных средах, это делает их идеальными для систем охлаждения и теплообменников, а также для деталей в нефтегазовой и химической промышленности. Использование метода LPBF (лазерное плавление порошка) для создания сложных топологий HSL и TP-HSL позволяет оптимизировать производственный процесс, сэкономить материал и уменьшить отходы, что особенно важно при работе с дорогими сплавами. Легко настраиваемые параметры ячеек и топологий решеток позволяют адаптировать конструкцию под конкретные требования проекта, что снижает затраты и время на производство опытных образцов. Многофункциональные метаматериалы также могут выполнять несколько функций одновременно: они обладают амортизирующими свойствами для защиты от ударов и устойчивостью к циклическим нагрузкам, что снижает вероятность усталостного разрушения в условиях высоких вибраций. В целом, использование таких материалов, как TP-HSL, открывает новые горизонты для различных отраслей, позволяя создавать легкие, прочные и долговечные изделия, повышая эффективность производственных процессов и улучшая эксплуатационные характеристики машин и механизмов, что делает их более конкурентоспособными на рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аддитивные технологии. Современные методы 3d-печати: учебное пособие / С.Г. Менюк, В.В. Дядичев, Г.Р. Биленко, Д.С. Менюк. Симферополь: Ариал, 2024. 114 с.
2. Metal foams and foam metal structures. Proc. Int. Conf. Metfoam'03 / Eds J. Banhart, N.A. Fleck. Bremen, Germany: MIT, 2003.
3. J. Noronha, J. Rogers, M. Leary, E. Kyriakou, S. B. Inverarity, R. Das, M. Brandt, M. Qian // Additive Manufacturing, 2020.
4. J. Noronha, H. Zhong, M. Leary, M. Brandt, M. Qian // Proc. Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials and Advances in Powder Metallurgy, AMPM2023, Las-Vegas, Nevada, 2023.
5. S. C. Shen, MJ Buehler // Commun. Eng. 2022.
6. J. Noronha, M. Qian, M. Leary, E. Kyriakou, M. Brandt // Curr. Opin. Solid State Mater. Sci. 2021.

7. X. Shi, W. Liao, T. Liu, C. Zhang, D. Li, W. Jiang, C. Wang, F. Ren, *Int. J. // Adv. Manuf. Technol.* 2021.
8. ISO 13314:2011. Mechanical testing of metals. Plasticity tests. Compression tests of porous and cellular metals. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 2011.
9. Y. Zhao, Q. Jiang, A. Yang // *Comput. Aided Chem.* English 2011.
10. *Camanho P.P.* Numerical modeling of failure of modern composite materials / P. P. Camanho, S. R. Hallett. Woodhead Publishing, Cambridge, 2015.
11. A. S. Mirhakimi, F. Sajadi, K. Dogahe, V. Guski, A. S. Darabi, J. Kadhodapur, S. Schmauder, *Quality Analysis of Additively Manufactured Metal Modeling Approaches, Processes and Microstructure Properties*, Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands, 2022.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ MoS_2 , ЛЕГИРОВАННЫХ УЛЬТРАДИСПЕРСНОЙ МЕДЬЮ

М.К. Жумабаев, А.К. Нарембекова

Научный руководитель – **А.К. Нарембекова**, канд. техн. наук,
ассоциированный профессор

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова

В статье рассматриваются триботехнические свойства композитных материалов на основе MoS_2 , легированных медью, и термодинамические расчеты примесей меди с редкими металлами, такими как молибден, вольфрам и ванадий. Изучается влияние смесей ультрадисперсных материалов на термостабилизацию композитов, оценивается использование полученных материалов для улучшения характеристик узлов трения. Кроме того, описан процесс создания лабораторной установки для пиролиза смол, позволяющей получать компоненты высокотемпературных смазочных материалов.

Ключевые слова: триботехнические свойства, медные композиты, дисульфид молибдена (MoS_2), коксохимические смолы, пиролиз смолы, термостабилизация композитов

STUDY OF TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF COMPOSITES BASED MoS_2 ON ALLOYED ULTRAFINE COPPER

M.K. Zhumabayev, A.K. Narembekova

Scientific Supervisor – **A.K. Narembekova**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

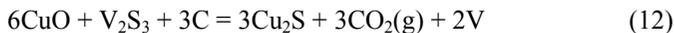
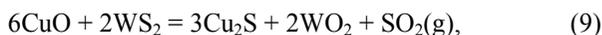
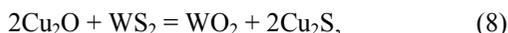
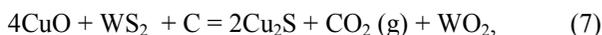
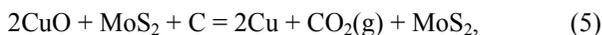
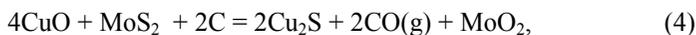
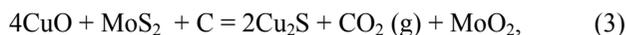
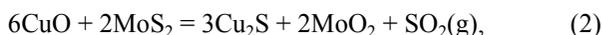
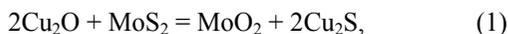
Abylkas Saginov Karaganda Technical University

The article discusses the tribotechnical properties of composite materials based on copper alloyed with MoS_2 and thermodynamic calculations of mixtures of copper with rare metals such as molybdenum, tungsten and vanadium. The effect of additives of ultrafine materials on the thermal stabilization of composites is investigated, and the use of the obtained materials to improve the operational characteristics of friction units is evaluated. Additionally, the process of creating a laboratory installation for pyrolysis of resins, which allows to obtain components for high-temperature lubricants, is described.

Keywords: tribotechnical properties, copper composites, molybdenum disulfide (MoS_2), coke chemical resins, pyrolysis resins, thermal stabilization of composites

Целью термодинамического анализа является выбор наиболее оптимального состава исходной смеси для формирования необходимого состава продуктов взаимодействия при температурах узлов трения различных агрегатов, а также прогнозирование возможных побочных реакций, приводящих к нежелательным продуктам в присутствии примесей.

Ниже приведены химические реакции с участием соединений меди и редких металлов – молибдена, вольфрама и ванадия, без участия углерода:



Термодинамические расчеты проводились с помощью программного комплекса NSS-5.1 Chemistry (Outokumpu) [1].

1.1. Термодинамический анализ композиционного состава компонентов смеси оксидов или сульфидов меди и молибдена.

Предсказанные химические реакции в присутствии соединений меди и молибдена с участием восстановителя (углерода) приведены в уравнениях (1)-(6).

На рис. 1 представлены результаты термодинамического анализа предполагаемых химических реакций в присутствии соединений меди, молибдена и углерода [2].

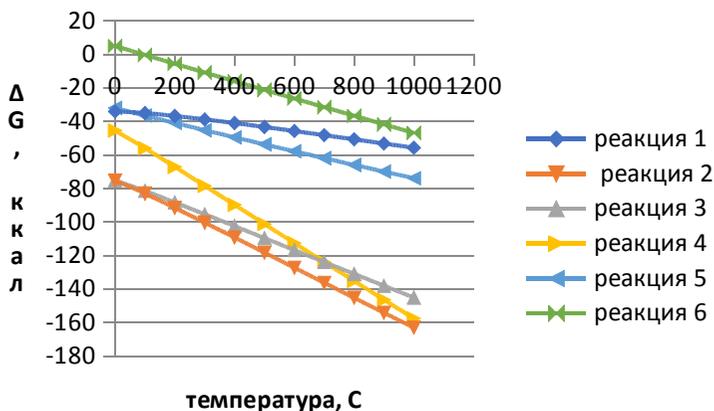


Рис. 1. Результаты термодинамических расчетов химических реакций в присутствии соединений меди и молибдена при различных температурах

С учетом условий термической обработки шихтовых смесей до 300 °С в таблице 1 приведены результаты термодинамического анализа возможных химических реакций.

Таблица 1. Температурная зависимость энергии Гиббса является наиболее благоприятной реакцией в смесях шихты на основе сажа углерода металлической меди и сульфида молибдена [3].

№	Уравнение реакции	Delta H, kcal		Delta G, kcal	
		100 °C	30 °C	100 °C	30 °C
3	$2\text{CuO} + \text{MoS}_2 + \text{C} = 2\text{Cu} + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{MoS}_2$	-19,752	-20,494	-36,400	-45,164

Из табл. 1 видно, что реакция (3) образования металлической меди и дисульфида молибдена в присутствии углерода имеет большую вероятность. Восстановление молибдена до металла не требуется, так как сульфид молибдена имеет слоистую структуру и высокую пластичность.

Смесь следует использовать в соответствии с реакцией (3). Согласно полученным данным, дисульфид молибдена имеет высокую вероятность окисления в присутствии оксида меди и образования молибдата меди. Такое преобразование возможно на стадии получения плакатного масла, и неизвестно, какой эффект оно окажет при его использовании [2].

Углерод и медь являются макросодержащими компонентами смазки, а сульфид молибдена является добавкой, улучшающей его эластичность. Также важно, чтобы углерод не содержал абразивных примесей и имел определенную твердость, грубость. Эти свойства обеспечиваются удалением сажевого углерода из коксохимических смол.

Необходимость учета доступности и дешевизны сырья и реагентов требует рассмотрения возможности использования различного компонентного состава реакционной смеси. Поэтому на основе термодинамического анализа различных возможных реакций при получении композиционного состава углеродной смазки с покрытием на основе порошкообразной меди и сульфидов редких металлов (MoS_2 , WS_2 и V_2S_3) был выбран наиболее подходящий компонентный состав шихты. В этом случае используется восстановитель – сажа, полученная из смол коксохимического производства с аморфной структурой и без твердых примесей. Основной выбор основан на реакции образования металлической меди и дисульфида молибдена в присутствии углерода (реакция (3)) [5].

Термодинамический анализ композиционного состава компонентов смеси оксидов или сульфидов меди и вольфрама.

Предсказанные химические реакции в присутствии соединений меди и вольфрама с участием восстановителя (углерода) приведены в уравнениях (5)-(9).

Аналогичные данные получены для химических реакций с участием вольфрама (рис. 2) [6].

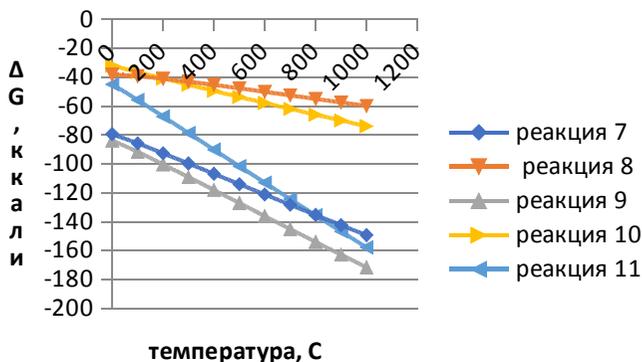


Рис. 2. Результаты термодинамических расчетов химических реакций в присутствии соединений меди и вольфрама при различных температурах

С учетом условий термической обработки шихтовых смесей до 300 °C в табл. 2 приведены результаты термодинамического анализа возможных химических реакций.

Таблица 2. Результаты термодинамического анализа возможных реакций в дисульфидных шихтовых смесях вольфрама

№	Уравнение реакции	Delta H, kcal		Delta G, kcal	
		100 °C	30 °C	100 °C	30 °C
8	$2\text{CuO} + \text{WS}_2 + \text{C} = 2\text{Cu} + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{WS}_2$	-19,752	-20,494	-36,400	-45,164
9	$2\text{CuO} + \text{WS}_2 + \text{C} = \text{Cu}_2\text{S} + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{W}$	-15,187	-15,187	-55,702	-78,595

Таким образом, делается наиболее вероятный выбор реакции, в присутствии восстановителя углерода, предотвращающего окисление сульфидов вольфрама оксидом меди при определенных температурных условиях (уравнения (8) и (9)).

В табл. 2 представлен наиболее оптимальный состав исходных смесей для формирования необходимого состава продуктов взаимодействия при температурах узлов трения различных агрегатов между оксидом меди и сульфидом вольфрама (реакция (8)), а также прогнозирование возможных побочных реакций, приводящих к нежелательным продуктам в присутствии примесей [7].

1.2. Термодинамический анализ композиционного состава из компонентов смеси оксидов или сульфидов меди и ванадия.

Химические реакции в присутствии соединений меди и ванадия, в которых участвует и не участвует углерод, представлены уравнением (12).

Результаты термодинамического анализа предполагаемых химических реакций с участием соединений меди и ванадия и без участия углерода приведены на рис. 3.

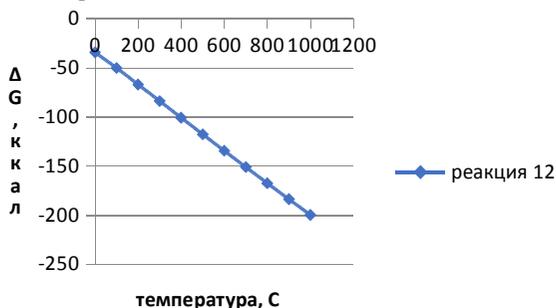


Рис. 3. Результаты термодинамических расчетов химических реакций в присутствии соединений меди и ванадия при различных температурах

Учитывая условия термической обработки шихтовых смесей до 300 °C, в таблице 3 приведены результаты термодинамического анализа возможных химических реакций.

Таблица 3. Результаты возможного термодинамического анализа реакции в шихтовых смесях оксида меди и углерода в присутствии сульфида ванадия

№	Уравнения возможных реакций в смесях шихты для термостабилизации продуктов	Delta H, kcal		Delta G, kcal	
		100 °C	30 °C	100 °C	30 °C
2	$6\text{CuO} + \text{V}_2\text{S}_3 + 3\text{C} = 3\text{Cu}_2\text{S} + 3\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{V}$	9,445	13,385	-50,022	-83,731

Согласно полученным данным, дисульфид ванадия имеет высокую вероятность окисления в присутствии оксида меди (см. рис. 3) и образования сульфида меди и ванадия (уравнение (12)). Такое преобразование возможно на стадии получения плакатного масла, и неизвестно, какой эффект оно окажет при его использовании.

В таблице 4 представлен наиболее оптимальный состав исходных смесей для формирования необходимого состава продуктов взаимодействия при температурах узлов трения различных агрегатов.

Результаты проведенного термодинамического анализа, предполагаемые химические реакции в присутствии соединений меди и редких металлов – молибдена, вольфрама, и без участия углерода представлены на рис. 1-3.

Согласно полученным данным, дисульфид молибдена имеет высокую вероятность окисления в присутствии оксида меди и образования молибдата меди. Такое преобразование возможно на стадии получения плакатного масла, и неизвестно, какой эффект оно окажет при его использовании.

Аналогичные данные были получены для химических реакций с участием вольфрама и ванадия [9].

Таблица 4. Температурная зависимость энергии Гиббса наиболее благоприятная реакция в смесях шихты для получения композиционного состава металлического медного и молибдена, ванадия и сульфида вольфрама на основе углерода

№	Уравнение реакции	Delta H, kcal		Delta G, kcal	
		100 °C	30 °C	100 °C	30 °C
5	$2\text{CuO} + \text{MoS}_2 + \text{C} = 2\text{Cu} + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{MoS}_2$	-19,752	-20,494	-36,400	-45,164
10	$2\text{CuO} + \text{WS}_2 + \text{C} = 2\text{Cu} + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{WS}_2$	-19,752	-20,494	-36,400	45,164
2	$6\text{CuO} + \text{V}_2\text{S}_3 + 3\text{C} = 3\text{Cu}_2\text{S} + 3\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{V}$	9,445	13,385	-50,022	-83,731

Углерод и медь являются макросодержащими компонентами смазки, а сульфид молибдена является добавкой, улучшающей его эластичность. Также важно, чтобы углерод не содержал абразивных примесей и имел определенную твердость, грубость. Эти свойства обеспечиваются

удалением сажевого углерода из коксохимических смол. Для этих целей была разработана конструкция лабораторной пиролизной установки [10].

Термодинамический анализ ряда химических реакций, которые могут происходить при термостабилизации порошковых смесей оксида меди, углерода и редкоземельных металлов (молибдена, ванадия и вольфрама), был выбран наиболее вероятным и необходимым для дальнейшего экспериментального исследования. Результаты дают общее направление и основу для продолжения следующих этапов исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Температурная зависимость трибологических свойств покрытий MoS_2 и MoSe_2 / Т. Кубарт, Т. Полькар, Л. Копеcki, Р. Новак, Д. Новакова // Технология поверхностей и покрытий. 2005. Т. 193. С. 230-233.
2. Тесакова М.В. Влияние ультрадисперсных (наноразмерных) медьсодержащих порошков на трибологические свойства промышленных смазок / М.В. Тесакова, В.И. Парфенюк, В.А. Годлевский // Электронная обработка материалов. 2008. №6. С. 56-62.
3. Кужаров А.С. Еще раз и несколько иначе о металлоплакировании, ФАБО и безысходности / А.С. Кужаров, А.А. Кужаров // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №4(3). С. 772-775.
4. Погодаев Л.И. Влияние смазочных композиций с добавками на работоспособность трибосопряжений / Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2004. №1. С. 51-62.
5. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безысходность). М.: Издательство МСХА, 2001. 617 с.
6. Погодаев Л.И. Влияние металлоплакирующих добавок к пластичным смазкам на работоспособность трибосопряжений / Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин, Д.В. Третьяков // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2003. №1. С. 54-65.
7. Темкин О.Н. Каталитические проявления ацетиленовых соединений в растворах комплексов металлов / О.Н. Темкин, Р.М. Флид. М.: Наука, 2008. 212 с.
8. Алексеева Н.Ф., Темкин О.Н., Флид Р.М. // Кинетика и катализ. 2015. Т. 11. С. 1071-1072.
9. Activated carbon from coal tar pitch and furfural for the removal of p-nitrophenol and m-aminophenol / В. Petrova, В. Tsyntarski, Т.А. Budinova, N. Petrov, L.F. Velasco, С.О. Ania // Chemical engineering journal. 2011. Vol. 172, iss. 1. P. 102-108.
10. Alcañiz-Monge J. CO_2 separation by carbon molecular sieve monoliths prepared from nitrated coal tar pitch / J. Alcañiz-Monge, J.P. Marco-Lozar, M.A. Lillo-Ródenas // Fuel processing technology. 2011. Vol. 92, iss. 5. P. 915-919.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ В КАЗАХСТАНЕ

Ш.М. Маниова, А.Ж. Куандык

Научный руководитель – **Б.Б. Саркенов**, канд. техн. наук, доцент

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
Республика Казахстан, г. Караганда

Железородная отрасль является одной из ключевых для экономики Казахстана, поскольку страна обладает значительными запасами железной руды и располагает стратегическим расположением для поставок на мировые рынки. Тем не менее, эта отрасль сталкивается с рядом проблем, которые ограничивают её развитие и конкурентоспособность на международном рынке.

***Ключевые слова:** мировой рынок, железная руда, инвестиция*

PROBLEMS AND PROSPECTS OF IRON ORE DEVELOPMENT IN KAZAKHSTAN

Sh.M. Maniova, A.Zh. Kuandyk

Scientific Supervisor – **B.B. Sarkenov**, Candidate of Sciences,
Associate Professor

Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov

The iron ore sector is one of the key industries for Kazakhstan's economy, as the country possesses significant iron ore reserves and a strategic location for supplying global markets. However, this sector faces several challenges that limit its development and competitiveness in the international market.

***Keywords:** global market, iron ore, investment*

Основные проблемы железорудной отрасли Казахстана

Железородная отрасль является одной из ключевых для экономики Казахстана, поскольку страна обладает значительными запасами железной руды и располагает стратегическим расположением для поставок на мировые рынки. Тем не менее, эта отрасль сталкивается с рядом проблем, которые ограничивают её развитие и конкурентоспособность на международном рынке. Казахстан богат месторождениями железной и марган-

цевой руды, которые играют важную роль в металлургической промышленности страны. Среди значимых месторождений можно выделить Соколов-Сарыбайское, Лисаковское, Атасу и Кентобе.

Соколов-Сарыбайское месторождение находится в Костанайской области и является одним из крупнейших источников железной руды в Казахстане. Содержание железа в руде здесь составляет примерно 50–60%, что делает её ценной для производства чугуна и стали. Месторождение разрабатывается в составе Соколовско-Сарыбайского горно-обогатительного производственного объединения (ССГПО). Лисаковское месторождение, также расположенное в Костанайской области, характеризуется содержанием железа около 35–40%. Из-за более низкого содержания железа руда требует обогащения перед использованием в металлургии. Лисаковская руда используется для производства стали и чугуна.

Атасу – месторождение железной руды в Карагандинской области. Содержание железа в руде здесь составляет примерно 50–60%, что позволяет использовать её в металлургии для производства высококачественного металла. Кентобе – месторождение марганцевой руды, также расположенное в Карагандинской области. Содержание марганца в руде составляет 20–30%. Марганец из этого месторождения используется как легирующий элемент в сталелитейной промышленности, придавая сплавам прочность и износостойкость. Эти месторождения являются важными источниками сырья для казахстанской металлургии и способствуют развитию экономики страны, обеспечивая сырьё для внутреннего производства и экспорта.

1. Истощение запасов высококачественной руды

Хотя Казахстан обладает одними из крупнейших запасов железной руды в мире, большая часть её приходится на магнетитовую руду с относительно низким содержанием железа. Это усложняет процесс добычи и переработки, увеличивая затраты на производство. Снижение запасов высококачественного сырья ставит под угрозу долгосрочную устойчивость отрасли и требует развития технологий, которые позволяют эффективно перерабатывать менее качественную руду.

2. Устаревшее оборудование и технологии

Многие казахстанские предприятия железорудной отрасли используют устаревшее оборудование, что снижает их производительность и увеличивает себестоимость продукции. Недостаток инвестиций в модернизацию и цифровизацию производственных процессов ограничивает возможности по повышению эффективности и снижению издержек. Современные технологии могли бы существенно улучшить качество продукции, повысить её конкурентоспособность и снизить вредное воздействие на окружающую среду.

3. Высокие транспортные издержки

Казахстан – страна с большой территорией и ограниченной транспортной инфраструктурой. Основные месторождения железной руды расположены в центральной части страны, что создает трудности для их доставки на экспортные рынки. Транспортные расходы составляют значительную часть себестоимости продукции и снижают её конкурентоспособность на международных рынках, особенно по сравнению с производителями из России, Австралии и Бразилии.

4. Экологические требования и воздействие на окружающую среду

Железорудная добыча оказывает значительное воздействие на экологию, включая загрязнение воды и воздуха, разрушение почвенного покрова и уничтожение природных ландшафтов. В последние годы требования к экологической безопасности становятся более жёсткими, особенно на внешних рынках, что требует внедрения новых технологий и увеличивает затраты компаний.

5. Недостаток инвестиций

Для модернизации производственных мощностей и внедрения новых технологий требуется привлечение инвестиций, в том числе иностранных. Однако иностранные инвесторы нередко сталкиваются с проблемами, такими как экономическая нестабильность, высокие риски и недостаточная поддержка со стороны государства. Эти факторы ограничивают инвестиционную привлекательность отрасли.

Одна из главных задач – внедрение новых технологий разработки месторождений, обогащения руд и подготовки металлургического сырья. МСБ как геолого-экономическая категория неразрывно связана с добычей и переработкой минерального сырья. Фонд запасов легкообогатимых магнетитовых руд в Кустанайском железорудном бассейне регионе постоянно сокращается из-за их интенсивной отработки. Подавляющая часть балансовых запасов железа неактивна, из-за отсутствия экономически приемлемых технологий их добычи и особенно переработки. В Казахстане основные запасы железосодержащего сырья разведаны и ближайшем будущем вообще не будет найдено месторождений с достаточно большими запасами легкообогатимых существующими способами руд этого металла. Значит, надо разрабатывать новые технологии, обеспечивающие рентабельное производство товарной продукции из имеющихся балансовых запасов рудного сырья.

Однако большие запасы бурых железняков месторождений Лисакского, Аятского и Приаральского вовлекаются в эксплуатацию в недостаточном объеме или вовсе не востребованы, при сравнительно очень низкой себестоимости добычи руды, поскольку нет в настоящее время в стране экономически рентабельных технологий их переработки. В этом направлении государством производятся работы на ближайшую, среднюю и долгосрочную перспективу по расширению экспорта ЖРС и получения

существенных экономических выгод для страны. После того как Лисаковское ГОК перешло в собственность АО Арселор Миттал, проблема обогащения труднообогатимой Лисаковской руды стала проблемой АО Арселор Миттал. При утвержденной проектной мощности переработки руды 36 млн т в год Лисаковский горно-обогатительный комбинат в настоящее время вырабатывает менее 2,0 млн т товарной руды в год, а при проектировании намечено было в перспективе довести переработку до 72 млн т в год сырой руды, что составляет ~ 30 % потребность металлургической промышленности стран СНГ на сегодняшний день.

Обладая крупнейшими в мире запасами железорудного сырья, солидной потребительской базой в лице Китая и России и выгодной по транспортировке, у Казахстана имеются возможности расширить свое присутствие на мировых рынках ЖРС. С учетом прогнозов наращивания объемов мировой торговли ЖРС, а также тенденций перемещения сталелитейных мощностей в развивающиеся страны, имеются перспективы укрепления позиций Казахстана в качестве экспортера железорудного сырья на мировой рынок.

Поставленные задачи в работе решаются следующими основными методами: технико-экономическим анализом практики добычи и реализации ЖРС, экономико-статистическими расчётами функционирования мирового рынка ЖРС и маркетингом рынка ЖРС. Повышение качества концентратов при увеличении объёмов производства и доли добываемых труднообогатимых руд невозможно при имеющихся схемах обогащения и количестве оборудования. Для решения этой проблемы необходимо внедрение новых процессов, аппаратов и технологических решений, позволяющих не только не снижать экономические показатели передела обогащения, но и улучшать их.

На рис. 1 представлены данные о добыче сырья и экспорте черной металлургии Казахстана за период с 2018 по 2023 год. Вот некоторые ключевые наблюдения:

1. Производство стали (синяя линия): наблюдается небольшое колебание. Максимум был достигнут в 2021 году (около 4.2 млн т), после чего объем производства немного снизился и стабилизировался на уровне 4.0 млн т в 2022-2023 годах.

2. Производство ферросплавов (зеленая линия): оставалось относительно стабильным в течение всего периода, с небольшим снижением к 2023 году. Это может указывать на стабильный внутренний спрос или ограничения в производственных мощностях.

3. Экспорт продукции (красная линия): достиг пика в 2019 году (5.5 млрд USD), затем наблюдается снижение, особенно заметное в 2022 и 2023 годах. Это может быть связано с глобальными экономическими

условиями, снижением спроса на международных рынках или санкциями и торговыми ограничениями.

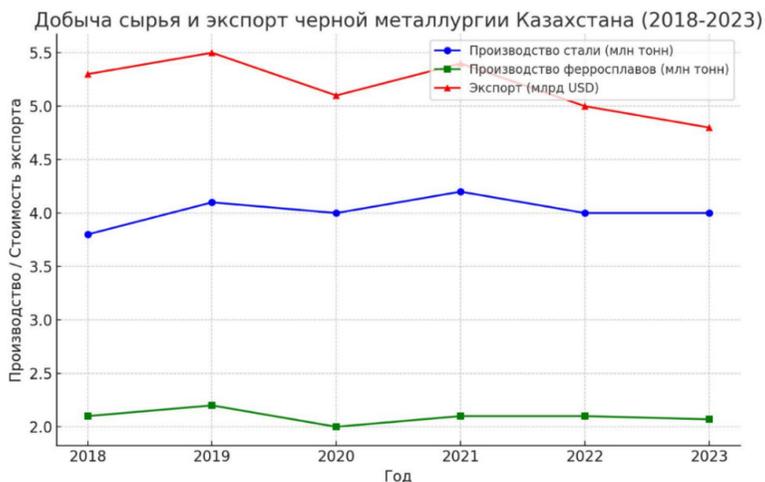


Рис. 1. Добыча сырья и экспорта черной металлургии Казахстана

Горно-металлургический комплекс (ГМК) является одной из базовых отраслей промышленности Республики Казахстан, играющей важную роль в формировании макроэкономических показателей страны (таблица 1).

Планы по модернизации и инвестированию в горно-металлургическую отрасль в Казахстане будут способствовать значительному развитию сектора, а также увеличению доли переработки и производства высококачественных металлических изделий с высокой добавленной стоимостью.

Таблица 1. Макроэкономических показатели РК.

Сектор	Доля, %
Горно-металлургическая отрасль	17,5
Добыча металлических руд	3,8
Добыча железных руд	1,5
Добыча руд цветных металлов	2,3
Металлургическая промышленность	11,8
Производство готовых металлических изделий	1,2

Перспективы развития железорудной отрасли в Казахстане

Несмотря на существующие проблемы, железорудная отрасль Казахстана имеет значительный потенциал для роста и развития. Существует несколько направлений, которые могут существенно укрепить её позиции на международном рынке.

1. Модернизация и внедрение новых технологий

Модернизация оборудования и внедрение современных технологий переработки железной руды позволят улучшить качество продукции, снизить себестоимость и сократить вредное воздействие на экологию. Использование автоматизации и цифровых технологий повысит производительность и поможет в снижении операционных издержек.

2. Развитие экспортного потенциала

Казахстан имеет удобное географическое расположение для поставок железной руды на азиатские и европейские рынки. Особое внимание стоит уделить укреплению позиций на китайском рынке, который является крупнейшим потребителем железной руды в мире. Для этого может понадобиться улучшение транспортной инфраструктуры и оптимизация логистических процессов, что поможет снизить затраты на доставку продукции.

3. Улучшение экологических стандартов

Внедрение экологически безопасных технологий и систем управления отходами позволит снизить вредное воздействие на окружающую среду и улучшить имидж казахстанской продукции на международном рынке. Государственная поддержка таких проектов и налоговые льготы могут способствовать более активному переходу на «зеленые» технологии.

4. Развитие новых месторождений

В Казахстане продолжается изучение и разработка новых месторождений железной руды, особенно в слабоосвоенных регионах. Эти месторождения могут стать важным источником сырья и помочь компенсировать снижение запасов высококачественной руды. Развитие новых месторождений позволит также создать рабочие места и привлечь инвестиции в местные экономики.

5. Повышение уровня переработки

Переработка железной руды для производства продукции с добавленной стоимостью, такой как сталь и железные сплавы, является перспективным направлением для казахстанской отрасли. Это поможет увеличить доходы компаний, создать новые рабочие места и снизить зависимость экономики от экспорта сырья.

Заключение

Железорудная промышленность Казахстана играет ключевую роль в экономике страны, обеспечивая значительную долю экспорта и являясь важным элементом внутреннего производства. Несмотря на наличие бо-

гатых месторождений железной руды, отрасль сталкивается с рядом проблем, включая устаревшее оборудование, низкий уровень переработки сырья, экологические проблемы и зависимость от внешних рынков.

Перспективы развития железорудной отрасли в Казахстане связаны с модернизацией добывающих и перерабатывающих мощностей, развитием технологий для повышения эффективности и экологической безопасности, а также с расширением внутреннего потребления. Стратегическое внимание должно быть направлено на улучшение инфраструктуры, диверсификацию рынков сбыта и повышение ценности продукции через переработку руды.

В целом, для устойчивого развития железорудной промышленности Казахстана необходимы инвестиции в инновации и более тесное сотрудничество с международными партнерами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абдикалыков Е.Б.* Развитие и перспективы горнорудной промышленности Казахстана // Наука и инновации, 2022.
2. *Байжигитов Н.Н.* Экономика железорудной промышленности: проблемы и решения. Алматы: Казахский университет, 2021.
3. *Жумагалиева С.К.* Экологические аспекты горнодобывающей отрасли в Казахстане // Экология и индустрия, 2023.
4. *Касымов А.Р.* Инновации в горнорудной промышленности Казахстана / А.Р. Касымов, М.А. Сейфуллин // Вестник горной науки, 2022.
5. *Петров О.М.* Перспективы экспорта казахстанской железной руды на мировой рынок // Экономика и бизнес, 2023.
6. *Сабитов Р.А.* Автоматизация и цифровизация в горной промышленности Казахстана // Инновационные технологии, 2023.

СОЗДАНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ КРЕПЕЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.У. Мусабай

Научный руководитель – **Р.Б. Султангазиев, PhD**,
ассоциированный профессор, доцент

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова

Нагрев металлических заготовок перед обработкой давлением необходим для повышения их пластичности, что существенно снижает сопротивление деформации и уменьшает энергетические затраты. Процесс нагрева сопровождается температурными напряжениями, зависящими от перепада температур между наружными и внутренними слоями металла. Для сталей с низкой теплопроводностью, таких как высокоуглеродистые и легированные стали, скорость нагрева должна быть снижена. Время нагрева стали определяется по формуле Н.Н. Доброхотова и зависит от коэффициента укладки, теплопроводности и размеров заготовки. Температурный режим нагрева должен предотвращать перегрев и пережог, с учетом верхнего предела ковочных температур, определяемого на 150-200 °С ниже линии солидуса.

Для горячейковки исследуемой стали был выбран режим с температурой началаковки 1230-1280 °С и температурой окончания 860-900 °С. Экспериментальнаяковка опытных болтов М27×250 проводилась с использованием электрической печи и пневматического молота. Фактический коэффициент улова составил 1,7 для головки и 2,5 для стержневой части. В результатековки получены 10 поковок, соответствующих заданным параметрам, без значительных поверхностных дефектов. Испытания на осадку образцов проводились для оценки деформационной способности металла при нормальной и повышенной температуре. В холодном и горячем состояниях испытания подтвердили удовлетворительную пластичность и отсутствие серьезных дефектов.

***Ключевые слова:** крепежные изделия, охлаждение и термообработка, деформация*

CREATION OF MODES OF THERMAL AND MECHANICAL PROCESSING OF WORKPIECES INTENDED FOR PRODUCTION HIGH-STRENGTH FASTENERS

A.U. Musabay

Scientific Supervisor – **R.B. Sultangaziev, PhD**, Associate Professor

Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov

Heating of metal workpieces before pressure treatment is necessary to increase their plasticity, which significantly reduces the deformation resistance and reduces energy costs. The heating process is accompanied by temperature stresses depending on the temperature difference between the outer and inner layers of the metal. For steels with low thermal conductivity, such as high carbon and alloy steels, the heating rate should be reduced. The heating time of steel is determined by the formula of N.N. Dobrokhotov and depends on the laying coefficient, thermal conductivity and the size of the workpiece. The heating temperature regime should prevent overheating and burnout, taking into account the upper limit of forging temperatures, determined at 150-200 ° C below the solidus line.

For hot forging of the steel under study, a mode was selected with a forging start temperature of 1230-1280 °C and an end temperature of 860-900 °C. Experimental forging of experimental M27×250 bolts was carried out using an electric furnace and a pneumatic hammer. The actual horseshoe coefficient was 1.7 for the head and 2.5 for the core part. As a result of forging, 10 forgings corresponding to the specified parameters were obtained without significant surface defects. Precipitation tests of the samples were carried out to assess the deformation ability of the metal at normal and elevated temperatures. In cold and hot conditions, the tests confirmed satisfactory plasticity and the absence of serious defects.

Keywords: fasteners, cooling and heat treatment, deformation

Крепежные изделия являются одними из самых распространенных деталей машин и различных конструкций. Потребность в них составляет 1,1-1,2% от выплавки стали. Среди крепежных изделий наибольший процент составляют резьбовые (до 60% номенклатуры деталей машин): болты, гайки, винты, шпильки, шурупы. Широкий опыт эксплуатации металлургического и горного оборудования показывает недостаточную прочность и износостойкость крепежных изделий. Например, болтов крепления прокатных станов, ножей пресс-ножниц для разделки металлолома, элементов крепления зубьев экскаваторов, дробящих плит, корпусов грохотов, горнопроходческих и добычных комбайнов, шпилек двигателей внутреннего сгорания и т.д.

Для производства высокопрочного крепежа ГОСТ 1759.4 рекомендованы следующие марки сталей: 35ХА, 38ХА, 38ХГНМ, 40Х, 40ХН2МА. Изготовление из этих сталей крепежных изделий на многопозиционных холодновысадочных автоматах требует сложной и дорогостоящей технологии подготовки проката под холодную объемную штамповку (ХОШ), включая проведение длительного сфероидизирующего отжига с целью получения соответствующей микроструктуры с содержанием зернистого перлита > 80%, кроме того, применяют промежуточный отжиг, когда металлопрокат чрезмерно упрочняется в результате деформации и теряет пластичность. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что использование этих сталей с пластинчатой структурой перлита приводит к катастрофическому снижению стойкости формирующего

инструмента. В этой связи возникает необходимость применения стали, обладающей лучшей штампуемостью по сравнению с традиционно применяемыми при упрощенной схеме предварительной подготовки стали к холодной высадке.

С позиций такого подхода наиболее приемлемыми для холодной объемной штамповки (высадки) являются стали с пониженным содержанием углерода (элемента, наиболее сильно влияющего на параметры деформационного упрочнения), легированные марганцем и бором. Анализ данных показывает, что это, как правило, низко- и среднеуглеродистые стали, легированные марганцем, хромом, содержание бора в сталях находится в пределах 0,0005-0,005 %.

Особенностью борсодержащих сталей является их высокая технологическая пластичность, благоприятное соотношение прочностных и пластических свойств в отожженном и термоулучшенном состоянии, высокий уровень характеристик прокаливаемости при значительно меньшем, чем в легированных сталях, содержании легирующих элементов и при меньшем, чем в среднеуглеродистых среднелегированных сталях, уровне закаливемости стали. Анализ показывает, что при значительном уменьшении легирующих элементов в бористых сталях по сравнению с традиционными прокаливаемость их остается практически одинаковой.

На основании данных по изучению механических свойств литой стали, химического состав (таблица 1) рассчитаны силовые параметрыковки и выбраны типы оборудования. Температурно-временные параметры горячейковки и режим охлаждения паковки должны обеспечить заданные свойства (по прочности и пластичности) паковки для обеспечения операции высадки шестигранной головки болта, где степень деформации для черных металлов доходит до 75 %.

Таблица 1. Химический состав опытных сталей

Марка стали	Содержание, %							
	C	Si	Mn	P	S	B	Ni	Cr
20ГР с использованием ферробора ФБ17	0,19	0,30	0,85	0,032	0,03	0,0029	0,15	0,14
20ГР с использованием СМn17 с 0,7% бора	0,20	0,31	0,87	0,032	0,03	0,0031	0,15	0,14
СТ 35	0,37	0,31	0,62	0,032	0,035	-	0,15	0,13

Режим нагрева металла. Нагрев заготовок перед обработкой давлением производится с целью повышения пластичности металла. При этом обеспечивается значительное снижение сопротивления деформации (в 10-15 раз) по сравнению с обычным холодным состоянием, что в конечном итоге обеспечивает снижение энергетических затрат и себестоимости конечной продукции. При нагреве металла в нем возникают температурные напряжения, вызванные растягивающими усилиями нагретых

наружных слоев за счет увеличения объема, скорость проникновения тепла внутрь металла зависит от его теплопроводности. Для снижения термических напряжений, которые зависят от перепада температур наружных и внутренних слоев металла, в зависимости от теплопроводности металла меняется скорость нагрева, а именно, чем меньше теплопроводность, тем медленнее нужно нагревать металл. Поэтому высокоуглеродистые и легированные стали, обладающие малой теплопроводностью, нагревают со значительно меньшей скоростью, чем малоуглеродистые [1, 2].

Время нагрева стали может быть определено по формуле Н.Н. Доброхотова:

$$Z = \alpha \cdot k \cdot D \cdot \sqrt{D},$$

где Z - время, ч; α - коэффициент, учитывающий способы укладки стальных заготовок (при плотной укладке, затрудняющей доступ тепла к нагреваемому металлу, α возрастает до 4); k - коэффициент, учитывающий теплопроводность нагреваемой стали (для малоуглеродистой $k = 10$, а для высокоуглеродистой и легированной $k = 20$); D - диаметр или сторона квадрата заготовки, м.

Температурный режим нагрева металла должен гарантировать нагреваемую заготовку от пережога и перегрева. Температура максимального нагрева металла для обработки давлением (верхний предел ковочных температур) должна быть на 150–200 °С ниже линии солидуса по диаграмме железо-углерод. Выбор температуры конца процессов обработки давлением связан со стремлением получить в изделии мелкозернистую структуру. Для достижения данной цели необходимо обработку давлением доэвтектоидных сталей следует заканчивать при температурах на 25-50 °С выше точки A_{13} . Применяя после обработки давлением различные скорости охлаждения можно получить желаемую структуру: закаленную, нормализованную либо отожженную.

На практике температурный интервал обработки стали давлением определяется с учетом температуры плавления металла (по диаграмме состояния железо-углерод) по формулам:

- начальная температура обработки

$$t_n = (0,85-0,95) \cdot t_{пл.},$$

- температура концаковки

$$t_k \sim 0,7t_{пл.}$$

Различают оптимальный и технологический необходимые интервалыковки. Оптимальный температурный интервалковки определяется температурами начала и концаковки, который устанавливают на основании конкретных данных о поведении металла при различных температурах (диаграммы состояния). Это максимальный интервал. Необходимый

интервал температурковки определяется временем, затрачиваемым для выполнения данной операции.

Нами в своих исследованиях для получения нормализованной структуры стали операцию концаковки заканчивали при температуре A_{r_3} плюс 25-50 °С. Для стали марки Ст35 $A_{r_3} = 796$ °С, а для стали марки 20Г – 830 °С.

С учетом размера заготовки и химического состава стали установлен следующий режим обработки металла давлением (горячаяковка):

- для опытной стали: температура началаковки 1230–1280 °С, температура концаковки 860–900 °С, время нагрева – 20 мин.

- для сравнительной стали: температура началаковки 1200–1250 °С, температура концаковки 840–880 °С, время нагрева – 20 мин.

Нагрев металла. Различают технически возможные и допустимые скорости нагрева. Технически возможные – это максимальная скорость нагрева, которую можно получить на данной печи. На скорость нагрева и время нагрева влияют следующие факторы: температура печи (температурный напор), укладка заготовок, форма и размеры заготовок, коэффициент теплопередачи k , коэффициент теплопроводности λ , коэффициент температуропроводности α , удельная теплоемкость c , плотность заготовки ρ , пластичность материала. Теплоту Q , подводимую к нагреваемой заготовке, можно подсчитать по формуле теплопередачи:

$$Q = k(t_1 - t_2)F \cdot T_n,$$

где t_1 - температура печи; t_2 - температура заготовки; F - нагреваемая поверхность заготовки; T_n - время нагрева.

Таблица 2. Влияние размеров заготовки на время нагрева (при $t_n = 1200$ °С)

Диаметр, мм	25	50	75	100
T_n , мин	9	20	28	38

Установлено, что заготовки диаметром менее 100 мм из всех сортов конструкционной и низколегированной стали можно сажать в горячую печь и греть с технически возможной скоростью, которую обеспечивает печь при конечном температурном напоре 100–150 °С.

При нагреве в камерных печах необходимо, чтобы заготовки нагревались раскаленными продуктами полного сгорания топлива, а не языками пламени, содержащими избыток кислорода, окисляющий металл.

При загрузке печи слитки кладутся не на подину, а на специальные подставки. Наилучшие условия нагрева металла обеспечиваются при единичной посадке слитков. При укладке их рядом время нагрева увеличивается на 20-30%, а при укладке слитков в несколько рядов время нагрева увеличивается в 1,2-2,0 раза.

Нами нагрев опытных образцов производили в электрических печах сопротивления с карборундовыми (силитовыми) нагревателями с единичной загрузкой заготовок. Опытные образцы (холодные) закладывали в предварительно нагретую до 1300 °С печь, на специальную подставку из огнеупорного материала.

Охлаждение и термообработка поковок. Режим охлаждения поковок после обработки давлением имеет такое же значение, как и режим нагрева. Скорость охлаждения влияет на величину термических напряжений, которые в случае быстрого охлаждения могут привести к образованию наружных трещин. В легированных сталях есть опасность поверхностной закалки. Чем более легирована сталь и больше размеры поковки, тем медленнее должно быть охлаждение. Низкоуглеродистая и низколегированная стали при малых размерах поковок не требуют предосторожностей при охлаждении. Существуют следующие виды охлаждения: на воздухе одиночные поковки; на воздухе в штабелях; в ящиках с песком, золой или окалиной; в догреваемых колодцах; вместе с печью. Поковки из углеродистой конструкционной стали диаметром до 300 мм охлаждаются на воздухе одиночно и в штабелях. При больших диаметрах охлаждение более медленно и для поковок из крупных слитков применяют охлаждение с печью.

Для опытных поковок для высокопрочных болтов по ГОСТ 7062-90 выбираем вид термообработки – нормализация. В соответствии с этим заготовка после окончания операцииковки при температуре 840–870 °С охлаждается одиночно на спокойном воздухе. Такой режим термообработки позволит стабилизировать структуру перед механической и окончательной термической обработкой.

Экспериментальные исследования по получению поковок на болт М27×250 проведены на научно-производственной базе Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова. Лабораторное оборудование: молот ковочный пневматический модели МА4129, нагревательная электрическая печь сопротивления. Исходная заготовка: сечение квадрат 50 мм, длина 100 мм. Фактический нагрев и температура началаковки составили 1200 °С, а время нагрева – 25 минут.

Ковку выполняли согласно разработанной технологии, которая включала в себя протяжку исходной заготовки на шестигранник S 41 в подкладных бойках, засечку участков по длине для оттяжки хвостовой части и отрубки поковки от общей заготовки, протяжку цилиндрической хвостовой части поковки на диаметр (35+3) мм. Температура концаковки по цвету калия составила 780–800 °С, что соответствует, заданным параметрам. По результатам опытнойковки повторный нагрев не потребовался. Фактический коэффициент укова составил 1,7 для участка головки болта и 2,5 для стержневой части.

Всего получено 10 поковок. При внешнем осмотре и контроле полученных размеров установлено, что поковки болта М27×250 соответствуют чертежу поковки. Последующая механическая обработка на токарно-винторезном станке модели 1К62 с целью снятия припуска показала, что припуски на механическую обработку были назначены правильно. Поверхностные дефекты на всех поковках составляют не более половины припуска на механическую обработку.

Испытание на осадку проводили по ГОСТ 8817-82 в холодном и в горячем состоянии для определения способности металла к деформации сжатия. Сущность метода заключается в осадке образца под действием сжимающего усилия вдоль его оси при нормальной или повышенной температуре и служит для определения способности металла выдерживать заданную относительную степень деформации, а также для выявления поверхностных дефектов металла. Были изготовлены двукратные цилиндрические образцы диаметром 30 мм длиной 60 мм для испытания в холодном состоянии и диаметром 35 мм длиной 70 мм для испытания в горячем состоянии. Испытания проводили при динамической нагрузке [3, 4]. Для технологической пробы использовали пневматический ковочный молот М125. Испытания проводили до достижения образцом конечной высоты h_1 , вычисляемой по формуле

$$h_1 = h(1 - X/100),$$

где h - высота образца до осадки, мм;

X - относительная деформация, %.

Величина относительной деформации назначается для черных металлов 50, 65 или 75%, что можно рассматривать как качественный показатель удовлетворительной, хорошей и высокой пластичности.

Для испытания на осадку в горячем состоянии нагрев образцов производили в муфельной печи, нагретой до температуры $(1010 \pm 5)^\circ\text{C}$. Время выдержки нагретых образцов составило 20 минут. С учетом потерь тепла при транспортировке образцов от печи к деформирующему оборудованию можно считать температуру начала испытания 1000°C . Результаты исследования технологических проб на осадку приведены в таблице 2.

Таблица 3. Результаты исследования технологической пробы на пригодность металла к пластической деформации

Температура деформирования, °С	Высота образца до осадки, мм	Конечная высота, мм	Относительная деформация, %	Пластичность	Состояние поверхности образца
20	60	21	65	Хорошая	Механически обработанная
1000	70	17,5	75	Высокая	Необработанная

Результаты испытаний на осадку показали, что образцы после достижения заданной относительной степени деформации не имеют на боковой поверхности возникших трещин, закатов, надрывов.

Таким образом, образцы следует признать выдержавшими испытания на осадку. Это подтверждает хорошую пластичность боросодержащих сталей в холодном и высокую пластичность в горячем состоянии.

В таблице 4 представлены сравнительные данные технологических свойств опытной боросодержащей стали марки 20ГР и традиционных марок сталей, используемых для изготовления крепежных изделий.

Таблица 4. Результаты сравнения технологических свойств сталей для изготовления крепежных изделий

Марка материала	Пластичность в холодном состоянии	Пластичность в горячем состоянии	Склонность к отпускной хрупкости	Флокеночувствительность	Чувствительность к перегреву
20ГР (опытная плавка)	хорошая	высокая	не склонна	не чувствительна	нечувствительна
35Х, 40Х ГОСТ 4543-71	удовлетворительная	хорошая	склонна	чувствительна	чувствительна
35, 40 ГОСТ 1050-88	удовлетворительная	хорошая	не склонна	не чувствительна	чувствительна

Анализ результатов исследований показывает преимущество в деформировании низкоуглеродистой боросодержащей стали перед среднеуглеродистыми и хромистыми марками сталей.

На основании теоретического анализа и прокатки работы промышленных предприятий для получения заданных механических свойств крепежных изделий поковки выбрана улучшающая термическая обработка – закалка с последующим высоким отпуском. Режим термообработки представлен в таблице 5.

Таблица 5. Режим термической обработки поковки болта М27×250 из стали 20ГР

Ожидаемый кл. прочности	Закалка			Отпуск		
	t нач. под закалку, °С	Закалочная среда	Время выдержки, мин	t отпуска, °С	Способ охлаждения	Время выдержки, мин
8.8–10.9	750-810	Вода при 20 °С	30	500-600	На воздухе	30

Температура закалки для боросодержащей стали принята на уровне 750–810 °С. При этом обеспечивается образование двухфазной ферритомартенситной структуры. В сочетании с высоким отпуском при темпера-

туре 500–600 °С обеспечивается достаточная прочность и упругость стали.

Нагрев заготовки для закалки производили в электропечи. Время выдержки при заданной температуре – 30 минут. Закалочная среда вода при температуре 20 °С.

В процессах отпуска важно достичь заданной температуры, так как этим достигается укрупнение цементитных частиц и образование необходимой структуры. Испытано два режима отпуска от температуры 500 и 550 °С. Время выдержки в печи 30 минут. После отпуска заготовки охлаждали на воздухе.

После улучшающей термообработки изготовлены пробы для механических испытаний по ГОСТ 1497, вырезаны темплеты для изучения структуры металла.

Таким образом, в рамках выполнения данного раздела испытана опытная технологияковки ковки поковок болта М27×250 из борсодержающей стали в подкладных штампах. Установлены температурно-временные параметры ковки ($t_{н.к.}$ – 1200 °С, $t_{к.к.}$ – 780–800 °С). Показано, что предложенная технологияковки поковок позволяет получить годные изделия, удовлетворяющие технологическим требованиям, для изготовления болтов методом холодной и горячей штамповки. Отработан режим улучшающей термообработки опытных поковок, включающий закалку при температурах 750–810 °С и полный отпуск при температурах 500–550 °С. Подготовлены пробы металла для механических испытаний и исследования структуры.

Заключение: По результатам замеров и визуального осмотра поковок установлено, что разработанная технологияковки поковок болтов М27×250 позволяет получать годные изделия, не требует корректировки основных параметров и может быть рекомендована для опытно-промышленного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Миропольский Ю.А.* Холодная объемная штамповка на автоматах. М.: Машиностроение, 2001. 300 с.
2. *Тихонов А.К.* Стали для автомобилестроения // *Технология металлов*. 2008. №12. С. 47-51.
3. *Бобылев М.В.* Сталь для производства прогрессивных видов высокопрочных крепежных деталей автомобиля // *Национальная металлургия*. 2003.
4. *Бочаров Ю.А.* Кузнечно-штамповочное оборудование. М.: Изд. центр «Академия». 2008. 480 с.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Г.Д. Софронов

Научный руководитель - **А.А. Кулебякин**, канд. техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье рассматриваются возможности аппаратного и программного обеспечения для презентации производственного реверс-инжиниринга с применением аддитивных технологий. Вопросы создания такого способа, в том числе для производственных систем, являются актуальными. Целью данного исследования является анализ процесса реверс-инжиниринга детали «Маскот ЯАЗа».

***Ключевые слова:** реверс-инжиниринг, аддитивные технологии, 3D-сканер, программное обеспечение для 3D-печати*

PRODUCTION REVERSE ENGINEERING USING ADDITIVE TECHNOLOGIES

G.D. Sofronov

Scientific Supervisor – **A.A. Kulebyakin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

The article discusses the possibilities of hardware and software for the presentation of industrial reverse engineering using additive technologies. The issues of creating such a method, including for production systems, are relevant. The purpose of this study is to analyze the reverse engineering process of the Mascot YAAZA part.

Keywords: reverse engineering, additive technologies, 3D-scanner, software for 3D-printing

Одним из видов антиквариата можно считать старинные автомобили и элементы их декора, в частности логотипы – маскоты. Появление на капотах автомобилей разнообразных талисманов, фигурок и статуэток относится к самому началу периода интенсивного автомобилестроения – к 1910–1920 годам. В то время машины еще не стали массовым феноменом, поэтому нередко пользовались особым отношением со стороны своих владельцев [1].

Всевозможные человеческие и животные образы, эмблемы различных компаний и объединений, геометрические фигуры и абстрактные

композиции – маскоты (от английского mascot, что в переводе означает «человек, животное или объект, приносящий удачу») стали визитной карточкой той эстетики, которую принесли в мир автомобили XX века. Наиболее известными маскотами являются брендовые эмблемы: почти каждому знакома трехлучевая звезда Mercedes Benz, застывший в прыжке олень ГАЗ-21 «Волга» или статуэтка «Дух экстаза», украшающая капот автомобилей Rolls Royce [2].

Примечательно, что в начале прошлого века многие маскоты устанавливались владельцами автомобилей в соответствии с их личными вкусами и предпочтениями. Это привело к появлению на капотах настоящих произведений искусства, многие из которых изготавливались в единственном экземпляре.

Оригинальные статуэтки, например, «Такса» французского скульптора Андре Беккереля, очень ценятся коллекционерами и по сей день и периодически появляются на дорогах автомобильных аукционах. Какие-то маскоты изготавливались крупными партиями, и владельцы машин могли приобрести их, заглянув в магазин автомобильных запчастей и принадлежностей или заказав по каталогу. Другие фигурки с великой тщательностью и преобладанием ручной работы делались в небольших литейных мастерских, обслуживающих в основном профессиональных скульпторов».

Сегодня, по прошествии многих лет, многие маскоты требуют восстановления или воспроизводства с нуля, именно эта тема рассмотрена в данной работе.

Описание детали «Маскот ЯАЗ». Назначение. Необходимость применения реверс-инжиниринга и аддитивных технологий.

Реверс-инжиниринг можно определить как процесс обнаружения технологических принципов какого-либо устройства, объекта или системы посредством анализа его структуры и функций с целью воспроизведения или более детального изучения. Реинжиниринг является неотъемлемой частью реставрационного процесса по причине редкости многих запчастей, а также отсутствия чертежей, которые зачастую утрачены или вовсе не существовали.

В ходе данной работы реверс-инжинирингу будет подвергаться деталь «Маскот ЯАЗ», устанавливавшаяся с 1945 по 1959 годы на капот грузовиков ЯАЗ производства Ярославского автомобильного завода (ЯМЗ), целью применения данной детали было создание узнаваемого эстетического облика автомобиля [3].

Основные причины необходимости изготовления данной детали, а следовательно, и ее реверс-инжиниринга – восстановление семейства послевоенных грузовиков ЯАЗ в рамках проекта по созданию музея технической истории в городе Ярославль, в условиях отсутствия элементов

декора в связи с утратой большей части выпущенных маскотов и отсутствия их чертежей [4].

К сожалению, до нашего времени сохранились считанные единицы оригинальных надкапотных «Медведей» (рис. 1). Сейчас они сами по себе являются предметами истории, и их установка на машину при реставрации недопустима. Однако в продаже можно встретить поврежденные детали либо с отсутствующей подставкой для установки на машину. При помощи реинжиниринга можно отреставрировать такие элементы и применить при воссоздании исторических автомобилей [5].



Рис. 1. Один из сохранившихся в отличном состоянии маскотов

Анализ геометрических параметров и материала детали. Создание твердотельной модели детали

Для получения данных о геометрических параметрах детали «Маскот ЯАЗ» изначально было принято решение использовать метод 3D-сканирования с помощью устройства RangeVision Spectrum (рис. 2), имеющий поворотный стол [6].



Рис. 2. 3D-сканер RangeVision Spectrum

Основные технические проблемы при сканировании данной детали были вызваны сложностью ее поверхностей и скрытым объемом между подставкой и телом маскота, а также наличием на подставке резьб, которые с трудом поддаются обработке данным видом оборудования. Кроме того, определенные проблемы возникли в связи с исторической ценностью сканируемого объекта – работать с ним можно исключительно в специальных перчатках, при определенной влажности и температуре.

Полученная модель детали подробно повторяет сканируемое изделие. Полученная модель доступна для работы с ней в САД-системах. Существенным недостатком с точки зрения конструктора является сложность формы детали. Так как изначально на ярославском автомобильном заводе маскоты изготавливались путем литья алюминия в форму, после чего доводились ручным методом: удалялся облой, детали шлифовались и полировались, двух в точности одинаковых маскотов ЯАЗ не существует. Учитывая данный факт, целесообразным можно считать применение полученной 3D-модели для создания эталонной детали и литейной оснастки с применением FDM (3D-печати). Проблему составляло также получение достоверной информации о материале детали. По внешним признакам, а также со слов ветеранов автозавода, было установлено, что материалом детали является алюминий.

Изготовление детали. Особенности применения оборудования для 3D-печати

После получения 3D-модели детали «Маскот ЯАЗ» было принято решение пойти по пути создания эталонной детали и литейной оснастки с применением FDM (3D-печати).

Для изготовления эталонной детали и литейной оснастки с применением FDM использован станок (принтер) Flyngbear Ghost, параметры печати настроены в программном продукте Ultimaker CURA 5.2.1 [7]. Для оптимального качества получаемой детали и минимизации последующей ручной обработки (доводки) в настройке параметров печати применяли необходимые настроечные параметры. Общие аппаратные параметры, применяемые при печати модели, показаны в таблице 1.

Таблица 1. Аппаратные параметры, применяемые при печати

№	Параметр	Значение
1	Оборудование	3D-принтер Flyngbear Ghost 5
2	Программное обеспечение	Ultimaker CURA 5.2.1
3	Используемый материал	Best Filament BF ABS 0.4 мм
4	Экструдер (сопло)	SailFine Airflow

Ключевой проблемой в данном случае является низкая скорость печати, однако так как речь идет об изготовлении единичной детали, это не является критичным. После завершения печати мы получим заготовку

маскота, требующую доводки для дальнейшего применения. Так, например, из-за высокой температуры подачи и специфики материала возникает шелушение нити на поверхности [8]. Кроме того, эталонную деталь предполагается установить на отреставрированный автомобиль ЯАЗ-221, следовательно, требуется произвести ее окраску для того, чтобы она приобрела вид, соответствующий оригинальной детали.

Для доводки детали применяются ручная шлифовально-гравировочная машинка PowerDrill производства Hilda с различными абразивными насадками.

После обработки полученная деталь была окрашена алюминиевой эмалью и установлена на отреставрированный седельный тягач ЯАЗ-221.

Анализ процесса реверс-инжиниринга детали «Маскот ЯАЗ»

Как уже было сказано выше, реверс-инжиниринг является неотъемлемой частью реставрационного процесса, и число деталей, которые требуется подвергнуть данному процессу, неизменно растет. Вследствие этого, необходимо проводить анализ реинжиниринга каждой детали по группам для составления базы данных и алгоритма, которые в совокупности смогут снизить временные и денежные издержки на реинжиниринг в будущем [9].

Согласно этому, проведем анализ процесса реверс-инжиниринга детали «Маскот ЯАЗ» в формате: Этап-Проблема-Возможные пути решения. Данный анализ представлен в виде таблицы (таблица 2) [10].

Таблица 2. Проблемы реверс-инжиниринга детали «Маскот ЯАЗ» и пути их решения

Этап реинжиниринга	Проблема	Решение
1. Анализ геометрических параметров и материала детали	1.1 Неизвестный материал	1.1.1 Получение информации о материале от живых свидетелей и участников процесса изготовления деталей 1.1.2 Выявление группы материалов (цветной металл) по внешним признакам: цвет, структура
	1.2 Наличие на детали резьбы, трудно измеримой с помощью 3D-сканера	
	1.3 Историческая ценность сканируемого объекта	Работа в защитных перчатках
2. Создание 3D-модели детали		
3. Подбор материала детали и оборудования для ее изготовления		
4. Производство детали	Требуется доводка детали из-за дефектов, возникающих при печати	Шлифование и окраска

Выявленные проблемы и пути их решения могут помочь при реверс-инжиниринге как подобных деталей, так и других декоративных элементов для старинных автомобилей или антикварных предметов, по причине схожести конструктивных элементов, наиболее сложных для воспроизведения, в частности – предметов, относящихся к группе ювелирных изделий или скульптур.

Заключение

В ходе практики был произведен реверс-инжиниринг детали «Маскот ЯАЗ», в ходе которого была получена ее трехмерная модель путем 3D-сканирования и на ее основе создана новая деталь, идентичная оригинальной, которая была установлена на автомобиль при реставрации. В лаборатории 3D-сканирования ЯГТУ оцифрована уникальная фигура - оригинальный мишка с капота автомобиля ЯАЗ-221. По цифровой модели будет изготовлена литейная форма, а затем выполнено литье алюминия. Печать производилась на личном 3D-принтере Flyngbear Ghost 5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сорокина К.С.* Современный антикварный рынок. Его структура, ликвидные разделы антиквариата, общая характеристика // Всероссийский дистанционный конкурс для педагогов на лучшую методическую разработку интерактивного теста по предметам художественно-эстетической направленности. URL: https://urok.pf/library/sovremennij_antikvarnij_rinok_ego_struktura_lik_115_611.html
2. *Дорофеев С.Ю.* Энциклопедия классических автомобилей / ЗАО «Книжно-журнальное издательство «За рулем». Москва, 2002. С. 5-9.
3. *Софронов Г.Д.* Ярославль – родина Отечественного автомобилестроения / Г.Д. Софронов, Ю.А. Колмаков, А.А. Ивнев // Семьдесят третья всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 20 апреля 2020 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 2 ч. Ч. 1 [Электронный ресурс]. – Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2020. 526 с. 1 CD-ROM. С. 755-758.
4. *Мордовцев Н.Н.* Русский дизель / ПАО «Автодизель» (ЯМЗ). Ярославль, 2016.
5. История проекта «ЯАЗ в строй»: как студенты ЯГТУ восстановили тягач 1958 года. URL: <https://habr.com/ru/companies/ascon/articles/565756/>
6. RangeVision Spectrum Руководство пользователя. URL: https://3dsystem.ru/upload/iblock/b0e/QS_Spectrum_ru_print.pdf?ysclid=m3mzbf7q427739204
7. Introduction to Cura. URL: <https://flyingbear-ghost.com/en/docs/slicer/cura>
8. *Елисейкин Е.И.* Применение быстрого прототипирования в машиностроительном производстве: учебное пособие / Е.И. Елисейкин, Д.И. Агашин, О.Н. Калачев. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2024. С. 53-59.
9. *Гуляев А.С.* Реверс-инжиниринг с использованием 3D-сканера / О.Н. Калачев, А.С. Гуляев. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2020.
10. *Rahito D.A.W.* Additive Manufacturing for Repair and Restoration in Remanufacturing: An Overview from Object Design and Systems Perspectives / Rahito, D.A.W. and A. H. Azman, Center for Integrated Design of Advanced Mechanical Systems, Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, UKM, Bangi 43600, rSelangor, Malaysia; p90291@siswa.ukm.edu.my (R.); hadi.azman@ukm.edu.my (A.H.A.). URL: https://www.researchgate.net/publication/337022119_Additive_Manufacturing_for_Repair_and_Restoration_in_Remanufacturing_An_Overview_from_Object_Design_and_Systems_Perspectives

**МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
СТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРАХ СИНТЕЗА**

С.Д. Шатилло, В.А. Калиниченко

Научный руководитель – **В.А. Калиниченко**, канд. тех наук,
доцент

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается влияние времени выдержки биметаллического композиционного материала на основе кремнистой бронзы, армированной чугунными гранулами. Показаны зависимость изменения состояния чугунных гранул, а также зависимость изменения твёрдости матрицы от времени выдержки.

Ключевые слова: композиционный материал, кремниевые бронзы, чугунные гранулы, армирование, время синтеза

**METALLOGRAPHIC STUDY OF THE STRUCTURE
OF A COMPOSITE MATERIAL AT VARIOUS SYNTHESIS
TIME PARAMETERS**

S.D. Shatillo, U.A. Kalinichenko

Scientific Supervisor – **U.A. Kalinichenko**, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor

Belarusian National Technical University

The effect of the holding time of a bimetallic composite material based on silicon bronze reinforced with cast iron granules is considered. The dependence of the change in the state of cast iron granules, as well as the dependence of the change in the hardness of the matrix on the holding time are shown.

Keywords: Composite material, silicon bronzes, cast iron granules, reinforcement, synthesis time

Известны [1] и достаточно широко используются металлические композиционные материалы на основе медных сплавов, армированные чугунными гранулами. Технологическая схема получения композиционных материалов методом литья включает следующие операции:

- 1) подготовка компонентов (калибровка, подготовка поверхности армирующих элементов);
- 2) подготовка матричного сплава;
- 3) размещение армирующих элементов в форме;
- 4) нагрев формы;
- 5) заливка металлическим сплавом и синтез композиционного материала как такового;
- 6) выдержка в форме, охлаждение и выемка из формы;
- 7) термическая и механическая обработка композиционных изделий.

Их эксплуатационные свойства напрямую зависят от степени и качества взаимодействия армирующих гранул с матрицей. Известно [2, 3], что степень взаимодействия напрямую связана со временем выдержки. Как результат представляет научный интерес металлографическая оценка изменений, произошедших в композиционном материале как таковом и его матрице, и армирующей составляющей, в частности, в зависимости от времени синтеза. Для изучения влияния времени выдержки на степень взаимодействия матрицы и армирующего материала были изготовлены стальные сварные формы диаметром 20 мм. На рис. 1 представлена форма, которая заполнялась чугуном марки ДЛЧ-05, выступающей в качестве армирующего материала. В качестве матричного состава производилась заливка бронзы марки БрКМц 3-1. После заливки образцы первой группы оставались в печи при температуре, равной 1100 градусов, в течение 5 часов, вторая группа проходила выдержку при той же температуре в течение 10 часов. По окончании процесса обработки из образцов были приготовлены микрошлифы для последующего изучения с помощью оптического микроскопа Planar – MICRO vert при увеличении 50X, 200X. В качестве реперной точки был принят образец со временем выдержки 15 минут.

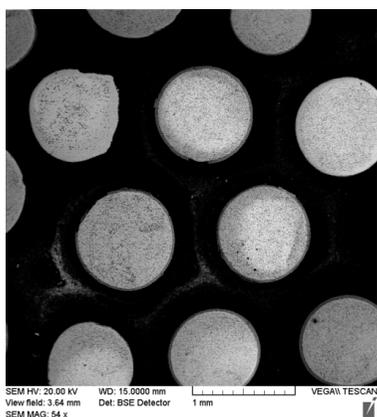


Рис. 1. Стальная сварная форма

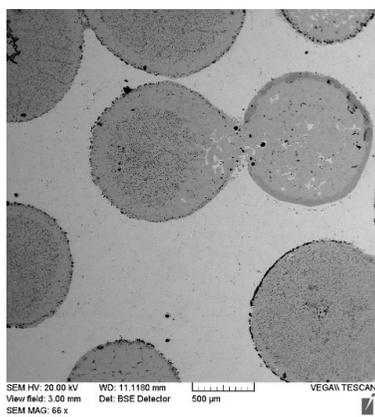
По результатам исследований с применением оптической микроскопии наглядно видны деградационные процессы, произошедшие с дробью. Как видно из рис. 2, *а*, дробь до проведения процесса синтеза композиционного материала представляет собой практически идеальные сферы. На реперном образце со временем выдержки 15 минут дробь сохранила свою сферическую форму (рис. 2, *б*). Изменения, произошедшие с дробью после 5 часов выдержки, представлены на рис. 3, отражающем состояние дробин в центре образца, и рис. 4, отражающем состояние дробин около стальной обечайки. Процессы, произошедшие с дробью, выдержанной в течение 10 часов в аналогичных, что и ранее, точках, представлены на рис. 5 и 6 соответственно.

При времени выдержки в 5 часов очертание чугунных гранул ещё в достаточной степени различимы (рис. 4, *а*). Однако с увеличением времени синтеза наблюдается полная деградация чугунных гранул, что можно проследить на рис. 6, *б*. Данный рисунок полностью иллюстрирует процесс разделения гранул на отдельные элементы и переход армирующей составляющей с макро- на микроуровни.

Не менее интересно пронаблюдать процесс взаимодействия стальной обечайки с матричным расплавом бронзы. Если на первом этапе (рис. 4, *б*) видна хорошо различимая граница обечайки снизу, бронза сверху, то в дальнейшем (см. рис. 6, *б*) видно перемещение частиц обечайки (снизу) в матричный состав (сверху). Как результат видно образование нового типа микрогетерогенного композиционного материала на границе обечайки композиционного материала.



а



б

Рис. 2. Дробь ДЛЧ-05 до проведения синтеза композиционного материала (*а*) и в композиционном материале после заливки и выдержки 15 минут (*б*)

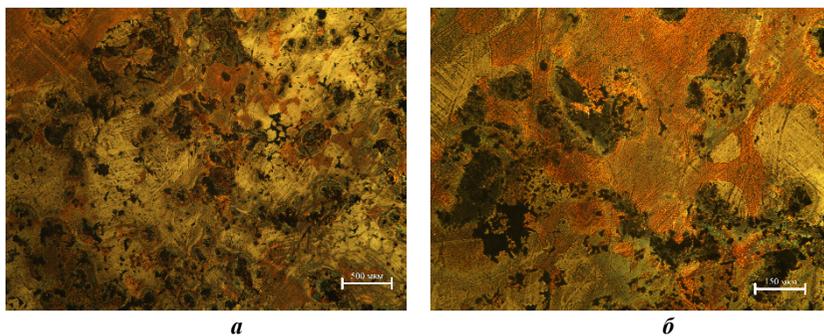


Рис. 3. Изменения чугуной дроби после 5-часового времени синтеза в центре композиционной отливки при увеличении 50X (а), при увеличении 200X (б)

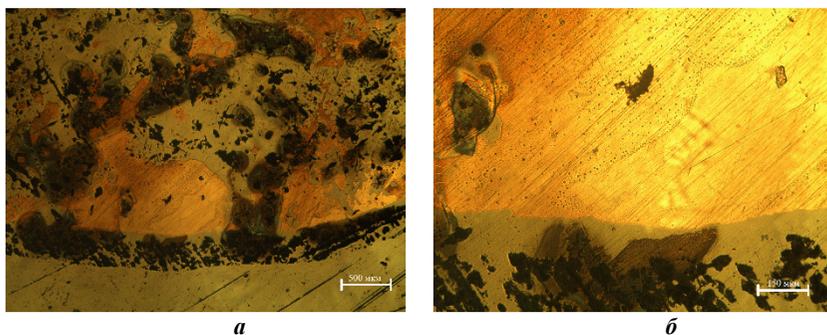


Рис. 4. Изменения чугуной дроби после 5-часового времени синтеза возле стальной обечайки композиционной отливки при увеличении 50X (а), при увеличении 200X (б)

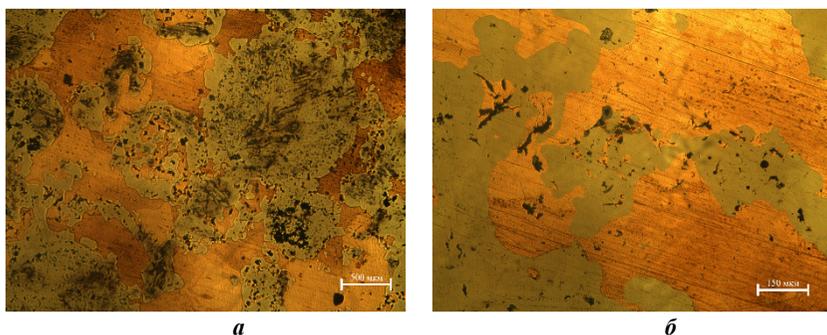


Рис. 5. Изменения чугуной дроби после 10-часового времени синтеза в центре композиционной отливки при увеличении 50X (а), при увеличении 200X (б)

Проведённые исследования показали процесс деградации армирующих гранул в расплавленной матрице с увеличением времени выдержки.

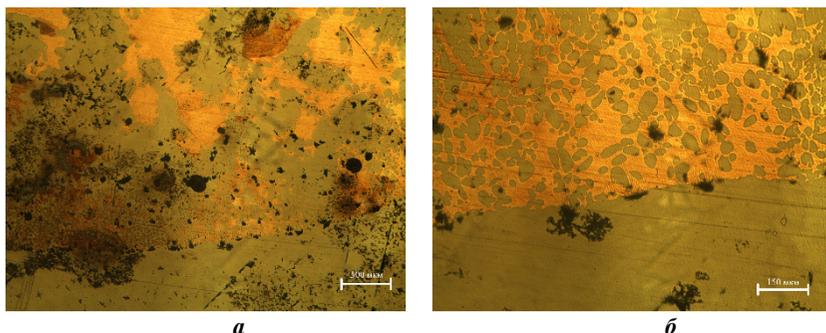


Рис. 6. Изменения чугуновой дроби после 10-часового времени синтеза возле стальной обечайки композиционной отливки при увеличении 50X (а), при увеличении 200X (б)

Данное предположение может быть подтверждено изменениями твёрдости в матричном составе на основе кремнистой бронзы БрКМц3-1. Для исследования микротвёрдости было принято решение о проведения замеров в трех зонах. Точка 1 у обечайки, точка 2 в зоне, близкой к обечайке, точка 3 в центре отливки, как показано на рис. 7.

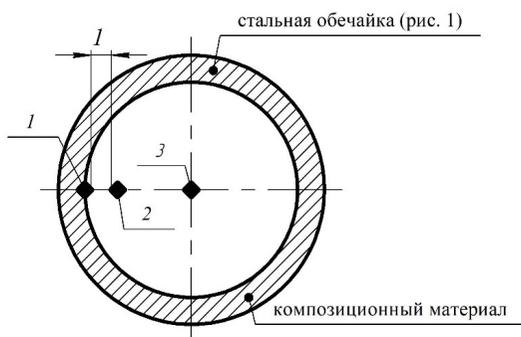


Рис. 7. Зоны для изучения твёрдостных свойств матрицы

Оценка твёрдости проводилась в технопарке БНТУ «Политехник» с использованием микротвёрдомера AFFRI MVDM 8 с нагрузкой на индентор 200 грамм и временем выдержки 15 секунд. Полученные результаты представлены на рис. 8.

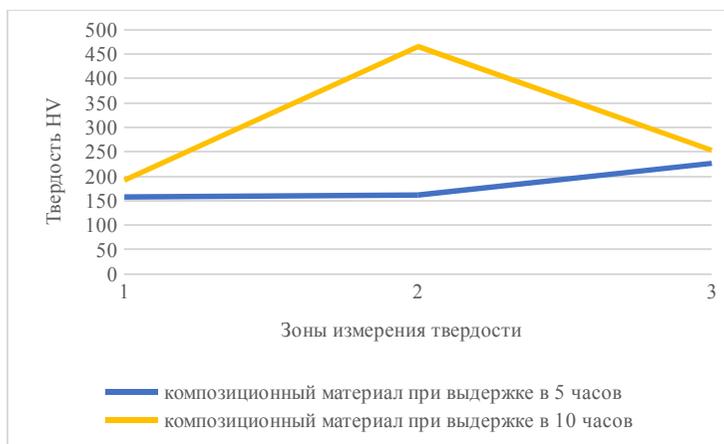


Рис. 8. Изменения микротвёрдости по сечению шлифа

Как видно из рис. 8, при выдержке в течение 5 часов твёрдость матрицы достаточно стабильна по всему сечению шлифа. Однако при увеличении времени выдержки наблюдаются заметный рост твёрдости матрицы с выраженным максимумом в точке 2. Общее увеличение твёрдости можно связать с проникновением железа в бронзовую матрицу, а максимальный пик, скорее всего, объясняется встречной диффузией железа из расплавленных гранул и стальной обечайки.

Проведённые исследования наглядно показали процесс растворения гранул с увеличением времени синтеза, что влечёт за собой как увеличения твёрдости матрицы с её перехода из кремнистой в кремнисто-железную бронзу, так и получения псевдосплава чугуна-бронза в результате протекающих диффузионных процессов между армирующей составляющей и матрицей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калиниченко В.А.* Литые композиционные материалы: состояние и перспективы получения / В.А. Калиниченко, А.А. Андрушевич // *Литейщик России*. 2023. №2. С. 27-36.
2. *Затуловский А.С.* Литые гетерогенные композиты, армированные макроэлементами и эндогенными частицами / А.С. Затуловский, В.А. Лакеев, В.А. Щерцкий // *Литейное производство*. 2019. №11. С.15-16.
3. Калиниченко А.С. Формирование переходной зоны «матричный сплав – упрочняющие гранулы» в процессе твердофазного синтеза композиционного материала / А.С. Калиниченко, В.А. Калиниченко, В.Г. Лугин // *Литье и металлургия* 2022. №3. С.96-100.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ТВЁРДОСТИ АЗОТИРОВАННОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ДВС

К.В. Шокин, Т.Д. Стоянова

Научный руководитель – **Т.Д. Стоянова**, старший преподаватель

Ярославский государственный технический университет

В данной работе рассматривается проблема, возникшая на одном из предприятий, часть деталей, производимых на котором подвергалась обработке азотированием.

***Ключевые слова:** азотирование, твёрдость, ДВС*

RESEARCH OF THE CAUSES OF REDUCING THE HARDNESS LEVEL OF THE NITRIDED LAYER OF ICE PARTS

K.V. Shokin, T.D. Stoyanova

Scientific Supervisor – **T.D. Stoyanova**, Senior Lecturer

Yaroslavl State Technical University

This paper examines a problem that arose at one of the enterprises, some of the parts produced at which were subjected to nitriding treatment.

***Keywords:** nitration, hardness, internal combustion engine*

В данной работе рассматривается проблема, возникшая на одном из предприятий, часть деталей, производимых на котором подвергалась обработке азотированием.

В деталях, находящихся в одной садке печи, при наличии соответствия толщины азотированного слоя и распределения твёрдости по глубине слоя техническим требованиям, измерения показывали пониженный уровень твёрдости на поверхности изделия. Технические требования конструкторского чертежа соблюдались по данному параметру.

Технические требования по конструктивному чертежу:

- сталь 40ХФА ГОСТ 4543-71;
- азотировать h 0,25-0,5 мм;
- твёрдость поверхности 575HV не менее;

- твёрдость сердцевины 241-269НВ.

Для выяснения причин возникновения данной проблемы были проведены следующие исследования:

- замер твёрдости на поверхности;
- определение толщины азотированного слоя методом микротвёрдости на поперечных темплетях;
- распределение толщины азотированного слоя методом микротвёрдости на поперечных темплетях;
- исследование микроструктуры.

Исследования проводились на трёх забракованных изделиях. Вырезка образцов для исследования проводилась по схеме, указанной на рис. 1.

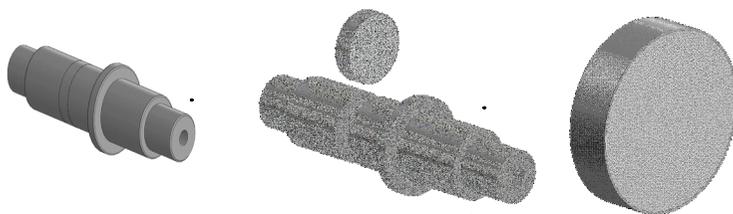


Рис. 1. Получение поперечного темплета

От каждой детали взят образец, поперечный оси изделия. На каждом образце проведены три опыта в местах, указанных на схеме рис. 2.

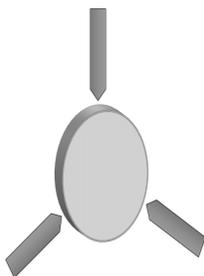


Рис. 2. Определение микротвёрдости с поверхности по нормали к центру детали в трех положениях

Замер твёрдости на поверхности производится методом Виккерса при нагрузке 10 кг (требования к нагрузке установлены в ТИ по контролю качества азотируемых деталей)

Определение толщины производилось методом определения микротвёрдости на приборе марки ПМТ-3 по методике ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвёрдости вдавливанием алмазных наконечников» с нагрузкой в 50 грамм.

Распределение толщины определялось методом замера микротвёрдости, на поперечном темплете по схеме, указанной на рис. 3.

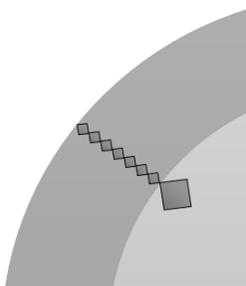


Рис. 3. Определение толщины азотированного слоя

Исследование микроструктуры производилось на оптическом микроскопе.

Технологический процесс азотирования:

1. Улучшение: закалка + высокий отпуск;
2. Азотирование.

Азотирующий газ – аммиак (NH_3).

Цели:

- повышение износостойкости;
- повышение циклической (усталостной) прочности изделия.

Применяется для среднеуглеродистых улучшаемых сталей, как легированных, так и нелегированных.

Температура процесса 500–540 °С

Процесс длится несколько десятков часов.

Толщина слоя 0,3-0,6 мм.

Твёрдость на получаемой поверхности 650–700 HV.

Этапы химико-термической обработки:

- диссоциация $2\text{NH}_3 \rightarrow 6\text{H} + 2\text{N}$,
- адсорбция,
- диффузия.

На рис. 4 представлена диаграмма состояния железо–азот и фазы, образующиеся при определённых температурах и определённом содержании азота.

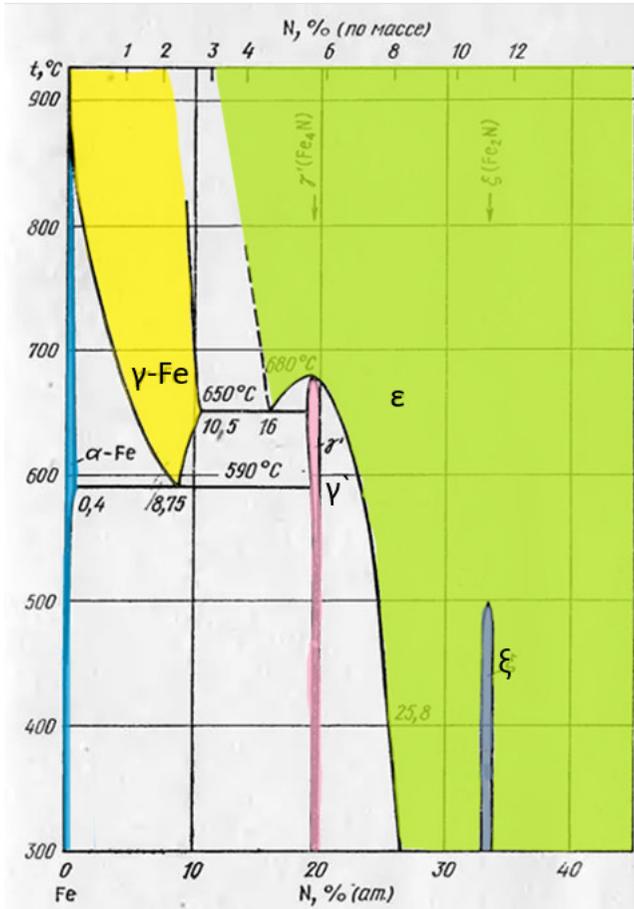


Рис. 4. Диаграмма состояния железо-азот

Фазы в системе сплавов железо-азот:

1. α -твёрдый раствор N в Fe ОЦК;
2. γ -твёрдый раствор N в Fe ГЦК;
3. γ' -твёрдый раствор на основе нитрида железа Fe_4N ГЦК;
4. ϵ -твёрдый раствор на основе нитрида железа Fe_{2-3}N ГПУ;
5. ξ -твёрдый раствор на основе нитрида железа Fe_2N (ромбическая решётка).

Строение кристаллических решеток фаз азотированного слоя представлено на рис. 5 [1].

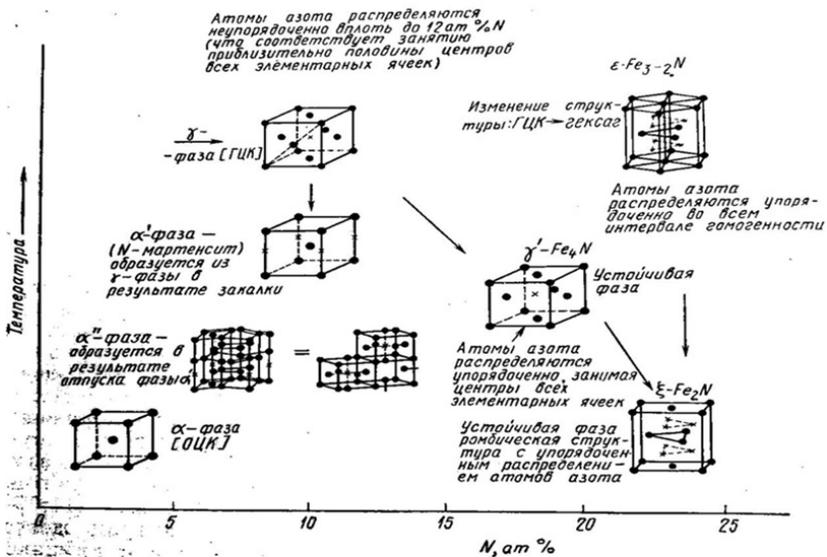


Рис. 5. Строение кристаллических решеток фаз азотированного слоя

Структура азотированного слоя представлена на рис. 6

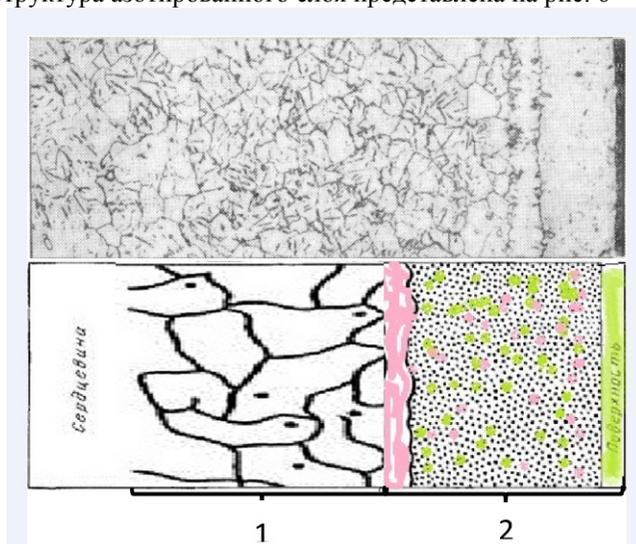


Рис. 6. Структура азотированного слоя:
1 – диффузионная зона; 2 – зона нитридных соединений

Изначальная структура подвергаемой азотированию стальной детали после закалки и высокого отпуска – сорбит (цементит + феррит), в результате азотирования феррит становится азотистым и имеет твёрдость 240–250 НВ. Для сравнения, твердость феррита 170–180 НВ. Структура диффузионного слоя – сорбит (цементит + азотистый феррит) + мелко-дисперсные включения γ' фазы.

Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

	Твёрдость на поверхности, НВ	Твёрдость в сердцевине, НВ	Твёрдость на расстоянии от поверхности, НВ													
			До 0,1 мм	0,1 мм	0,15 мм	0,2 мм	0,25 мм	0,3 мм	0,35 мм	0,4 мм	0,45 мм	0,5 мм				
Деталь 1																
Опыт 1	486	250	727	277	345	647	618	593	428	399	384	338	300			
Опыт 2	485	250	724	283	304	650	621	587	435	396	387	339	300			
Опыт 3	480	250	711	280	336	643	615	590	443	396	386	322	300			
Деталь 2																
Опыт 1	497	260	726	271	322	645	616	590	442	392	390	333	310			
Опыт 2	500	260	719	285	323	650	622	580	443	397	371	324	310			
Опыт 3	485	260	722	286	320	650	624	591	442	409	377	327	310			
Деталь 3																
Опыт 1	495	255	723	275	326	650	623	598	442	395	390	330	305			
Опыт 2	500	255	716	272	335	650	623	596	442	410	371	320	305			
Опыт 3	497	255	726	287	308	642	624	587	427	407	373	330	305			
Среднее значение	492	255	722	280	324	647	621	590	438	400	381	329	305			

На рис. 7 представлен график общего распределения твёрдости по глубине азотированного слоя из ГОСТ 20495-75 (Упрочнение металлических деталей поверхностной химико-термической обработкой. Характеристики и свойства диффузионного слоя)

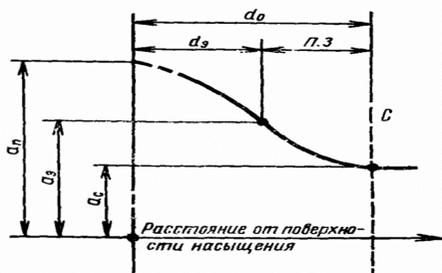


Рис. 7. График общего распределения твёрдости по глубине азотированного слоя [9]:

ПЗ – переходная зона диффузионного слоя; С – сердцевина; d_0 – общая толщина диффузионного слоя; $d_э$ – эффективная толщина диффузионного слоя; a_n – значение базового параметра; $a_э$ – предельное значение базового параметра, установленное для эффективной толщины; a_c – значение базового параметра сердцевины

На рис. 8 изображён график, отображающий результаты исследования распределения твёрдости по толщине азотированного слоя исследуемой детали

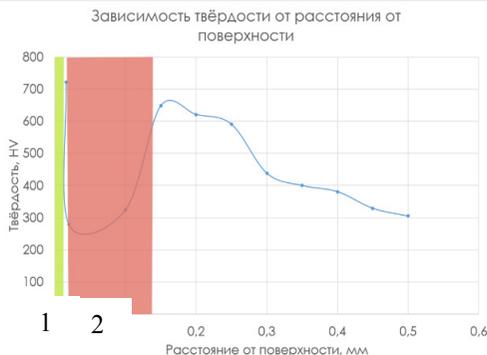


Рис. 8. Результаты исследования распределения твёрдости по толщине азотированного слоя исследуемой детали:
1 - зона нитридных соединений; 2 - зона низкой твёрдости

На графике наблюдается максимальный уровень твёрдости в зоне нитридных соединений, далее наблюдается резкое падение уровня твёрдости. На глубине 0,15 мкм твёрдость снова повышается и далее постепенно понижается до базового значения границы перехода упрочнённого слоя в структуру сердцевины.

Термины из ГОСТ 20495-75, употребляемые в данной работе:

Диффузионный слой – слой материала детали у поверхности насыщения, отличающийся от исходного по химическому составу в результате химико-термической обработки.

Общая толщина диффузионного слоя – кратчайшее расстояние от поверхности насыщения до сердцевины, определяемое установленным методом по значению базового параметра.

Эффективная толщина диффузионного слоя – часть общей толщины диффузионного слоя, определяемая кратчайшим расстоянием от поверхности насыщения до мерного участка, характеризуемого установленным предельным номинальным значением базового параметра.

Глубина залегания зоны (мерного участка) диффузионного слоя – кратчайшее расстояние от поверхности насыщения до ближайшей граничной поверхности зоны (мерного участка) диффузионного слоя

Базовый параметр для определения общей толщины слоя – по инструкции данного предприятия базовым параметром является глубина слоя с твёрдостью, определяемой как твёрдость сердцевины (HV) → твёрдость сердцевины (HV) + 50 HV (в нашем случае 241 HV → 251 HV + 50 HV = 301 HV).

Базовый параметр для определения эффективной толщины – 400 HV на глубине 0,3 мм.

На рис. 9 представлена фотография микроструктуры исследуемой детали.

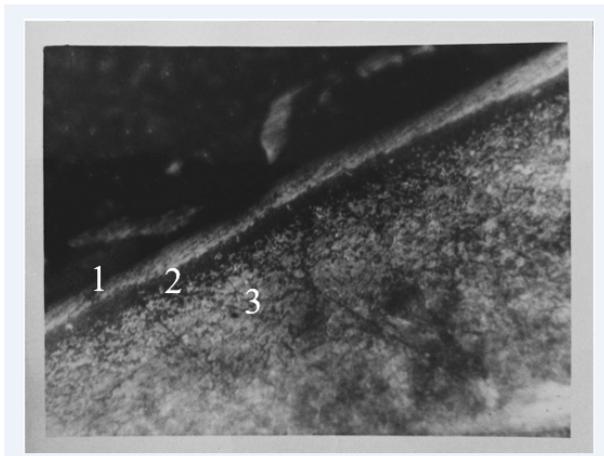


Рис. 9. Микроструктура азотированного слоя:

зона нитридных соединений с залегающей под ней диффузионной зоной:

- 1 - зона нитридных соединений 720 HV, $h = 0,16$ мкм;
- 2 – зона повышенной травимости с твердостью 270–290 HV и глубиной залегания 0,016 до 0,1 мм;
- 3 – диффузионная зона, твердость 650–300 HV, $h = 0,5$ мкм

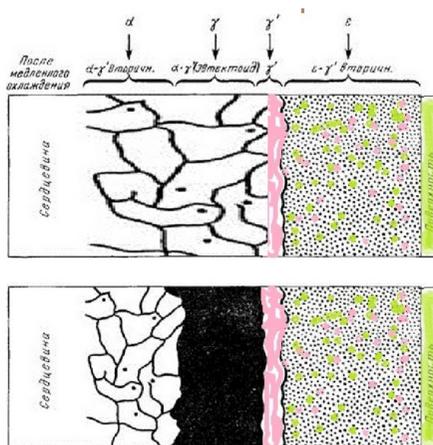


Рис. 10. Структуры азотированного слоя деталей при температуре азотирования до 590 °С и выше 590 °С

На рис. 10 схематично изображены структуры азотированного слоя деталей, нагрев которых в процессе азотирования производился при температурах до 590 °С и выше 590 °С.

Структура азотированного слоя деталей, прошедших процесс азотирования при температуре ниже 590 °С, представляет собой зону нитридных соединений с залегающей под ней диффузионной зоной, структурой которой является азотистый феррит. При насыщении до 6% азота в структуре азотистого феррита появляются мелкодисперсные включения γ' фазы.

На диаграмме состояния системы сплавов железо-азот при температуре 590 °С наблюдается эвтектоидное превращение, в результате которого в структуре азотированного слоя образуется мелкодисперсная эвтектоидная механическая смесь.

По мнению авторов данной статьи, в структуре исследуемых деталей слой с повышенной травимостью и заниженной твердостью, залегающий под зоной нитридных соединений, и есть продукт эвтектоидного превращения при температуре 590 °С.

При исследовании литературных источников было найдено подтверждение этому предположению, а именно в книге А.А. Юргенсона «Азотирование в энергомашиностроении», в которой автор пишет о том, что «при нагреве изделия при азотировании до температур выше 590 °С при последующем медленном охлаждении в структуре выпадает мелкодисперсная эвтектоидная смесь α и γ' фаз троститного типа, названная им «Браунитом».

Выводы:

1. В структуре азотированного слоя под зоной нитридных соединений, наблюдается эвтектоидная структурная составляющая троститного типа с пониженной твердостью.

2. Данная структурная составляющая описана в литературном источнике «Азотирование в энергомашиностроении» и названа А. А. Юргенсоном «Браунитом».

3. Именно эта структурная составляющая является причиной пониженного уровня твердости на поверхности изделия при соответствии глубины азотированного слоя и распределения твердости по глубине слоя техническим требованиям на данный вид изделий.

4. Причиной образования данной эвтектоидной структурной составляющей является перегрев изделий в процессе азотирования выше температуры 590 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юргенсон А.А. Азотирование в энергомашиностроении. М.; Свердловск: Машгиз, 1962. 128 с.

2. *Лахтин Ю.М.* Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. 528 с.
3. *Гуляев А.П.* Металловедение. М.: Metallургия, 1986. 289 с.
4. *Лахтин Ю.М.* Структура и прочность азотированных сплавов / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган. М.: Metallургия, 1982. 175с.
5. ГОСТ 37.001.059-74. Методы измерения толщины азотированного слоя деталей.
6. *Кальнер В.Д.* Контроль качества термической обработки стальных полуфабрикатов и деталей: справочник. М.: Машиностроение, 1984. 384 с.
7. Лахтин Ю.М. Химико-термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин, Б.Н. Арзамасов. М.: Metallургия, 1985. 256 с.
8. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвёрдости вдавливанием алмазных наконечников. М.: Издательство стандартов, 1993. 35 с.
9. ГОСТ 20495-75. Упрочнение металлических деталей поверхностной химико-термической обработкой. Характеристики и свойства диффузионного слоя. М.: Издательство стандартов, 1975. 14 с.
10. ГОСТ 2999-75. Металлы и сплавы. Метод измерения твёрдости по Виккерсу. М.: Издательство стандартов, 1986. 29 с.

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
УПРУГИХ И ВЯЗКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АМОРТИЗАТОРОВ ВИБРАЦИОННОГО КАТКА
ПРИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ**

Д.А. Шорохов, Д.Н. Тихонов, А.И. Тюремнов, И.С. Тюремнов

Научный руководитель – **И.С. Тюремнов**, канд. тех. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье представлены предварительные результаты экспериментального определения коэффициента вязкого сопротивления и динамической жёсткости амортизаторов вибрационных катков на основании анализа резонансной частоты и амплитуды при вынужденных колебаниях. Описана конструкция экспериментального стенда, методика проведения испытаний и результаты предварительного определения коэффициента вязкого сопротивления и динамической жёсткости амортизаторов вибрационных катков. Представлены предложения по повышению точности полученных результатов.

Ключевые слова: катки вибрационные, колебания вынужденные, резонанс, стенд экспериментальный, амортизатор, коэффициент вязкого сопротивления, динамическая жёсткость

**PRELIMINARY RESULTS OF EXPERIMENTAL
DETERMINATION OF ELASTIC AND VISCOUS
CHARACTERISTICS OF VIBRATION ROLLER SHOCK
ABSORBERS UNDER FORCED VIBRATIONS**

D.A. Shorohov, D.N. Tikhonov, A.I. Tyuremnov, I.S. Tyuremnov

Scientific Supervisor – **I.S. Tyuremnov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

This article presents preliminary results of experimental determination of the coefficient of viscous drag and dynamic stiffness of vibration roller shock absorbers based on the analysis of resonant frequency and amplitude under forced vibrations. The design of the experimental stand, the test procedure and the results of preliminary determination of the coefficient of viscous resistance and dynamic stiffness of shock

absorbers of vibration rollers are described. Proposals are presented to improve the accuracy of the results obtained.

Keywords: *vibratory rollers, forced vibrations, resonance, experimental stand, shock absorber, coefficient of viscous resistance, dynamic stiffness*

Грунтовые вибрационные катки представляют собой высокотехнологичную строительную технику, предназначенную для эффективного уплотнения различных типов грунтов и асфальтовых покрытий. Современные модели катков оснащены мощными вибрационными системами, обеспечивающими высокую производительность и качество уплотнения. Производители уделяют особое внимание комфорту оператора, внедряя всё более эргономичные кабины с улучшенной шумоизоляцией и виброизоляцией, а также оснащают технику системами автоматизированного контроля и диагностики [1].

Рабочим органом вибрационного катка является валец – цилиндрическая обечайка, непосредственно контактирующая с уплотняемым материалом. Валец играет ключевую роль в процессе уплотнения грунта, так как его вес и вибрационные воздействия обеспечивают необходимое давление и перераспределения частиц грунта, что приводит к уплотнению материала, способствуют повышению его прочности. Для эффективного уплотнения важно обеспечение заданной частоты и амплитуды колебаний вальца с учетом вида уплотняемого материала и стадии его уплотнения.

Амортизаторы, устанавливаемые между вальцом и рамой катка, играют важную роль в обеспечении эффективности процесса уплотнения. Они служат для предотвращения нежелательных колебаний вальца [2], стабилизации работы катка, защите элементов катка от вибрации, позволяют регулировать продолжительность взаимодействия вальца с грунтом.

Чаще всего амортизаторы вибрационного катка моделируются с использованием параллельно соединённых элементов упругого и вязкого сопротивления (схема Фойгта [3-5]).

Упругий элемент в этой модели отвечает за способность амортизатора возвращаться к первоначальной форме после сжатия или растяжения и учитывает влияние деформации амортизатора на силу его сопротивления. Вязкий элемент учитывает влияние скорости деформирования амортизатора на силу его сопротивления, а также рассеяние энергии механических колебаний.

При описании работы амортизаторов катка важно учитывать не только их упругие свойства при статическом нагружении, но и их динамическое поведение (упругие и вязкие характеристики), особенно для вибрационных уплотняющих машин, имеющих частоты колебаний 20–100 Гц [6].

Для адекватного моделирования работы амортизаторов в таких условиях кроме статической жесткости используются понятия динамиче-

ской жёсткости [7, 8]. Динамическая жёсткость амортизатора представляет собой способность амортизатора сопротивляться деформации при воздействии переменных динамических нагрузок. В отличие от статической жёсткости, которая определяется при приложении постоянного или медленно изменяющегося усилия, динамическая жёсткость описывает поведение амортизатора в условиях вибраций с различными параметрами колебаний. Динамическая жёсткость амортизатора может зависеть от частоты колебаний и амплитуды приложенной силы, что делает её важной характеристикой для оценки эффективности работы амортизатора при реальных условиях эксплуатации.

Как правило, производители амортизаторов указывают в технических характеристиках только значение статической жесткости, не приводя данных о значениях коэффициентов динамической жёсткости и вязкого сопротивления амортизаторов. Это существенно снижает точность моделирования вибрационных машин и эффективность их функционирования.

Таким образом, для составления математической модели вибрационного катка необходимо экспериментально определять значения коэффициентов упругого и вязкого сопротивления амортизаторов при вибрационных воздействиях, т.е. в динамике [9].

Для исследования были использованы амортизаторы модели GMT 58200715, применяющиеся в вибрационных катках, выпускаемых ООО «Завод «Дорожных машин» (г. Рыбинск, Ярославская область).

В данной статье приводятся результаты экспериментального определения характеристик амортизаторов при вынужденных колебаниях.

Вынужденные колебания – это колебания, происходящие под воздействием внешних периодических сил.

Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний при наличии демпфирования имеет вид [10]:

$$mx + bx + cx = F \cos(\omega t), \quad (1)$$

где m – колеблющаяся масса, кг; b – коэффициент вязкого сопротивления амортизатора, Н·с/м; c – коэффициент упругого сопротивления амортизатора, Н/м; ω – угловая скорость колебаний, рад/с; x – перемещение, м.

Преобразуя данное уравнение, получим следующее выражение:

$$x + 2hx + \omega_0^2 x = \frac{F_a \cos(\omega t)}{m}, \quad (2)$$

где h – коэффициент демпфирования, Н·с/(м·кг); ω_0 – угловая скорость собственных колебаний, рад/с; $F_a \cos(\omega t)$ – вынуждающая сила, Н; F_a – амплитуда вынуждающей силы, Н.

Значение ω_0 может быть определено [10]:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}. \quad (3)$$

Коэффициент демпфирования h связан коэффициентом вязкого сопротивления амортизатора b :

$$h = \frac{b}{2m}. \quad (4)$$

При наличии вязкого сопротивления резонансная частота колебаний $\omega_{\text{рез}}$ становится меньше, чем частота собственных колебаний ω_0 [10]. Примерный вид амплитудно-частотной характеристики показан на рис. 1.

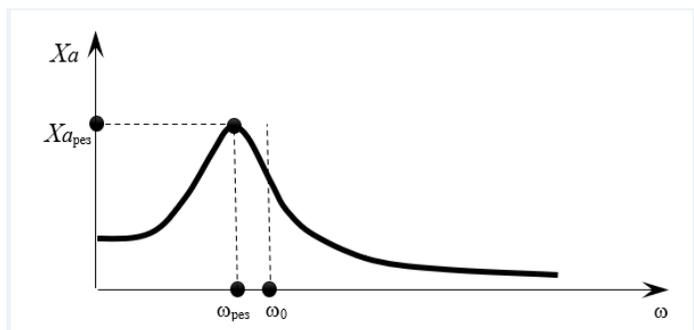


Рис. 1. График зависимости амплитуды от частоты колебаний при резонансе [10]

Под действием внешнего периодического воздействия линейная система совершает вынужденные колебания. Вынужденная вибрация может поддерживаться силовым или кинематическим возбуждением. При силовом возбуждении вынужденное движение вызывается приложенными к системе независимыми от её состояния внешними силами или моментами. При кинематическом возбуждении вынужденное движение вызывается задаваемыми извне (не зависящими от состояния системы) движениями некоторых её точек.

В данном эксперименте вынужденные колебания стенда были вызваны вибровозбудителем ИВ-99Б со статическим моментом 4,2 кг·см.

Режим вынужденных колебаний системы, соответствующий максимуму амплитудно-частотной характеристики, называют резонансом [10]. Величину $x_{\text{арез}}$ называют резонансной амплитудой перемещения, а

$\omega_{рез}$ – резонансной частотой перемещения. А сами колебания называют резонансными.

При резонансной частоте:

$$x_{рез} = \frac{F_a}{2mh\sqrt{\omega_0^2 - h^2}}, \quad (5)$$

$$\omega_{рез} = \sqrt{\omega_0^2 - 2h^2}. \quad (6)$$

Резонанс достигается лишь при условии $h < \omega_0 / \sqrt{2}$ [10]. При этом резонансная амплитуда перемещения $x_{рез}$ убывает с ростом коэффициента демпфирования h .

Зная $\omega_{рез}$, можно значение выразить ω_0 из уравнения (4):

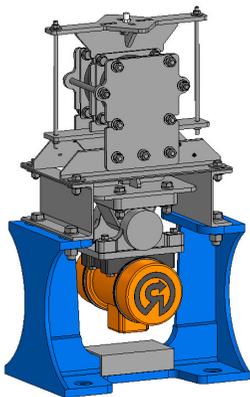
$$\omega_0 = \sqrt{\omega_{рез}^2 + 2h^2}. \quad (7)$$

С учетом (3) жёсткость амортизатора в этом случае, может быть определена:

$$c = m \cdot \omega_0^2. \quad (8)$$

Для проведения испытания был спроектирован экспериментальный стенд. На рис. 2 представлена 3D-модель и конструкция стенда.

а)



б)



Рис. 2. Экспериментальный стенд для генерации вынужденных колебаний:

а - 3D-модель экспериментального стенда;

б - конструкция экспериментального стенда).

Данный стенд содержит вибровозбудитель круговых колебаний ИВ-99Б, горизонтальная составляющая которых подавляется с помощью шарнира. Через этот шарнир на центральную раму, закреплённую между двумя амортизаторами, передаются вертикальные колебания. С помощью лазерного датчика перемещения (модель BAUMER OADM 13U6480/S35A) определялась амплитуда колебаний. Показания лазерного датчика перемещения регистрировались анализатором спектра (модель ZET 017-U8) для последующей обработки на компьютере.

Частота вынужденных колебаний вибровозбудителя регулировалась при помощи частотного преобразователя с точностью 0,1 Гц.

Экспериментальная осциллограмма перемещений в процессе вынужденных колебаний на частоте 22 Гц представлена на рис. 3.

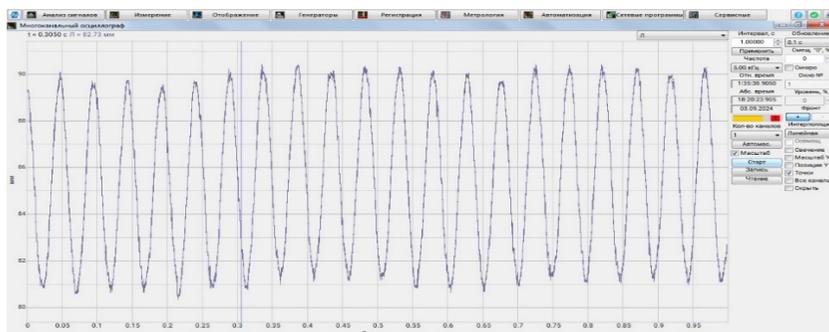


Рис. 3. Экспериментальная осциллограмма перемещений в процессе вынужденных колебаний при частоте 22 Гц

На первом этапе определялся предварительный диапазон резонансной частоты. При этом частота колебаний изменялась в диапазоне от 20 до 50 Гц с шагом 5 Гц. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты первого этапа определения диапазона резонансной частоты

Частота колебаний, Гц	20	25	30	35	40	45	50
Размах колебаний, мм	3,2	12,3	4,8	4,2	3,8	3,2	2,8
Угловая скорость колебаний, рад/с	125,6	157	188,4	219,8	251,2	282,6	314

На втором этапе уточнялось значение резонансной частоты. Частота изменялась в диапазоне от 20–30 Гц с шагом 1 Гц. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты второго этапа определения диапазона резонансной частоты

Частота колебаний, Гц	Размах колебаний, мм	Угловая скорость колебаний, рад/с
20	5,5	125,60
21	6,6	131,88
22	8,8	138,16
23	11,1	144,44
24	12,6	150,72
25	14,2	157,00
26	15,5	163,28
27	7,5	169,56
28	6,5	175,84
29	5,2	182,12
30	5,2	188,40

Таким образом, с точностью ± 1 Гц была найдена резонансная частота колебаний, которая составила 26 Гц (163,28 рад/с) при колеблющейся массе 46 кг. Также была замечена интересная особенность при прохождении резонанса: при медленном уменьшении частоты колебаний на втором этапе система проходила резонанс. Однако при плавном увеличении частоты колебаний система продолжала находиться в состоянии резонанса, несмотря на попытки повышения частоты с помощью частотно-преобразователя.

При расчете значения коэффициента динамической жесткости амортизаторов были использованы результаты ранее проведенного пробного экспериментального исследования на свободные затухающие колебания с разными массами и этими же амортизаторами. Обработка результатов этих экспериментов показала, что среднее значение коэффициента вязкого сопротивления (для двух амортизаторов) составило 1106 Н·с/м, а среднее значение динамической жесткости 1087 кН/м.

С учетом вышеизложенного, задавшись значением коэффициента вязкого сопротивления $b = 1106$ Н·с/м, на основании экспериментально полученных значений резонансной частоты колебаний массы 46 кг ($\omega_{рез} = 26$ Гц) с использованием зависимостей (4)–(8) была определена динамическая жесткость амортизаторов, составившая 1240 кН/м. Полученное значение отличается от значения, определенного из опытов на затухающие колебания менее чем на 14%. Рассчитанный при данном значении динамической жесткости (1240 кН/м) размах резонансных колебаний (равный удвоенной амплитуде колебаний) составил 12,4 мм. Данное значение отличается от экспериментального (15,5 мм) менее чем на 20 %.

Используя значения коэффициента вязкого сопротивления и динамической жесткости амортизаторов, полученные из эксперимента на затухающие колебания, расчетная резонансная частота, определенная по зависимости (6), составила 24,4 Гц при расчетном размахе резонансных колебаний 11,6 мм (определенному по зависимости (5)). Рассчитанные значения частоты и амплитуды резонансных колебаний отличаются от экспериментально определенных примерно на 25 %

Таким образом, в результате проведенных экспериментов с использованием резонанса при вынужденных колебаниях были получены предварительные экспериментальные данные, которые сопоставлены с расчетными значениями. Расхождение между экспериментальными и расчетными данными оказалось не более 25% для различных вариантов определения. Для повышения точности результатов следует уточнить значения коэффициента вязкого сопротивления и динамической жесткости, определяемые в эксперименте с затухающими колебаниями. При экспериментальных исследованиях с вынужденными колебаниями целесообразно рассмотреть возможность использования более точного датчика перемещений, уменьшить шаг изменения частоты при определении резонанса, а также увеличить повторность проведения опытов и применить стандартные методы расчета погрешности измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тюремнов И.С.* Уплотнение грунтов вибрационными катками: монография / И.С. Тюремнов, А.А. Игнатъев. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2012. 140 с.
2. *Adam D.* Operational Devices for Compaction Optimization and Quaiity Control (Continuous Compaction Control & Light Falling Weight Device) / D. Adam, F. Kopf // Proc. Int. Semin. Geotech. Pavement Railw. Des. Constr. Athens, Greece. 2004. P. 97–106.
3. *Шабанова Г.И.* Математическое описание колебательной системы "вибрационный рабочий орган - грунт" / Г.И. Шабанова, С.В. Савельев, Г.Г. Бурый // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2013. №3(31). С. 102-107. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_19032661_60709817.pdf
4. Экспериментальное определение численных значений коэффициента упругого сопротивления сдвигу амортизаторов У150.030 для вибрационных катков / И.С. Тюремнов, Д.В. Федорова, А.С. Морев, Н.Е. Тарасова // Механизация строительства. 2017. Т. 78, № 4. С. 42-45. EDN YHZHPB
5. *Тюремнов И.С.* Моделирование взаимодействия вибрационного катка с уплотняемым грунтом / И.С. Тюремнов, Д.А. Шорохов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2024. Т. 21, № 2(96). С. 202-216. DOI: 10.26518/2071-7296-2024-21-2-202-216. EDN BSOEFX.
6. *Тюремнов И.С.* Анализ технических характеристик различных типов ударно-вибрационных грунтоуплотняющих машин / И.С. Тюремнов // Вестник Сибир-

- ского государственного автомобильно-дорожного университета. 2023. Т. 20, № 6(94). С. 706-716. DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-6-706-716. EDN IGOKXE.
7. *Смирнов В.А.* Сравнительный анализ динамических характеристик эластичных пластмасс и резиновых вибродемпфирующих материалов / В. А. Смирнов, М. Ю. Смоляков // *Строительные материалы*. 2018. № 6. С. 36-40. DOI 10.31659/0585-430X-2018-760-6-36-40.
8. Изучение колебаний пружинного маятника: методические указания к выполнению лабораторной работы М–11 по курсу физики для студентов всех специальностей / сост.: Н.С. Кравченко, В.В. Шамшутдинова, С.В. Обухов; Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022. 14 с.
9. Методы экспериментального определения значений коэффициента вязкого сопротивления амортизаторов вальца вибрационных катков / А.И. Тюремнов, Д.Н. Тихонов, Д.А. Шорохов, И.С. Тюремнов // *Семьдесят шестая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием*. 19-20 апреля 2023 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 1. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. 684 с. 1 CD-ROM. С. 681-686.
10. *Бауман В.А.* Вибрационные машины и процессы в строительстве: Учебное пособие для студентов строительных и автомобильно-дорожных вузов / В.А. Бауман, И.И. Быховский/ М.: Высшая школа, 1977. 255 с.

**Секция «СТАНДАРТИЗАЦИЯ. МЕТРОЛОГИЯ.
ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
КАЧЕСТВОМ В МАШИНОСТРОЕНИИ»**

УДК 006.034

**ПЕРЕХОД К ИНДУСТРИИ 4.0:
РОЛЬ СМАРТ-СТАНДАРТОВ
В МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА**

С.С. Махалова, Д.И. Казюлина

Научный руководитель – **Д.И. Казюлина**, ассистент

Ярославский государственный технический университет

Рассматривается новый вид стандартов, их влияние на производство, содержимое и необходимая нормативная документация.

Ключевые слова: *смарт-стандарты, индустрия 4.0*

**TRANSITION TO INDUSTRY 4.0: THE ROLE OF SMART
STANDARDS IN PRODUCTION MODERNIZATION**

S.S. Makhalova, D.I. Kazyulina

Scientific Supervisor – **D.I. Kazyulina**, Assistant

Yaroslavl State Technical University

A new type of standards, their impact on production, content and necessary regulatory documentation are being considered.

Keywords: *smart-standarts, industry 4.0*

Актуальность

Вопросы использования документов по стандартизации, разработанных с использованием информационных технологий, а именно смарт-стандартов – в настоящее время актуальны в мировом профессиональном сообществе как разработчиков, так и пользователей документов по стандартизации [1].

Процесс внедрения новых технологий, упрощающих работу на производстве, стремительно набирает обороты. В погоне за большей производительностью и массовостью выпускаемой продукции возникла идея перенести информацию с бумажных носителей на электронные, тем самым практически исключив человеческий фактор как влияющий на показатели производительности.

Согласно определению ПНСТ 864-2023, смарт-стандарт – это совокупность данных, содержащихся в документе по стандартизации, которая позволяет сделать его машинопонимаемым, то есть наряду с возможностью чтения человеком предоставляет возможность обработки и использования информационными и киберфизическими системами, минуя человека.

Смарт-стандарты и построенные на их базе сервисы помогут быстрее и точнее искать информацию, эффективнее её анализировать и автоматизировать применение нормативных требований. Внедрение смарт-стандартов сделает возможным превратить документ по стандартизации в рабочий цифровой инструмент, существенно повышающий производительность труда и снижающий количество ошибок [2].

Такой инновационный вид стандартов непосредственно относится к индустрии 4.0.

Индустрия 4.0 воплощает новую фазу промышленной революции. Это подход к производству, основанный на внедрении искусственного интеллекта, автоматизации процессов и облачном хранении данных.

Ключевые технологии, которые лежат в основе Четвертой промышленной революции:

- искусственный интеллект,
- облачные вычисления,
- автономные роботы,
- нанотехнологии,
- блокчейн
- другие новейшие направления автоматизации и информатизации [3].

Как индустрия 4.0 влияет на экономику и бизнес.

В первую очередь Индустрия 4.0 предлагает новые методы управления промышленными предприятиями.

С помощью умного производства, подразумевающего автоматизацию рабочих процессов, можно собирать большие объемы данных, прогнозировать работу оборудования и заменять его до того, как оно придет в негодность и принесет убытки компании. Сбор и анализ данных о каждом звене в цепочке производства позволит оптимизировать весь процесс. Особенно это важно в логистике, космической индустрии.

Пока предприятия плохо подготовлены для полного перехода на технологии Индустрии 4.0. Помимо главной составляющей смарт-стандартов, производствам необходимо наладить ИТ-обеспечение, сменить подход к функционированию предприятия. Однако изменения происходят непрерывно и проявляются в нескольких аспектах [3]:

- наращивании финансовых потоков,
- автоматизации и повышении эффективности труда,
- резком снижении спроса на неквалифицированные кадры.

Наглядным примером внедрения Индустрии 4.0 в российское производство является компания «Северсталь». Они запустили цифровую платформу по продаже металлопроката, позволяющую упростить процесс купли-продажи и сформировать экосистему данных, сервисов и услуг в онлайн-формате.

Это только небольшой шаг на пути к полному внедрению Индустрии 4.0 в нашей стране, однако даже эти наработки поспособствуют ускорить данный процесс. Все же главная задача для экспертов в области стандартизации на сегодняшний день – это разработка системы смарт-стандартов, и только после – внедрение их в уже подготовленное к автоматизации производство.

Для того чтобы разработать смарт-стандарт, необходимо знать его обязательные составляющие и соблюдать структуру. ПТК 711, созданный с целью описания, разработки и внедрения таких стандартов на предприятиях, представил в открытом доступе основные положения по содержанию и структуре смарт-стандартов [4].

Информационная структура смарт-стандарта состоит из информационных блоков, которые содержат информационные элементы. Необходимость включения машиночитаемого, машиноинтерпретируемого и машинопонимаемого содержаний в каждый информационный блок определяется исходя из его назначения. Данные составляющие, хоть и похожи на первый взгляд, носят разное значение. Машиноинтерпретируемое - это содержание, предназначенное для реализации человекоориентированных информационных сервисов, а машинопонимаемое - предназначенное для реализации машиноориентированных информационных сервисов, т.е. для выполнения в системе без участия человека. Примеры поддерживаемых форматов для смарт-стандартов, допускаемых ПНСТ 864-2023:

- машиночитаемое: DOCX, ODF, PDF
- машиноинтерпретируемое: HTML
- машинопонимаемое: XML, XHTML [5].

Сейчас в России структура смарт-стандарта находится лишь на этапе разработки. Для внедрения такой системы необходима большая работа в области непосредственно оборудования и ИТ для совмещения идеи автоматизации с уже налаженными процессами работы по существ-

вующим стандартам. Также необходимо создать и закрепить на официальном уровне все документы, относящиеся к созданию и применению данного вида стандартов, т.е. нормативной базы смарт-стандартов. С этой целью был создан ПТК 711. Его задачей является разработка первых ПНСТ и списка необходимой документации. ПНСТ 864-2023 является первым и единственным документом, составляющим нормативную базу смарт-стандартов.

Выше в статье уже были упомянуты главные составляющие, структура, назначение и цель смарт-стандартов. С учетом уже имеющейся базы стоит рассмотреть сам процесс разработки таких стандартов поэтапно [6]:

1. Уровень 0 - Стандарты на бумажных носителях.

Это привычная нам форма записи стандарта.

2. Уровень 1 - Открытый цифровой формат.

Размещение стандарта на доступных цифровых платформах.

3. Уровень 2 - Машиночитаемый документ.

Перевод стандарта в информационные справочные системы, реализующие пользовательские сервисы.

4. Уровень 3 - Машиночитаемое содержание.

Это детальное описание документов до уровня требований. Настройка системы управления нормативной и технической документацией, создание системы управления требованиями

5. Уровень 4 - Смарт-стандарт.

Система, содержащая стандарт в виде контейнеров текстовых, графических, числовых структур, числовых моделей. Создание управляющих систем, контролирующих выполнение требований стандартов, выпуск систем, содержащих цифровые модели приложения.

Каждый этап не может быть начат без законченного предыдущего. Разработка смарт-стандартов – это большая работа в информационном поле деятельности, которая требует совершенного перевода требований из текстового, привычного нам формата в машиночитаемый и машинопонимаемый.

Итак, в статье были рассмотрены ключевые моменты разработки, содержание и назначение смарт-стандартов, суть индустрии 4.0. Заключительным пунктом будет освещение перспективы перехода российских производств на использование нового типа стандартов и внедрения Индустрии 4.0.

Переход на систему 4.0 и активное использование смарт-стандартов дает перспективу налаженной взаимосвязи между каждым отделом предприятия, автоматизации внутренних процессов, создает возможности для увеличения объема выпускаемой продукции, масштабирования производства и выхода на мировой рынок.

Что даст применение смарт-стандартов предприятиям?

- Радикальное сокращение издержек.
- Освобождение работников от рутинных операций за счет полной автоматизации производства.
- Моментальное внедрение измененных требований из нормативных документов в производственные процессы.
- Автоматический обмен нормативной информацией между системами без участия человека.
- Появление принципиально новых машиноориентированных автоматизированных сервисов [7].

Заключение

Смарт-стандарты – это новый виток в сфере стандартизации, совокупность требований и информации, помогающих наладить обмен данными между разными отделами производства, автоматизировать нужный процесс и практически исключить человеческий фактор. Индустрия 4.0 полностью отходит от идеи использования стандартов в бумажном виде и переходит на этап полного оцифровывания данных. Возможность достижения перспектив и результатов, которые предполагает эта система, дает толчок экспертам в области стандартизации для разработки ПНСТ и ПТК, которые в дальнейшем будут закреплены на государственном уровне как основные и действующие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПНС 864-2023. Умные (SMART) стандарты. Общие положения. Введ. 2023-10-23. М.: ФБУ «РСТ». 26 с.
2. «Смарт-технологии» как смысловая граница в теории поколений. Кибернетика. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/smart-tehnologii-kak-smyslovaya-granitsa-v-teorii-pokoleniy-a-posse-ad-esse-non-valet-consequential>
3. Что такое индустрия 4.0. Деловая среда. URL: <https://dasreda.ru/learn/blog/article/2316-chto-takoe-industriya-40> (дата обращения 17.12.2024)
4. Российская Федерация. Приказ. Об организации деятельности проектного технического комитета по стандартизации: федер. закон: [принят Федеральным агентством по техническому регулированию 6 июля 2021 г.]
5. Перспективы применения смарт-стандартов на промышленном предприятии. Кибернетика. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-smart-standartov-na-promyshlennom-predpriyatii>
6. SMART-стандарты. Технологии работы с «умными» стандартами. Первый опыт SMART-стандартизации // XII Международная научная конференция «ИТ-Стандарт 2023». Москва, 18-19 апреля 2023 г. URL: <https://www.cksit-rspp.ru/upload/iblock/8b7/84x3zt2gkzm70lj8o4c9a33qjb3qxwg7.pdf>
7. Умные (SMART) стандарты. Техэксперт. URL: <https://cntd.ru/smart-standards> (дата обращения 17.12.2024)

ПРЕДПОСЫЛКИ К АДАПТАЦИИ РОБАСТНЫХ ПРОЦЕДУР ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ КАЧЕСТВА ЗЕМСНАРЯДА

М.-Х. Х. Наурбиев

Научный руководитель – **С.А. Царева**, канд. хим. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

В статье изложены концептуальные аспекты потерь процедурного типа при эксплуатации земснарядов. Предложены коррелирующие указанным потерям методы повышения качества и долговечности исследуемой продукции, а также механизмы сведения неуправляемых факторов к минимуму. Проведение дноуглубительных работ на внутренних водных путях нашей страны является одним из важнейших условий для обеспечения судоходства пассажирских и грузовых судов. Эти работы осуществляются специальными плавучими дноуглубительными земснарядами, предназначенными для подводной разработки грунта. Отмечены принципиальные возможности адаптации робастного планирования качества земснарядов в контексте добычи песка со дна водоемов для обеспечения потребностей строительства и других отраслей промышленности.

Ключевые слова: робастность, качество, земснаряд, повышенная производительность

PREREQUISITES FOR THE ADAPTATION OF ROBUST PROCEDURES FOR DREDGER QUALITY PLANNING

M.-Kh. Kh. Naurbiev

Scientific Supervisor – **S.A. Tsareva**, Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

In the article the author outlines conceptual aspects of procedural type losses during dredger operation. The methods of improving the quality and durability of the products under study, as well as mechanisms for minimizing uncontrollable factors are proposed. Dredging on inland waterways of our country is one of the most important conditions for ensuring navigation of passenger and cargo vessels. These works are carried out by special floating dredgers designed for underwater dredging. In addition, these dredgers perform sand extraction from the bottom of water bodies to meet the needs of construction and other industries.

Keywords: robustness, quality, dredger, increased productivity.

Введение

В настоящее время развиваются различные подходы к робастной обработке при планировании качества, а также при создании прототипа продукции [1]. При исследовании данной темы разумнее начать с дачи дефиниции базисного понятия «робастные процедуры». Робастные процедуры – это статистические процедуры, нечувствительные к малым отклонениям от модельных предположений, то есть к искажениям постулируемых моделей [2]. В целом, назначение робастных процедур направлено на формирование предпосылок, чтобы «устоять» перед ошибками, эвентуально попадающими в изначальные данные или профанировать предпосылки применяемых статистически-вероятностных моделей [3].

Концептуально существуют следующие типы и локации потерь при механизированной в области «гидро» разработке месторождений песчано-гравийных смесей (ПГС) [4]:

Возникающие в рамках эксплуатации (убыль I группы) в следующих локациях:

— высподи карьера в ключе недобора пласта до материнских (подстилающих) пород;

— в «истоке» карт намыва;

Инновационного-прогрессивные (убыль II группы):

— грунтовое отхождение в рамках грунтозбора на водотоках при скорости $> 0,4$ м/с, определяется путем проведения опытов;

— в рамках сброса воды технологического типа при помощи водосбросных устройств;

— по причине оттока пульпы гидротранспорта – $\frac{1}{4}$ процента.

Объем потерь находится в зависимости от физико-математических аспектов грунта, а также от технологии осуществления работ:

- от механизма производственных перемещений в рамках осуществления работ,

- типа выемки,

- производительности земснаряда.

Аналізу полегит два концептуального типа механизма производственных перемещений земснарядов в забое:

1) Канатный. Данный тип механизма подлежит применению при выработке и проектированию несвязных слабо-уплотненных грунтов (как пример, пески/смеси песчано-гравийного типа) независимыми сосунами (всасывание свободного вида);

2) Свайно-канатный. Его применяют при выработке плотных, а также связных грунтов (песчано-гравийные материалы/суглинки/глина) при помощи рыхлителя механического типа.

Цель исследования: Авторы представленного исследования попытались обосновать адаптацию робастных процедур при планировании

качества земснарядов в условиях программной среды STATGRAPHICS, чтобы отследить на этапе разработки прототипа при производстве земснарядов, в частности при измерении приоритетных эксплуатационных показателей, случайные ошибки при планировании качества, чтобы перевести их в статус приемлемых и затем оценить с предполагаемой вероятностной (или статистической) моделью прототипа земснаряда на ведущем региональном предприятии ООО «СпецГидроМех».

Материалы и методы исследования. Исследования распространялись на выбор отклика, который нужно оптимизировать, а также на идентификацию факторов, определяющих снижение так называемых помех (шумов). Затем с помощью ортогональной матрицы отбиралась определенная совокупность значений управляемых параметров. Для каждого отобранного значения проводились эксперименты с помощью моделирования влияния помех и целевого диапазона воздействующего сигнала на критериальные отслеживаемые показатели качества. Эксперименты на основе ортогональных матриц обеспечивают эффективные способы покрытия пространства помех и сигналов.

Результаты исследования и их обсуждение.

Первая робастная процедура заключается в том, что земснаряды работают в тяжелых условиях, что это сопровождается сильным и неравномерным износом некоторых частей, а соответственно и снижением технико-экономических показателей земснаряда в целом. Как известно из опыта эксплуатации, такими частями являются пульпопроводы, самыми уязвимыми его частями считаются фасонные. В гидромеханизации применяются сварные или литые фасонные части. Неравномерное распределение в пульпе частиц грунта приводит к быстрому износу этих частей пульпопровода.

В современной практике эксплуатации на ООО «СГМ» для повышения качества и долговечности, а также в целях сведения неуправляемых факторов к минимуму используется бронирование напорного пульпопровода металлом при помощи сварки – первый из двух основных способов роста срока эксплуатации фасонных частей пульпопровода. Второй способ заключается в увеличении диаметра пульпопровода, а также толщины стенок трубы (рис. 1) [5]. Указанные способы являются трудоемкими и технически сложными в исполнении.

На основании вышеизложенного было предложено изменить форму поперечного сечения на поворотном участке пульпопровода (фасонная часть). В качестве оптимальной формы была выбрана овальная. На рис. 2 изображен поворотный отвод и часть пульпопровода, а также показано движение пульпы внутри.



Рис. 1. Поворотный отвод пульпы и движение потока пульпы

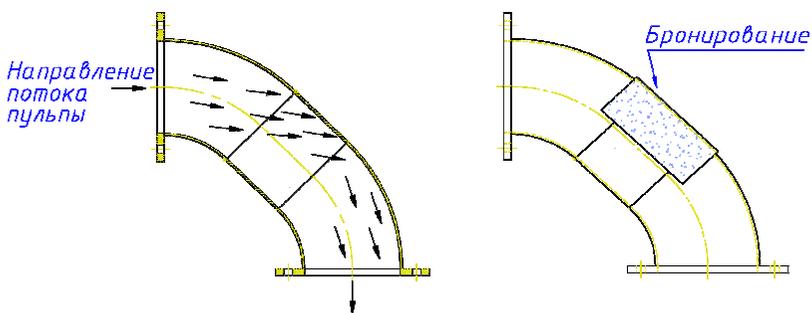


Рис. 2. Пульпопровод разного сечения

На основе данных средних значений DOE получили в программной среде STATGRAPHICS график воздействия пульпы на пульпопровод для исследуемых факторов процесса робастного планирования качества земснарядов. Корреляционный уклон линии показывает, как меняется среднее значение, когда изменяем фактор с низкого на высокий уровень (рис. 3).

В частности, обращает внимание положительный наклон линии скорости движения пульпы, означающий, что имеется непосредственная корреляция между изменением скорости движения пульпы и диаметром трубы пульпопровода при эксплуатации земснарядов.

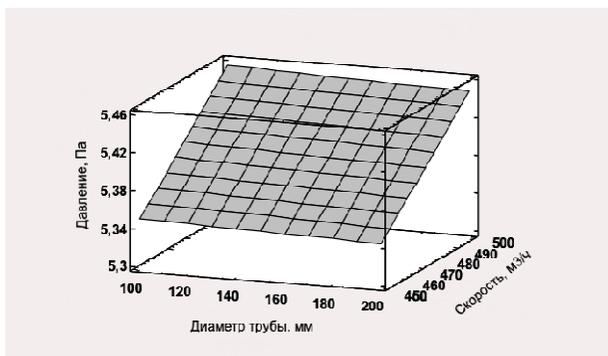


Рис. 3. Корреляционный уклон исследуемых факторов процесса робастного планирования качества земснарядов

На графике виден следующий факт: при увеличении диаметра трубы уменьшается давление на ее стенки. Соответственно, при маленьком диаметре - давление возрастает, что детерминирует более быстрый износ стенок этой трубы.

Изменение формы поперечного сечения влияет на повышение производительности земснаряда за счет снижения гидравлического сопротивления, а также за счет равномерного распределения потока пульпы на поворотном участке [6].

Вторая робастная процедура – есть утрата грунта выподы карьера. Детерминанта – межступенчатые целики, выступающие остатком в рамках переноса грунто-забора в новое положение [7]. Выработка сепарированных грунтов подразумевает использование таких концептуальных методов перемещений рабочего типа (приемов папильонирования), как:

- траншейный;
- параллельный;
- обособленными воронками [8].

Утраты/потери высшей точки обусловлены выемкой грунта обособленными воронками (рис. 4).

Размещение воронок по quadro-сетке детерминирует расчет указанных показателей по формулам:

$$W_{\text{уч}} = 4r_{\text{в}}^2 H; V_{\text{в}} = \pi r_{\text{в}}^2 \frac{H}{3}; И = \frac{V_{\text{в}}}{W_{\text{уч}}} \cdot 100 \%; И = \frac{\pi r_{\text{в}}^2 H \cdot 100}{3 \cdot 4r_{\text{в}}^2 H} = 26,1 \%$$

где И – извлечение грунта в процентах; $W_{\text{уч}}$ – количество грунта на участке, равном одной воронке, м^3 ; $V_{\text{в}}$ – величина добываемого грунта (объем одной воронки), м^3 ; H – углубленность воронки (глубина слоя), м.

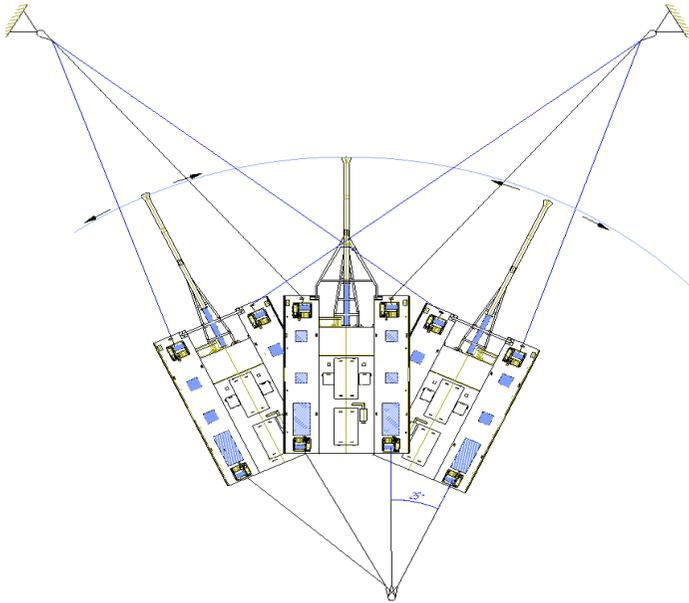


Рис. 4. Схема веерного папильонажного перемещения земснаряда

Значение добывания/извлечения поднимается в числовом переложении при установлении воронок в шахматном порядке:

$$W_{\text{уч}} = 3,34r_{\text{в}}^2H; V_{\text{в}} = \pi r_{\text{в}}^2 \frac{H}{3}; \text{ И} = \frac{V_{\text{в}}}{W_{\text{уч}}} 100 \% ; \text{ И} = \frac{\pi r_{\text{в}}^2 H \cdot 100}{3 \cdot 3,34r_{\text{в}}^2 H} = 31,31 \%$$

Повышенная мощность залежи при одновременном сближении центров воронок (по причине этого происходит определенное снижение производительности земснаряда) обуславливает понижение потерь до 1/2 [9].

Значение добывания/извлечения в аналитической призме подлежит расчету по следующей формуле:

$$\text{И} = 0,33(0,26K_{\text{ш}}^2 - 1,1K_{\text{ш}} + 2,3) \cdot 100 \% ; K_{\text{ш}} = B/r_{\text{в}}$$

где $K_{\text{ш}}$ – коэффициент сближения воронок; B – шаг передвижения всасывающего наконечника, м.

Так по физико-механическим характеристикам песчано-гравийной смеси и технологическим параметрам разработки определены потери добываемой земснарядом продукции.

Третья робастная процедура заключается в снижении неуправляемых факторов, возникающих в процессе спуска земснаряда в воду [10]. В ООО «СГМ» разработаны рекомендации по подготовке площадки для подобного спуска (рис. 5), а также сам последовательный механизм земснаряда-спуска (рис. 6).

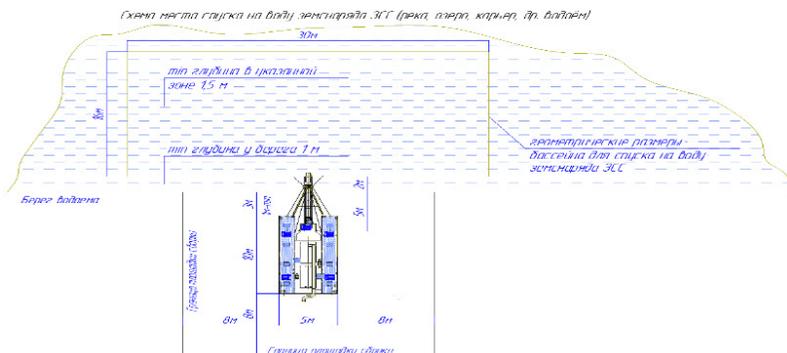
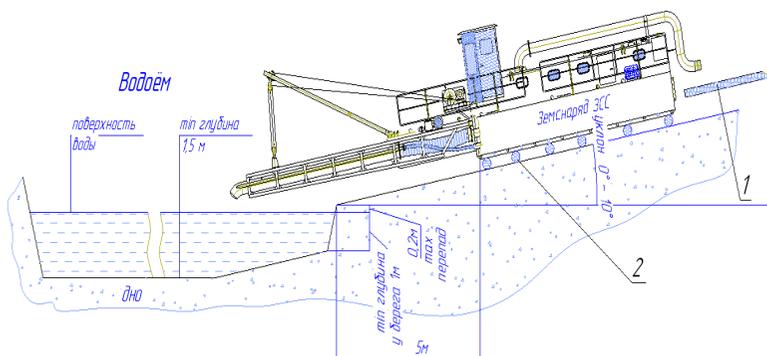


Рис. 5. Площадка для спуска земснаряда в воду

Вертикальный разрез площадки спуска на воду земснаряда ЗСС



* При наличии круглого отверстия водоёма, допускается выборка грунта в месте сборки земснаряда и спуска его на воду.

Прорезь отверстия должна быть шириной не менее 7м и с уклоном не более 10°.

Остальные размеры в соответствии со схемой спуска земснаряда.

поз.1 – бревно L=4 м ϕ 160 – 180 мм (2 шт.)

поз.2 – бревно L=3.4 м ϕ 160 – 180 мм (6 шт.)

Рис. 6. Механизм спуска земснаряда в воду

Заключение. Таким образом, авторы в статье попытались аргументировать адаптацию робастных процедур при планировании качества земснарядов в условиях программной среды STATGRAPHICS в целях отслеживания случайных ошибок при планировании качества, дабы перевести их в статус приемлемых. После указанных процессов оценить с предполагаемой вероятностной (статистической) моделью прототипа земснаряда на ведущем региональном предприятии ООО «СпецГидроМех».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Талай А.М.* Управление качеством. Робастное проектирование. Метод Тагути. М.: СЕЙФИ, 2002. 384 с.
2. *Муха В.С.* Статистические методы обработки данных. Ч. 3: учебно-методическое пособие для студентов специальности «Автоматизированные системы обработки информации» / В.С. Муха. Минск, 2007.
3. *Лисенков А.Н.* Робастное проектирование: использование ортогональных планов неполного перебора вариантов / А.Н. Лисенков. М.: «Методы менеджмента качества». 2007. № 5. С. 18-22.
4. *Бессонов Е.А.* Энциклопедия гидромеханизированных работ: словарь-справочник. М., 2005. 520 с.
5. СНиП 3.02-87. Земляные сооружения, основания и фундаменты. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. 128 с.
6. *Царева С.А.* Робастное проектирование параметров продукции с целью планирования качества / С.А. Царева, С.Е. Степина, М.-Х.Х. Наурбиев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2023. Т. 12, № 4 (64). С. 29-36.
7. *Шаталов К.В.* Робастные процедуры оценки показателей прецизионности и точности методик измерений величин, характеризующих состав и свойства продуктов // Южно-Сибирский вестник. 2022. № 4. С. 67-73.
8. *Шулеин В.П.* Робастные статистические процедуры // Труды X юбилейного симпозиума по непараметрическим и робастным статистическим методам в кибернетике. 2004. С. 159-172.
9. *Альтшуль А.Д.* Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, Л.С. Животовский, Л.П. Иванов. М.: Стройиздат, 1987. 414 с.
10. *Лунева Е.Е.* Использование метода робастного проектирования Тагути для оптимизации бизнес-процессов / Е.Е. Лунева, Е.А. Дмитриева, Г.П. Цапко // Экономика, статистика и информатика. 2011. № 3. С. 193-197.

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ

В.В. Новожилов¹, С.А. Царева¹, С.С. Паршина²

¹Ярославский государственный технический университет
²АО «ЯСЗ»

В статье приведена краткая характеристика современных методов контроля качества. Показан пример построения приемочной характеристики по материалам производства ПАО «ЯСЗ». Обоснована реализация статистического приемочного контроля (СПК) качества на основе расчетов в программной среде MathCad. По результатам построения приемочной характеристики выявлены достаточные проблемы в уровне дефектности продукции. В статье отражено обоснование перехода СПК на план контроля DSP (0,1).

Ключевые слова: статистический приемочный контроль, ЛКП, план контроля, выборка, приемочная характеристика

APPLICATION OF INNOVATIVE DIGITAL METHODS IN QUALITY MANAGEMENT

V.V. Novozhilov¹, S.A. Tsareva¹, S.S. Parshina²

¹Yaroslavl State Technical University
²JSC YAS

The article provides a brief description of modern methods of quality control. An example of the construction of an acceptance characteristic based on materials produced by PJSC YASZ is shown. The implementation of statistical acceptance control (SPC) of quality based on calculations in the Mathcad software environment is justified. According to the results of the construction of the acceptance characteristics, sufficient problems have been identified in the level of product defects. The article reflects the rationale for the transition of the SEC to the DSP control plan (0,1).

Keywords: statistical acceptance control, LCP, control plan, sampling, acceptance characteristics

В источнике [1] авторы выделяют две фазы статистического контроля: фаза I: оценка стабильности процесса, фаза II: онлайн-мониторинг процесса. Строятся контрольные диаграммы для дисперсии и обобщенной дисперсии с использованием вероятности ложной тревоги (FAP). Приводятся доводы в пользу рекомендации байесовского анализа для определения пределов контрольных диаграмм [1].

Контрольные диаграммы фазы I для обобщенной дисперсии основаны на Байесовском прогнозируемом распределении. Определяется верхний контрольный предел для обобщенной дисперсии. Байесовское прогнозирующее распределение используется для получения прогнозируемого распределения для контрольных значений на этапе II.

Байесовские методы позволяют без каких-либо затруднений использовать любые предварительные ограничения для построения контроля [1].

Книга [2] посвящена статистическим методам улучшения качества.

Рассматриваются основные инструменты для улучшения качества, включая гистограммы, диаграммы Парето, контрольные карты, чек-листы, диаграммы причинно-следственных связей и диаграммы рассеивания.

Многомерное статистическое управление технологическими процессами – быстро развивающаяся область статистического управления. Они используются для мониторинга и управления несколькими взаимосвязанными технологическими характеристиками качества при контроле [3].

В традиционном плане отбора проб доля дефектов принимается за четкое значение, что не всегда точно. Теория нечетких множеств применяется для моделирования неопределенности. Разработана процедура проектирования плана DSP (0, 1) с использованием трапециевидного нечеткого числа.

При использовании планов DSP (0,1) может применяться нечеткая кривая рабочих характеристик (FOC). FOC используется для определения, следует ли принять партию или отклонить её. Кривая FOC помогает сравнить эффективность различных планов. Обладает нечеткой вероятностью принятия при различном размере выборки. При уменьшении размера выборки ширина кривой FOC уменьшается [4].

Растущая доступность больших наборов данных требует инструментов мониторинга. Контрольные диаграммы - инструмент для различения нормальных и особых причин отклонений в процессе. Методы статистического обучения и сокращения размерности перспективны для мониторинга больших и разнообразных наборов данных. Большие данные характеризуются объемом, разнообразием и скоростью передачи информации. Характеризуются различными методами работы и решения проблем [5].

Разработана математическая модель суммарных затрат на повышение точности процесса производства и контроль продукции. Модель позволяет оптимизировать требования к параметрам процессов и продукции по критерию минимума затрат при заданных показателях достоверности измерительного контроля продукции [6].

Таким образом статистические методы управления качеством могут применяться во многих отраслях науки и техники и обучения. Сами

эти методы отличаются большим разнообразием и методами своего применения. В частности, метод двойных выборок может применяться для контроля качества лакокрасочного покрытия на ПАО «ЯСЗ».

Объектом исследования является ярославское судостроительное предприятие ПАО «ЯСЗ». Оно занимается производством речных и морских судов водоизмещением до 3400 тонн. Актуальность работы заключается во введении вместо сплошного контроля ЛКП статистического контроля, в частности разработки в программных средах способов построения приемочных характеристик.

Проблемы цифровизации контроля ЛКП на ПАО «ЯСЗ».

Измерение толщины ЛКП должно производиться выборочно на участках поверхности площадью 1 м^2 . Измерение необходимо производить в пяти точках участка: четыре по углам и одно в центре. За толщину покрытия принимается среднеарифметическое значение пяти измерений. Для проведения СПК продукция должна быть представлена в виде единиц партии, исходя из требований к измерению толщины ЛКП, следует, что поверхность, которая предъявляется на контроль необходимо разделить на квадраты площадью 1 м^2 . Таким образом, согласно ГОСТ 18321-73 «Статистический контроль качества, Методы случайного отбора выборок штучной продукции», отбор будет производиться методом с применением случайных чисел, так как продукция представлена способом «ряд». Браковочный уровень качества q_m , согласно ГОСТ 16493-70, определяется соглашением между поставщиком и потребителем, таким образом, для ПАО «ЯСЗ» $q_m = 10\%$, при риске потребителя $\beta = 0,05$. Вариант браковки В, когда партия возвращается поставщику, так как экономически нецелесообразно проводить сплошной контроль партии. На основании вышеизложенного – план контроля Б 10,00 В ГОСТ 16493-70 [14].

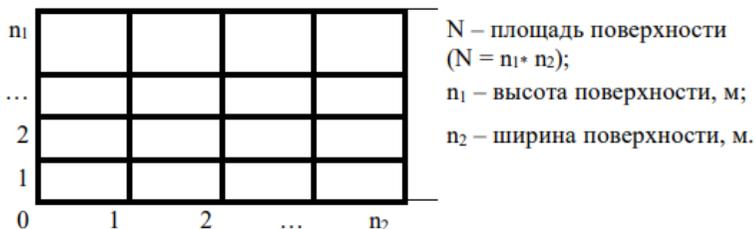


Рис. 1. Представление ЛКП для формирования выборки [14]

Данные для оценки средних уровней входного качества приведены в таблице 1.

Таблица 1. Данные для оценки средних уровней входного качества

Номер	Объем партии N	Объем выборки n	Число дефектных изделий в выборке d	Решение о партии
1	92	25	0	Принята
2	61	25	3	Забракована
3	21	21	0	Принята
4	54	25	21	Забракована
5	28	28	0	Принята
6	58	25	0	Принята
7	38	38	5	Забракована
8	46	46	0	Принята
9	31	31	0	Принята
10	47	47	9	Забракована
Итого	476		38	

В таблице: 1 - механическая мастерская, 2 - прачечная, 3 - С/у, 4 - вентиляторная, 5 - помещение щита питания с берега, 6 - станция пожаротушения, 7 - помещение вахты, 8 - бытовое помещение, 9 - тамбур трапа, 10 - аппаратная №1.

В результате анализа данных была построена приемочная характеристика (рис. 2).

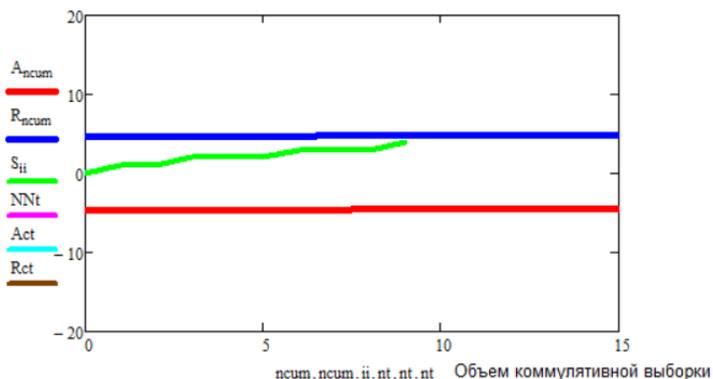


Рис. 2. Приемочная характеристика 2

На приемочной характеристике показаны приемочные границы и линия приемки. Снизу расположена линия приемки, сверху линия браковки. Они построены по примерным данным. Риск поставщика $\alpha = 0,05$ и риск потребителя $\beta = 0,05$.

По ним определены $Q_{sg} (pA) = 16$ и $Q_{pr} (pR) = 10$.

Далее были взяты коэффициенты $hA = 4,664$; $hR = 6,607$; $g = 0,1266$.

Как видно из приемочной характеристики, партия бракуется на десятом изделии при принятых значениях построения оперативной характеристики. Это свидетельствует о низком качестве материала или о проблемах в технологическом процессе, или ошибках в контроле и анализе данных.

Таким образом, приемочная характеристика позволяет сократить процедуру контроля, что в свою очередь сокращает затраты и время контроля. Позволяет определить пригодность партии и отклонить ее принятие на второй партии, а использование статистических методов управления качеством позволяет снизить издержки на контроль качества и понизить стоимость изделий, а также повысить качество изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Van Zyl R.* Phase 1 and phase 2 - control charts for the variance and generalized variance / R. Van Zyl, A.J. Van Der Merwe // South African Statistical Journal. 2016. № 50. С. 65-80. DOI: 10.37920/sasj.2016.50.1.3.
2. Ryan T.P. Statistical Methods for Quality Improvement. Third Edition / T.P. Ryan // Journal of the American Statistical Association. 2000. Vol. 95(452). DOI: 10.1002/9781118058114
3. *Bersimis S.* Multivariate statistical process control charts: An overview / S. Bersimis, S. Psarakis, J. Panaretos // Quality and Reliability Engineering International. 2007. № 23. P. 517–543. DOI: 10.1002/qre.829
4. *Priya P.K.* Design of special purpose double sampling plan of type dsp(0, 1) using fuzzy parameter / P.K. Priya, A.R. Sudamani, A. Ramaswamy // South East Asian Journal of Mathematics and Mathematical Sciences. 2022. № 2(18). P. 319-330. DOI: 10.56827/SEAJMMS.2022.1802.27
5. *Weese M.* Statistical learning methods applied to process monitoring: An overview and perspective / M. Weese, W. Martinez, L.A. Jones-Farmer // Journal of Quality Technology. 2016. № 1(48). P. 4-24. DOI: 10.1080/00224065.2016.11918148.
6. *Серых В.И.* Метод оценки затрат на повышение точности процесса производства и выходной контроль продукции вестник / В.И. Серых, Е.И. Чернышевская, Л.В. Гребцова // СИБГУТИ. 2013. № 1 (21). С. 29-39. URL <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19422240>.
7. Статистический приемочный контроль качества в контексте использования нечётких множеств / С.А. Царева, С.С. Паршина, Н.С. Дыбулина, Е.О. Шамин // Научно-технический вестник Поволжья. 2024. № 3. С. 131-133. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yxugzf>
8. *Соколова Е.А.* Статистический приемочный контроль качества продукции / Е.А. Соколова, С.А. Царева // Семьдесят вторая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. 24 апреля 2019 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 2 [Электронный ресурс]. – Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2019. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). С. 1119-1122.

О МЕТОДАХ КАЛИБРОВКИ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ТИПА «РУКА»

А.А. Осколкова, А.П. Чирков

Научный руководитель – **А.П. Чирков**, д-р техн. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

В статье приведены результаты исследования характеристик координатно-измерительной машины и методов их калибровки

***Ключевые слова:** координатно-измерительные машины, калибровка, эталоны*

ABOUT METHODS OF CALIBRATION OF THE "ARM" TYPE COORDINATE MEASURING MACHINE

A.A. Oskolkova, A.P. Chirkov

Scientific Supervisor – **A.P. Chirkov**, Doctor of Technical Sciences

Yaroslavl State Technical University

The article presents the results of a study of the characteristics of coordinate measuring machines and methods for their calibration.

***Keywords:** coordinate measuring machines, calibration, standards*

Введение

Решение задачи обеспечения технологического суверенитета в Российской Федерации предъявляет более высокие требования к точности измерений. В наукоемких отраслях в этих целях все шире используются координатно-измерительные машины (КИМ). Все активнее применяются они и на предприятиях Ярославской области, одним из которых является ЯМЗ "Автодизель". В числе первых КИМ, применяемых на предприятии, – машины фирмы "ZEISS ACCURA" [1]. Сегодня все активнее стали применяться и КИМ типа "рука". Применение этих средств измерения ставит перед специалистами задачи выбора метода калибровки.

1. Типы координатно-измерительных машин

Всего существует пять типов координатно-измерительных машин:

- КИМ с мостом: в этой конструкции, наиболее распространенной, головка КИМ едет по мосту;

- Консольный КИМ: консоль поддерживает мост только с одной стороны;

- Портальный КИМ: портал использует направляющий рельс с обеих сторон. Это, как правило, самые большие КИМ.

- КИМ с горизонтальным рычагом: это не самые точные модели КИМ, но они могут измерять большие тонкие компоненты, такие как кузов автомобиля.

- КИМ с переносным рычагом: в этих машинах используются сочлененные рычаги, которые обычно устанавливаются вручную. Вместо непосредственного измерения XYZ они вычисляют координаты из положения вращения каждого соединения и известной длины между соединениями. К ним относятся и КИМ типа "рука", которые ещё называют – "измерительная рука".

2. Характеристики КИМ типа "рука"

Измерительная рука представляет собой портативное многосуставное трехмерное координатно-измерительное устройство.

Это очень распространенный тип оборудования. Оно состоит из нескольких карбоновых секций и шарниров, позволяющих вращать руку в нескольких степенях свободы.

Малый вес (около 10 кг), возможность работы от батарей, по WiFi, меньшая восприимчивость к перепадам температур делают данные приборы отличным выбором для измерений прямо на производстве, для быстрого межоперационного контроля, входного контроля. Классические примеры применения – колесные пары, водозапорная арматура, кузовные элементы, элементы энергетического машиностроения, металлоконструкции, отливки.

КИМ типа "рука":

- обеспечивают возможность перемещения прямо к детали;

- не требуют специальных условий для работы;

- обладают относительно доступной ценой;

- не позволяют проводить измерения в режиме ЧПУ;

- имеют погрешность от 20 до 110 мкм.

На ЯМЗ "Автодизель" применяется КИМ ROMER ABSOLUTE ARM – портативную многоцелевую измерительную машину, используемую как для сканирования, так и для контактных измерений.

3. Методы калибровки КИМ типа "рука"

Как и другие средства измерений, КИМ типа «рука», в зависимости от места применения, подлежат поверке или калибровке. Традиционная процедура калибровки, проводимая согласно методике поверки «МИ 2569-99 ГСИ» [2], выполняется при помощи концевых мер длины (КМД) и угловых призматических мер, предельная допустимая погрешность которой составляет 0,033 мм.

Еще один способ – калибровка КИМ с помощью лазерного интерферометра. Предельная допустимая погрешность этого эталона составляет 0,5 мкм. Однако, лазерный интерферометр, стоит достаточно дорого (на уровне 900 тыс. рублей).

В промышленно развитых странах для получения максимально полной и достоверной информации о погрешностях КИМ, не используя лазерный интерферометр, широко используют эталоны и приспособления компании «Kolb & Baumann (КОВА, Германия)». Одной из наиболее популярных моделей специальных эталонов является "КОВА-Sphere beam" – эталон из жестко посаженных керамических сфер на углепластиковую основу (рис. 1). Предельная допустимая погрешность этого эталона составляет 0,7 мкм.



Рис. 1. Эталон для калибровки и поверки КИМ типа "рука" "КОВА-Sphere beam"

Как отмечено в [3], он идеально подходит для калибровки средне-габаритных КИМ и ручных КИМ типа "рука". Изготавливается размера-ми от 1500 до 2500 мм с шагом между сферами 100 мм.

В таблице 1 приведены соотношения погрешности КИМ и эталонов, которые могут быть использованы для его калибровки, а также сведения об уровне цен этих эталонов.

Таблица 1. Характеристики эталонов, применяемых при калибровке КИМ ROMER ABSOLUTE ARM

Эталон	Стоимость, тыс. руб.	Допустимая предельная погрешность, мм	Соотношение погрешности калибруемого КИМ и используемого эталона
Концевых мер длины и мер угловых призматических	650	0,0042	1/8
Интерферометр	900	0,0005	1/66
Специальный эталон "КОВА- Sphere beam"	2000	0,0007	1/47

Существующая практика передачи единицы величины от эталона к рабочему средству измерений предусматривает, что погрешность используемого эталона должна быть как минимум в три раза меньше погрешности поверяемого (калибруемого) средства измерений. Как видно из таблицы, эти соотношения погрешностей калибруемого КИМ и использованных эталонов значительно превосходят минимальный уровень.

С учетом информации о стоимости эталонов можно заключить, что вариант использования при калибровке КИМ типа «рука» концевых мер длины и мер угловых призматических является оптимальным.

Выше приведены примеры трех подходов к обеспечению калибровки КИМ типа «рука». При этом независимо от используемых эталонов эти методы должны соответствовать требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 [4], в том числе в части неопределенности измерений, а методики калибровки оформлены в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.879-2014 [5].

Заключение

Преимущества, которые имеют КИМ типа "рука", делают все более распространенной практику их применения. А это значит, что следует совершенствовать способы их обслуживания и калибровки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Координатно-измерительные машины ZEISS на ЯМЗ «Автодизель». URL: <https://zeiss-solutions.ru/press/success-stories/koordinatno-izmeritelnye-mashiny-zeiss-na-yamz-avtodizel/> дата обращения 30.09.2024
2. МИ 2569-99. Машины координатно-измерительные портального типа. Методика поверки. Москва, 1999.
3. Типы координатно-измерительных машин. URL: <https://vk.com/@procmm-tipy-koordinatno-izmeritelnyh-mashin> (дата обращения: 30.09.2024)
4. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
5. ГОСТ Р 8.879-2014. Методики калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению.

НЕКОТОРЫЕ ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ БЕСКОНТАКТНОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ ОДНОРОДНОСТИ СЫПУЧЕЙ СМЕСИ

П.М. Смирнов, М.Ю. Таршис

Научный руководитель - **М.Ю. Таршис**, д-р техн. наук, профессор

Ярославский государственный технический университет

Дана классификация бесконтактных методов определения однородности сыпучей смеси. Рассматриваются три способа реализации метода оценки однородности по распределению частиц контрастных компонентов на изображении её плоской поверхности. Даются рекомендации по использованию конкретных способов для определения качества смеси в аппаратах различных типов.

Ключевые слова: сыпучие компоненты, устройство, смесь, однородность, анализ, бесконтактный метод

SOME OPTIONS FOR IMPLEMENTING A NON-CONTACT METHOD FOR ASSESSING THE HOMOGENEOUSITY OF A BULK MIXTURE

P.M. Smirnov, M.Yu. Tarshis

Scientific Supervisor - **M.Yu. Tarshis**, Doctor of Technical Sciences,
Professor

Yaroslavl State Technical University

A classification of non-contact methods for determining the homogeneity of a granular mixture is given. Three ways to implement the method for assessing homogeneity based on the distribution of particles of contrasting components on an image of its flat surface are considered. Recommendations are given on the use of specific methods to determine the quality of the mixture in devices of various types.

Keywords: bulk components, device, mixture, homogeneity, analysis, non-contact method.

Задача исследования однородности сыпучей смеси, получаемой в конкретном устройстве, является актуальной как при изучении влияния на процесс параметров системы «смеситель – сыпучие компоненты», так

и в ходе контроля качества смеси в производстве. В каждом случае необходимо применение методов и критериев, дающих научно обоснованные количественные и качественные характеристики смеси. Иными словами, при оценке качества смеси особую роль имеют методы получения информации о распределении частиц смеси в исследуемом объеме. Эти методы можно разделить на контактные и бесконтактные.

Контактные методы основаны на физическом извлечении проб заданного объема из исследуемой смеси и последующем определении концентрации ключевого компонента в них с помощью физических или химических методов анализа [1]. Основными недостатками контактных методов исследования смесей являются их трудоемкость, необходимость прерывать работу установки для отбора проб, наличие искажений в структуре смеси, вносимых пробоотборником, невозможность проведения повторных анализов с изменением параметров проб.

Эти недостатки могут быть преодолены применением бесконтактных методов [2]. Эти методы основаны на способности вещества ключевого компонента поглощать, отражать, рассеивать или излучать электромагнитные волны в каком-либо диапазоне частот с интенсивностью, пропорциональной концентрации ключевого компонента в исследуемой области смеси, что позволяет получать информацию о распределении частиц смешиваемых фракций без извлечения проб из исследуемого объема. В некоторых случаях обработку информации о состоянии смеси и вычисление критерия качества удастся с помощью компьютера проводить в реальном времени, то есть осуществлять непрерывный контроль за ходом процесса смешивания, что невозможно при использовании контактных методов. Кратко рассмотрим некоторые из бесконтактных методов [2].

1) Метод, основанный на измерении интенсивности флуоресценции, которая возникает при воздействии лазерного излучения на молекулы некоторых органических веществ. Простейший вариант реализации этого метода состоит в следующем. Лазерный луч фокусируется на небольшой области рабочего объема смесителя, в котором приготавливался препарат, содержащий активный компонент. Фиксируется индуцированное излучение, испускаемое молекулами этого вещества. Интенсивность флуоресценции изменяется в процессе смешивания с изменением концентрации активного компонента в облучаемой области смеси и принимает постоянное значение при достижении равновесной концентрации.

2) Метод оценки качества смесей с использованием дифракции рентгеновских лучей. Он основан на том, что вещество, составляющее ключевой компонент, имеет свои характерные, легко различаемые рентгеновские дифракционные пики, интенсивность которых прямо пропорциональна концентрации ключевого компонента на исследуемом участке образца. Данные о концентрации ключевого компонента на различных

участках позволяют количественно оценить однородность его распределения в образце по выбранному критерию качества.

3) Сравнительно дорогостоящим из бесконтактных методов является метод изучения процессов смешивания и сегрегации сыпучих материалов с помощью ЯМР-спектроскопии, позволяющей получить изображение пространственного распределения частиц в любом участке исследуемого объема. При этом появляется возможность экспериментального изучения явления аксиальной сегрегации смеси во вращающемся горизонтальном цилиндре.

4) Наиболее доступными и недорогими среди бесконтактных методов являются методы, основанные на анализе фотоизображения поверхности смеси [3-5]. На рис. 1 дана схема реализации такого метода.

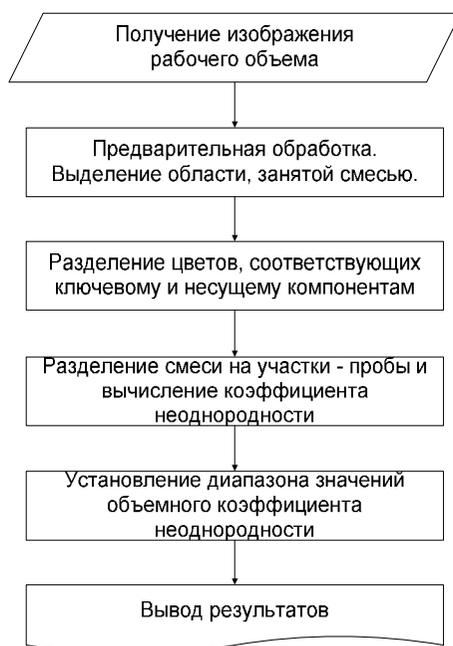


Рис. 1. Последовательность реализации бесконтактного метода анализа смеси

Черно-белое фотографическое изображение поверхности рабочего объема устройства, перпендикулярной оси, вдоль которой смесь является однородной, подвергается компьютерной обработке, в ходе которой на фотографии сначала отделяется область, занятая смесью. Затем эта область разбивается на квадратные пробные зоны одинакового размера, в

каждой из которых концентрация ключевого компонента вычисляется как отношение площади зоны, занятой ключевым компонентом, к площади всей зоны [3] (рис. 2). По найденным концентрациям вычисляется коэффициент неоднородности. При этом точка отделения ключевого компонента от транспортирующего на шкале оттенков серого определяется как точка минимума многочлена четвертой степени, аппроксимирующего распределение пикселей (рис. 3). По найденным концентрациям вычисляется коэффициент неоднородности смеси.

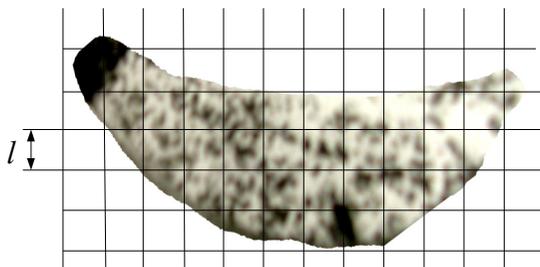


Рис. 2. Анализ изображения смеси



Рис. 3. Нахождение отделения ключевого компонента на шкале оттенков серого цвета:

- 1 – распределение пикселей по оттенкам серого;
- 2 – аппроксимация распределения многочленом четвертой степени

Полученный коэффициент неоднородности концентрации ключевого компонента смеси на плоском изображении может отличаться от коэффициента вариации, полученного традиционным способом на основе анализа объемных проб, так как подвержен случайным колебаниям, обу-

словенным тем, что, при одной и той же концентрации в примыкающем к пробной зоне участке объемного слоя, на фотографируемой поверхности зоны может оказаться различное число частиц ключевого компонента (рис. 4).

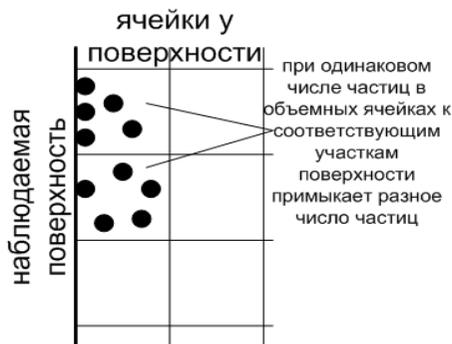


Рис. 4. Механизм искажения коэффициента неоднородности при его вычислении по изображению поверхности смеси

Для практического применения бесконтактного анализа смеси можно считать, что коэффициент неоднородности V_c лежит в пределах:

$$V_c = \sqrt{\max\left(0, (V_c^{(2D)})^2 - 3\sigma\right)} \div \sqrt{(V_c^{(2D)})^2 + 3\sigma},$$

где $\sigma = 4(d/l)\sqrt{(1-c_0)/c_0n}$; d - диаметр частиц ключевого компонента; c_0 - объемная концентрация ключевого компонента в смеси; l - размер пробной зоны.

Представленный метод достаточно прост, надежен и апробирован для смесителей периодического действия, однако при оценках неоднородности смесей, получаемых в аппаратах непрерывного действия, его использовать невозможно. Дело в том, что в этом случае доступным для фиксации и анализа является только поверхность смеси на выходе из аппарата и невозможно определить критерии однородности смеси для промежуточных сечений. На рис. 5 и 6 приведены схемы реализации бесконтактных методов, позволяющих преодолеть этот недостаток [4, 5].

Определять значения критерия качества в различных сечениях смеси, т.е. в зависимости от длины корпуса (барабана) смесителя непрерывного действия, не извлекая из него смеси, позволяет применение способа [4]. Для его реализации внутри корпуса смесителя в исследуемых сечениях материала устанавливаются прозрачные поперечные перегородки, которые последовательно после проведения анализа изображения

поверхности смеси в конкретном сечении снимаются, сыпучий материал, находящийся за снятой перегородкой, удаляется, и анализ повторяется для следующего сечения смеси. Схема установки показана на рис. 5. Внутри корпуса 1 размещены ступени 2 с рабочими лопастями, прозрачные кольцевые перегородки 3 и прозрачные торцевые стенки 4. Загрузка компонентов происходит через патрубок 5. Снимая кольцевые перегородки и последовательно удаляя смесь, находящуюся перед следующими перегородками, проводят анализ по указанной методике и получают мгновенные значения коэффициентов неоднородности сыпучего материала в сечениях смесителя.

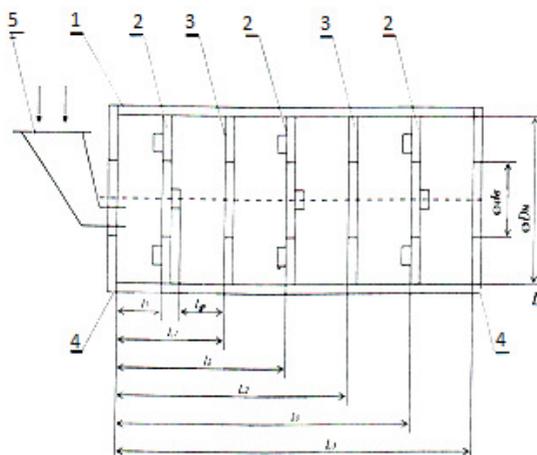


Рис. 5. Определение критерия качества в сечениях смеси в устройстве непрерывного действия

Применение и этого способа исследования также ограничено. Невозможно его использование для исследования смеси в аппаратах с перемешивающими элементами, исключающими установку дополнительных перегородок внутри корпуса (шнековыми, ленточными и рядом других). Кроме того, при использовании этого способа число перегородок, устанавливаемых в исследуемых сечениях смеси (и исследуемых сечений), должно быть небольшим. В противном случае, меняется характер движения частиц и уменьшается величина объема загрузки исследуемого смесителя. В этом случае для решения поставленной задачи применяется другая реализация способа [5], показанная схематично на рис. 6. Под смесителем размещают приводной транспортер, в нижней части корпуса 1 смесителя выполняют продольную прорезь 2 с заслонкой 3, которую открывают после остановки смесителя, включают транспортёр 4, и анализ

смеси проводят после её распределения на поверхности транспортной ленты и остановки транспортера.

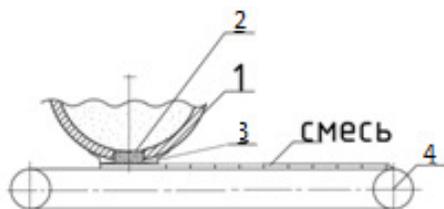


Рис. 6. Определение качества смеси в устройстве с дополнительными перемешивающими элементами

Таким образом, предлагаемые способы оценки однородности смеси позволяют использовать их при исследованиях качества смеси для значительной группы смесителей периодического и непрерывного действия, содержащих различные типы дополнительных перемешивающих устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Макаров Ю.И.* Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.
2. *Таршис М.Ю.* Исследование качества сыпучей смеси. Моделирование. Критерии. Эксперимент: монография / М.Ю. Таршис, Л.В. Королев, А.И. Зайцев. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2015. 116 с.
3. Пат. № 2385454 Российская Федерация. Способ исследования качества смеси компонентов, различающихся по цвету. Опубл. 27.03.2010. Бюл. № 9.
4. Пат. № 2690539 Российская Федерация. Способ исследования качества смеси компонентов, различающихся по цвету. Опубл. 04.06.2019. Бюл. № 16.
5. Пат. № 2819489 Российская Федерация. Способ исследования качества смеси компонентов, различающихся по цвету. Опубл. 21.05.2024. Бюл. № 15.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТАНДАРТА ОРГАНИЗАЦИИ

Я.В. Страхова, В.А. Иванова

Научный руководитель – **В.А. Иванова**, д-р техн. наук, доцент

Ярославский государственный технический университет

По результатам анализа современного практического опыта проведено исследование, в результате которого разработан жизненный цикл стандарта организации (СТО), с указанием этапов, подвергаемых цифровизации и обеспечивающих эффективность стандартизации в организации.

Ключевые слова: жизненный цикл, стандарт организации, цифровизация

DIGITALIZATION OF THE ORGANIZATION STANDARD'S LIFE CYCLE

Y.V. Strakhova, V.A. Ivanova

Scientific Supervisor – **V.A. Ivanova**, Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor

Yaroslavl State Technical University

Based on the results of the analysis of modern practical experience, a study was conducted, as a result of which the life cycle of the organization standard was developed, indicating the stages that are subject to digitalization and ensuring the effectiveness of standardization in the organization..

Keywords: life cycle, organization standard, digitalization

Современная отечественная промышленность в рамках развития Индустрии 4.0 продолжает модернизировать свою деятельность в сторону оптимизации процессов производства и внедрения новых технологий, в связи с чем стандартизация на предприятиях с каждым годом охватывает все более широкий спектр вопросов. Одним из наиболее важных и актуальных направлений на данный момент является цифровизация [1], что за собой влечет высокий темп трансформации внешней и внутренней сред организаций, вынуждая руководителей процессов более вниматель-

но относиться к управлению изменениями в их работе, в том числе в части разработки и применения локальных нормативных актов.

Среди широко применяемых документов, регламентирующих деятельность предприятий, является СТО. Менеджмент документированной информации вслед за другими видами деятельности попадает под влияние цифровизации, что в свою очередь не оставляет без изменений управление СТО. В связи с этим в работе рассмотрена цифровизация жизненного цикла (ЖЦ) СТО.

В результате проведения сравнительного анализа этапов ЖЦ различных объектов [2] согласно ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [3], ГОСТ Р 56936-2016 [4], ГОСТ Р ИСО 15489-1-2019 [5], модели ЖЦ организации И.К. Адизеса [6], Положения о системе стандартизации Группы «РусГидро» [7] были выделены общие этапы ЖЦ СТО. На основе осуществленного исследования и с учетом требований ГОСТ Р ИСО 9000-2015 [8], ГОСТ Р 1.4-2004 [9] была построена модель из девяти этапов ЖЦ СТО, представленная на рис. 1.

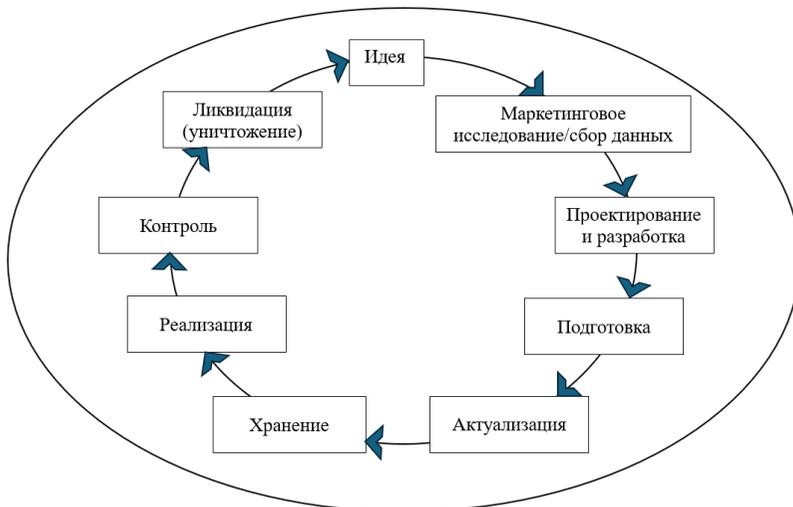


Рис. 1. Модель жизненного цикла стандарта организации [10]

На сегодняшний день на предприятиях России не существует единой информационной системы или же программ для автоматизации работ в сфере стандартизации. Осуществление данной деятельности преимущественно проводится на бумажных носителях с соблюдением всех этапов ЖЦ СТО [2]. Однако можно использовать опыт цифровизации работ в

области национальной стандартизации, например подсистемы «Береста» Федеральной государственной информационной системы Росстандарта. Данная подсистема позволяет вести деятельность в части разработки стандартов, взаимодействия с техническими комитетами (ТК), а также при формировании программы национальной стандартизации [11].

В части разработки национальных стандартов в «Бересте» охватываются такие этапы ЖЦ СТО, как «проектирование и разработка», «подготовка» [10]. Пользователям подсистемы дается возможность ознакомиться с проектами стандартов и сохраняемыми редакциями совместно с сопроводительными документами, направить предложения по рассматриваемым проектам, отследить текущее состояние разработки, направить предложение об утверждении проекта (для ТК).

В части формирования программы национальной стандартизации затрагиваются этапы «идеи», «маркетингового исследования/сбора данных» согласно модели ЖЦ СТО [10]. Пользователи подсистемы вносят предложения с обоснованиями разработки национальных стандартов, после чего уполномоченным органом проводится экспертиза с дальнейшее исключение или согласованием таких предложений.

Исходя из рассмотренного функционала «Бересты» можно выделить, что готовый документ в формате .doc, .docx или .pdf загружается пользователем в систему и в дальнейшем используется как способ передачи документов без проведения в ней каких-либо работ по стандартизации [11].

Опираясь на подобный опыт, можно оптимизировать по принципу системы электронного документооборота (например, с помощью программы 1С: Предприятие в комплексе с любым редактором файлов в формате .pdf) часть работ по стандартизации в рамках предприятия. Для этого рассмотрим видоизменение этапов ЖЦ СТО [10] под влиянием цифровизации, представленное в таблице 1.

Таблица 1. Этапы ЖЦ СТО в эпоху цифровизации

Наименование этапа ЖЦ СТО	Описание этапа ЖЦ СТО [9]	Обоснование цифровизации этапа ЖЦ СТО
1	2	3
Выбор и обоснование объекта стандартизации (идея)	На данном этапе выявляется потребность в разработке СТО или же актуализации (корректировке) уже имеющегося документа. В качестве основы для идеи может выступать, как необходимость в задокументированном описании процесса (деятельности), так и изменения нормативных, законодательных требований и иной информации (например, организационная схема управления организации).	Данный этап под влиянием цифровизации оказывается в случае, если организацией используются информационные сети и справочные системы, в которых хранятся и своевременно обновляются правовые, нормативные и другие документы. Такие платформы имеют возможность в электронном виде своевременно уведомлять пользователей о готовящихся изменениях в тех или иных документах.

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Сбор данных	Когда выбор и обоснование объекта стандартизации сформированы, можно приступить к исследованию нормативно-законодательной базы, касающейся процессов, к которым применяются требования СТО, изучить формы и структуры изложения информации, определить взаимосвязанные внутренние документы организации и выявить дублирование информации.	Данный этап остается без изменений.
Проектирование и разработка	На основе собранных на предыдущем этапе данных резервируется порядковый номер документа (идентификация), затем следует разработка или актуализация (корректировка) СТО. Если написание документа происходит с нуля, то он представляет из себя проект. На этом этапе немаловажным является предоставление возможности для свободного участия в обсуждении широкого круга сотрудников заинтересованных подразделений организации [9], а также согласование с государственным заказчиком, если таковой имеется.	На данном этапе разработка проекта СТО может проводиться в текстовых редакторах форматов .doc, .docx. В дальнейшем файл с наработками может быть направлен заинтересованным лицам внутри локальной сети для обсуждения и оперативного внесения изменений в готовящийся проект. Изменения могут проводиться путем их непосредственного внесения в текст стандарта или же посредством функции добавления примечаний, что позволяет видеть предложения по изменению одновременно с первоначальной редакцией.
Согласование и утверждение	Готовый проект СТО или же оформленное извещение об изменении в случае актуализации (корректировки) документа проходит стадию согласования и утверждения среди заинтересованных подразделений и руководства организации. На этом этапе могут быть выдвинуты предложения по внесению изменений в разрабатываемый СТО или же принято решение о приостановке/прекращении дальнейшей разработки документа.	На этапе согласования проекта СТО можно прибегнуть к применению систем электронного документооборота. В программе такой системы регистрируется исходящий документ (служебная записка), к которой прикрепляется файл с проектом СТО в любом доступном формате. В интерфейсе программы выбираются все согласующие лица, обозначается крайний срок согласования, после чего адресатам направляется уведомление о необходимости рассмотреть проект вместе с файлом. В случае наращения сроков рассмотрения исполнителю автоматически направляется уведомление о необходимости выполнения данной части работы. По результатам рассмотрения согласующее лицо может согласовать, не согласовать проект и оставить комментарий с описанием необходимых для внесения доработок. Также допускается повторение действий этапа «Проектирование и разработка». Согласующие подписи собираются на бумажном носителе.

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Актуализация	<p>Данный этап построен на основе выхода «Согласования и утверждения». Если в процессе согласования и утверждения было принято решение о внесении изменений в проект документа или в уже действующий СТО, то проводится соответствующая корректировка. В противном случае текущий этап пропускается.</p>	<p>Актуализация СТО проводится в исходном файле при применении текстового редактора с учетом результатов этапа «Согласование и утверждение».</p> <p>Проведение изменений в контрольном экземпляре СТО (оригинал) на бумажном носителе не исключаются.</p> <p>Допускается проведение изменений только в оригинале документа.</p>
Хранение	<p>Этап «Хранение» начинается с копирования и размножения утвержденного и зарегистрированного СТО в необходимом количестве для оформления учетных экземпляров. Оригинал документа хранится в специально отведенном для этого месте. Копии рассылают по подразделениям, чья деятельность связана с тематикой стандарта и где определены места для хранения. Аналогичный процесс происходит в случае, когда уже действующий СТО подвергается корректировке в части разделов, пунктов, подпунктов и приложений.</p>	<p>В случае обеспечения централизации работ по корректировке и актуализации документов через подразделение, ответственное за стандартизацию в организации файл СТО в форматах .doc или .docx с ограничением доступа к редактированию размещается в папке общего доступа в локальной сети.</p> <p>В случае децентрализации работ по корректировке и актуализации документов проводится сканирование контрольного экземпляра СТО или его части, которая подверглась изменениям. Далее файл СТО в формате .pdf при необходимости обрабатывается в pdf редакторе и размещается в папке общего доступа в локальной сети.</p> <p>Идентификация и прослеживаемость в данном случае обеспечивается не только на бумажном носителе.</p>
Реализация (эксплуатация)	<p>Документ должен быть пригоден для использования в течение установленных сроков хранения [5], поэтому эксплуатация документа проходит неразрывно от хранения. На текущем этапе возможно создание дополнительных копий СТО, миграция документа в другие подразделения.</p>	<p>Эксплуатация СТО организована в папке общего доступа в локальной сети путем возможности просмотра файлов .doc, .docx или .pdf с этим стандартом. Доступ к файлам может быть открыт для всех пользователей локальной сети, а может быть и ограничен определенным кругом лиц.</p>
Контроль	<p>На регулярной основе в рабочем порядке или специально созданной комиссией проводится контроль за архивом документов, за хранением СТО, за учетом и внесением изменений в оригинал документа и его копии в соответствии с изменениями нормативных документов, законодательства, внутренних документов организации, внедрением новых стандартов и т. п.</p>	<p>Данный этап остается с учетом отсутствия копий СТО и хранения документов в подразделениях.</p>

Окончание таблицы 1

1	2	3
Ликвидация (утилизация)	Как результат проведенного контроля, может быть выявлена неактуальность какой-либо части документа или же стандарта целиком. При первом варианте СТО подвергается корректировке, проходя через 1-й этап ЖЦ СТО. При втором варианте действующий документ аннулируется, отправляется на хранение в архив, где в дальнейшем при проведении контроля может быть принято окончательное решение о его ликвидации. В качестве конечного результата этого процесса составляется акт об уничтожении.	Данный этап остается с учетом изъятия файлов СТО из локальной сети общего доступа в случае определения на хранение в архив этих СТО.

Для предприятия такие изменения в управлении СТО обеспечивают:

- скорость и эффективность работ по стандартизации путем сокращения этапов ЖЦ СТО и уменьшения объемов проводимых работ;
- повышение коммуникативных возможностей на начальных этапах ЖЦ с возможностью в более сжатые сроки проводить процедуру согласования;
- сокращение затрат за счет уменьшения функционала сотрудников и фонда оплаты труда, а также снижения канцелярских затрат.

В качестве результатов проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Проведенное исследование [2] стало основой для разработки модели ЖЦ СТО [10], которая позволила построить информационную модель ЖЦ СТО;
2. Установлено, что степень цифровизации зависит от содержания этапа ЖЦ СТО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриева С.В.* Индустрия 4.0 и цифровая трансформация в промышленном комплексе: внедрение современных технологий и инноваций для повышения производительности и конкурентоспособности / С.В. Дмитриева // *Инновации и инвестиции*. 2023. № 6. С. 400–404.
2. *Страхова Я.В.* Исследование жизненного цикла стандарта организации / Я.В. Страхова, В.А. Иванова // *Семьдесят шестая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием*. 19-20 апреля 2023 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 2. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. С. 723–727. 1 CD-ROM. Текст: электронный.
3. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Система менеджмента качества. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124394>
4. ГОСТ Р 56936–2016. Производственные услуги. Системы безопасности технические. Этапы жизненного цикла системы. Общие требования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200135533>

5. ГОСТ Р ИСО 15489–1–2019. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Информация и документация. Управление документами. Часть 1. Понятия и принципы. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200163564>
6. *Adizes I.* Organizational passages – diagnosing and treating lifecycle problems of organizations // *Organizational dynamics*. 1979. Т. 8, №1. С. 3–25.
7. Положение о системе стандартизации ПАО «РусГидро» / ПАО «РусГидро». URL: https://rushydro.ru/activity/safety/library/?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru
8. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Система менеджмента качества. Основные положения и словарь. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124393>
9. ГОСТ Р 1.4–2004. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200038434>
10. *Страхова Я.В.* Исследование жизненного цикла стандарта организации / Я.В. Страхова, С.А. Соловьева // Семьдесят седьмая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. 17-18 апреля 2024 г., Ярославль: сб. материалов конф. В 3 ч. Ч. 2. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2024. С. 276–279. 1 CD-ROM. – Текст: электронный.
11. *Осипов Г.А.* Цифровизация жизненного цикла национального стандарта / Г.А. Осипов, Ю.М. Аверина, А.С. Куценко // *Успехи в химии и химической технологии*: сб. науч. тр. Т. XXXVII, №4 (266). М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2023. С. 155–157.

СЕКЦИЯ «ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

УДК 669:658.567.1

УТИЛИЗАЦИЯ ШЛАКОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.В. Галенкина, А.А. Франчук

Научный руководитель – **А.А. Франчук**, преподаватель-стажёр

Белорусский национальный технический университет

В статье рассмотрены разновидности шлаков, используемых в металлургическом производстве, а также основные виды шлаков, их использование и способы переработки на Белорусском металлургическом заводе.

Ключевые слова: шлак, силикат, металлургия, переработка, металл, сырьё

DISPOSAL OF METALLURGICAL SLAGS

A.V. Halenkina, A.A. Franchuk

Scientific Supervisor – **A.A. Franchuk**, Trainee Teacher

Belarusian National Technical University

The article discusses the types of slags used in metallurgical production, as well as the main types of slags, their use and processing methods at the Belarusian Metallurgical Plant.

Keywords: slag, silicate, metallurgy, processing, metal, raw materials

Шлаки – основная масса отходов металлургических процессов. Шлаки образуются в результате спекания отдельных частиц на колосниковой решетке при температуре свыше 1000 °С или при охлаждении расплавленной минеральной части топлива при температуре более 1300 °С.

Шлак является отходом, который образуется в процессе выплавки металла. Легкоплавкие силикаты получают при выплавке как цветного, так и черного металла:

- медные, цинковые, свинцовые, никелевые;

- доменные;
- литейно-чугунные;
- сталеплавильные (тигельные, сварочные);
- электроплавильные и т. д.

Каждый вид шлака имеет особый состав, обладает определенной вязкостью, насыщенностью газами.

Отделение шлака от металлического сплава осуществляется во время плавки/переплавки. Силикат находится над жидким сплавом. Шлак имеет меньший объем и текучесть в сравнении с выплавляемой сталью.

Разновидности металлургических шлаков по свойствам:

- малопрочные/высокопрочные;
- пористые/стекловидные;
- камневидные/гранулированные;
- с однородной или кристаллической структурой.

На Белорусском металлургическом заводе (БМЗ) в Жлобине образуется несколько типов шлаков, в основном в результате сталеплавильного производства. Эти шлаки представляют собой побочные продукты различных этапов переработки и плавки стали, и каждый вид имеет специфические характеристики и потенциал для дальнейшего применения.

Основные виды шлаков на БМЗ:

1. Доменный шлак: образуется при плавке чугуна в доменных печах. Этот шлак состоит из оксидов кальция, кремния, алюминия и магния. Он имеет хорошие цементирующие свойства, поэтому широко используется в строительной индустрии, например, в качестве добавки к цементу.

2. Сталеплавильный шлак: это продукт переработки металла в электродуговых печах, а также в процессе доводки стали. Состав сталеплавильного шлака также включает оксиды железа, кальция и кремния, и этот материал обычно применяется как заполнитель для бетона или для производства строительных материалов. Сталеплавильный шлак часто перерабатывают и используют в дорожном строительстве, так как он помогает повысить прочность и устойчивость дорожных покрытий.

3. Шлак ковшевой металлургии: этот вид шлака образуется на стадии вторичной переработки стали, когда металл доводят до нужного химического состава и температуры. Ковшевые шлаки могут содержать серу, магний и кальций. Часть этих шлаков также перерабатывается и используется для восстановления металлов или как строительный материал.

Переработка и использование шлаков.

На БМЗ внедрены процессы переработки шлаков с целью их повторного использования, что помогает сократить объемы отходов и минимизировать воздействие на окружающую среду. Некоторые из них пе-

рерабатываются в металлургическом процессе для восстановления металла, а часть передается для использования в других отраслях, таких как производство строительных материалов или дорожное строительство.

Кроме того, переработка шлаков позволяет снизить затраты на сырье, так как шлак можно применять как замену традиционным материалам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Менделеев Д.И. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.) / Менделеев Д.И., Митинский А. Н.; СПб, 1890–1907.
2. *Ванюков А.В.* Шлаки и штейны цветной металлургии / А.В. Ванюков, В.Я. Зайцев. Москва: Металлургия, 1969. 408 с.

ДОБЫЧА ЖЕЛЕЗА ИЗ БОЛОТНОЙ РУДЫ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Е.В. Дыдыка, А.А. Франчук

Научный руководитель – **А.А. Франчук**, преподаватель-стажёр

Белорусский национальный технический университет

В статье рассмотрены способы получения железа из болотной руды, технологии добычи, проблематика добычи руды в пределах Республики Беларусь.

Ключевые слова: металлургия, сырьё, добыча железа, болотная руда, руда, железо

DISPOSAL OF METALLURGICAL SLAGS

E.V. Dydyka, A.A. Franchuk

Scientific Supervisor – **A.A. Franchuk**, Trainee Teacher

Belarusian National Technical University

The article discusses the methods of obtaining iron from marsh ore, mining technologies, and the problems of ore mining within the Republic of Belarus.

Keywords: metallurgy, raw materials, iron mining, marsh ore, ore, iron

Добыча железа из болотной руды (лимонита) имеет долгую историю в Республике Беларусь, начиная с древних времён и продолжаясь до XIX века. Болотная руда представляет собой низкокачественный бурый железняк, содержащий 20–60% окиси железа, и образуется в болотах благодаря жизнедеятельности микроорганизмов. В условиях Беларуси эта руда была доступна для кустарного производства, хотя и не подходила для современных металлургических процессов.

Добыча болотной руды в Беларуси началась еще в VII веке до нашей эры. В те времена местные жители использовали простые инструменты, такие как лопаты, для извлечения руды из поверхностных слоев болот. Месторождения находились в различных районах, включая Мозырский, Гомельский и другие регионы, где болотная руда была доступна на небольшой глубине.

С развитием металлургии в средние века увеличился интерес к болотной руде. Руда использовалась для производства железа в домницах – специальных печах, где ее плавил с древесным углем. Эта технология позволяла получать достаточно качественное железо для местных нужд. В частности, на Мозырщине находились значительные запасы болотной руды, что способствовало развитию металлургического производства.

К XIX веку с развитием новых технологий и открытием более качественных источников железа, таких как уральские рудники, интерес к болотной руде стал снижаться. Промышленная добыча железа из болотной руды перестала быть экономически целесообразной из-за низкого содержания железа (20-60%) и большого количества примесей. Тем не менее, кустарное производство продолжало существовать, так как местные мастера могли использовать эту руду для удовлетворения своих потребностей.

На сегодняшний день болотная руда не рассматривается как ценное сырье для промышленности из-за низкого качества и малой мощности запасов. Однако она все еще может использоваться в небольших объемах для кустарного производства. В Беларуси выявлены два основных месторождения железных руд: Околовское и Новоселковское, которые содержат более качественные магнетитовые руды.

Существует несколько технологий добычи железа из болотной руды:

1. Кустарные технологии:

- **Ручная добыча.** Добыча болотной руды осуществляется в основном кустарным способом. Местные жители используют простые инструменты, такие как лопаты, для извлечения руды из поверхностных слоев болот. Руда находится близко к поверхности, что делает её доступной для ручного труда. Этот метод позволяет извлекать руду без значительных затрат на оборудование.

- **Плавка в домницах.** Традиционно болотная руда плавилась в домницах – простых печах, где руда обрабатывалась с древесным углем. Восстановление железа происходит при температуре около 400 °С, а для получения губчатого железа требуется температура 700–800 °С. Домницы вмещали около 30 кг руды и использовались для получения небольших объемов металла. Этот процесс требует значительных трудозатрат и не подходит для массового производства.

2. Современные подходы:

- **Эксперименты с сыродутным процессом.** Современные исследования показывают возможность реконструкции технологий сыродутного процесса на основе археологических данных. В рамках таких экспериментов проводятся испытания по восстановлению руды до металлического железа с использованием материалов и технологий, доступных древним металлургам. Эти эксперименты включают:

- подготовку руды: промывание и измельчение до нужной фракции;
- плавку в печах, где контролируется температура для оптимизации процесса получения металла;
- использование добавок (например, извести) для улучшения отделения шлака от металла.

Несмотря на наличие технологий, добыча железа из болотной руды в Беларуси сталкивается с рядом ограничений:

- **низкое качество сырья:** высокое содержание примесей делает болотную руду непригодной для современных металлургических процессов.
- **экономическая нецелесообразность:** из-за низкой производительности кустарные методы не могут конкурировать с промышленными технологиями, использующими более качественные источники железа.

Тем не менее, кустарное производство продолжает существовать, обеспечивая местное население необходимыми материалами и сохраняя традиции металлургии.

Добыча железа из болотной руды в Беларуси представляет собой интересный пример сочетания традиционных методов и современных исследований. Несмотря на ограниченные возможности для промышленного использования этой руды, кустарные технологии продолжают играть важную роль в местной экономике и культуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мозырщина – край металлургов // Мозырь News: [сайт]. URL: <https://www.mazyr.by/2022/03/mozyrshhina-kraj-metallurgov/> (дата обращения: 29.10.2024)
2. Железные руды // Экологический портал Беларуси: [сайт]. URL: <https://ecoportal.gov.by/nedra/mineralno-syrevaya-baza/razvedannye-negazrabatyvaemye-mestorozhdeniya/zheleznye-rudy/> (дата обращения: 29.10.2024)
3. *Андреев Д.В.* Исследование эффективности сыродутного способа получения углеродистых сталей на территории современной Беларуси в доиндустриальный период / Д.В. Андреев // *Литье и металлургия*. 2021. № 1. С. 100-105.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ FDM/FFF 3D-ПРИНТЕРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ

А.Л. Славинский, А.О. Дикун

Научный руководитель – **А.О. Дикун**, ассистент

Белорусский национальный технический университет

Статья посвящена анализу вопросов и возможных решений, возникающих при проектировании и создании эффективных систем воздушного охлаждения для FDM/FFF 3D-принтера.

***Ключевые слова:** 3D-печать, FDM/FFF, воздушное охлаждение*

DESIGNING AN EFFICIENT AIR-COOLING SYSTEM FOR AN FDM/FFF 3D PRINTER FOR THE PRODUCTION OF FOUNDRY MODELS

A.L. Slavinsky, A.O. Dikun

Scientific Supervisor – **A.O. Dikun**, Assistant

Belarusian National Technical University

The article is devoted to the analysis of issues and possible solutions that arise when designing and creating effective air-cooling systems for an FDM/FFF 3D printer.

***Keywords:** 3D printing, FDM/FFF, air cooling*

Целью работы является обзор возможности установки и модернизации системы охлаждения нефтехимической продукции и агрегатов нефтехимического производства конструкции Ирмекеева.

Аддитивные технологии часто применяются для создания моделей, которые затем используются для изготовления литейных форм. Преимущество данной технологии заключается в возможности создания сложных геометрических форм, которые трудно или невозможно изготовить традиционными методами. С помощью 3D-печати можно быстро производить модели, используя материалы, которые могут быть впоследствии покрыты специальными составами для улучшения технологического процесса получения отливки.

В качестве референсной системы активного воздушного охлаждения, которую можно адаптировать под задачи трёхмерной печати по технологиям FFF/FDM рассматривается система конструкции Ирмекеева (рис. 1), применяемая для охлаждения нефтехимической продукции и агрегатов нефтехимического производства. Данная система охлаждения является одной из самых эффективных систем воздушного охлаждения на текущий момент.

Аналог данной системы, может быть установлен на 3D-принтеры, работающие по технологии FFF/FDM с необходимыми конструктивными изменениями и доработками относительно оригинальной системы. Это позволит значительно ускорить съём готовых изделий, т.к. поверхность построения в большинстве случаев покрыта специализированным клеевым составом, а в случае использования инженерных полимеров клеевой состав наносится практически в 100% случаев ввиду плохих адгезионных свойств данных полимеров.

Съём готовой модели после печати без её повреждения возможен только после полного остывания поверхности построения принтера до комнатной температуры, т.к. клеевой состав теряет свои свойства при снижении температуры, на что требуется время.

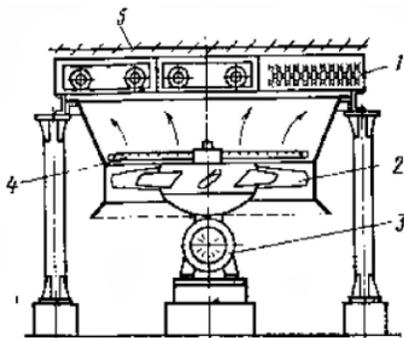


Рис. 1. Аппарат комплексного воздушного охлаждения:

- 1 – секция, состоящая из оребренных труб; 2 – кулер; 3 – электродвигатель;
4 – коллектор впрыска очищенной воды; 5 – сетка

Система комплексного воздушного охлаждения данной конструкции работает по следующему принципу:

1. Оребренные трубы, объединённые в секции, играют роль теплообменника. Теплоотдача происходит за счет контакта между горячими поверхностями труб и приточным воздухом, который проходит через оребрение, увеличивая тем самым эффективность процесса теплообмена.

2. Кулер обеспечивает циркуляцию воздуха через секцию с оребренными трубами, Он может быть оснащен вентилятором для создания принудительного воздушного потока или турбиной для усиления процесса теплообмена.

3. Электродвигатель используется в качестве привода вентилятора в кулере. Он обеспечивает необходимую механическую энергию для работы устройства.

4. Коллектор впрыска очищенной воды предназначен для впрыска очищенной воды в систему. Он обеспечивает дополнительное охлаждение путем испарения воды на горячих поверхностях секции с оребренными трубами, что способствует увеличению эффективности охлаждения.

5. Для фильтрации воздуха, проходящего через систему, а также для предотвращения попадания пыли, мусора и других загрязнений в оребрение труб и другие элементы, на входе данной системы устанавливается фильтр. Чистый воздух позволяет поддерживать эффективность работы системы и снижает частоту обслуживания системы.

Внедрение в цельный радиатор тепловых трубок является эффективным способом снижения массы и улучшения теплоотвода радиатора, так как тепловые трубки представляют собой устройства, которые используют фазовый переход жидкости в пар для передачи тепла, что способствует более равномерному и быстрому распределению тепла по всему объёму теплоотводящей системы. Также внедрение тепловых трубок в радиатор позволяет значительно увеличить общий пространственный объём радиатора и соответственно площадь теплоотдачи. Таким образом радиатор, имеющий в своей конструкции тепловые трубки, обеспечивают гораздо более эффективный теплообмен, чем традиционные цельные радиаторы. Использование тепловых трубок позволяет существенно снизить массу системы охлаждения за счет уменьшения объема теплопроводящего материала, при этом сохраняя или даже увеличивая эффективность теплоотдачи.

Тепловые трубки имеют оребрение по наружной поверхности, что на порядок увеличивает эффективную площадь их теплоотдачи и компенсирует сравнительно низкий коэффициент теплоотдачи со стороны воздушных потоков.

Для сохранения тепла в моменты, когда его отвод не требуется, к примеру, при нагреве поверхности построения, что позволит сократить время нагрева, предлагается заключить систему охлаждения в кожух, в данном кожухе должны быть предусмотрены воздухозаборные и выпускные отверстия, таким образом получится система охлаждения турбинного типа. Кожух эффективно изолирует систему охлаждения от окружающей среды, предотвращая потери тепла через излучение и конвекцию, а при включении кулера данный кожух позволит правильно направлять

воздушные потоки, для значительной интенсификации процессов теплопереноса.

Для обеспечения жесткости и устранения вибраций пучка охлаждающих трубок во время печати секция укреплена металлическим каркасом. В пучке стержней каждый отдельный стержень может иметь индивидуальный изгиб. Для исключения контакта ребер верхнего ряда стержней с ребрами стержней нижнего ряда между соседними рядами в нескольких местах по длине стержней помещают дистанцирующие металлические сетчатые прокладки из алюминиевой ленты толщиной около 2 мм, которые должны обеспечить свободное течение воздушных потоков и повысить жёсткость конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Редькин А.П.* Теплопередача и теплоотводы / А.П. Редькин. М.: Энергия, 2000. 400 с.
2. *Ландау Л.И.* Теплотехника / Л.И. Ландау, Е.М. Лифшиц. 4-е изд. М.: Наука, 1982. 672 с.
3. *Лебедева В.Г.* Теплопередача: учебник для вузов / В.Г. Лебедева, Н.Г. Кузнецов. М.: Высшая школа, 2004. 560 с.
4. *Лыков А.В.* Теплообмен / А.В. Лыков. М.: Энергия, 1995. 320 с.