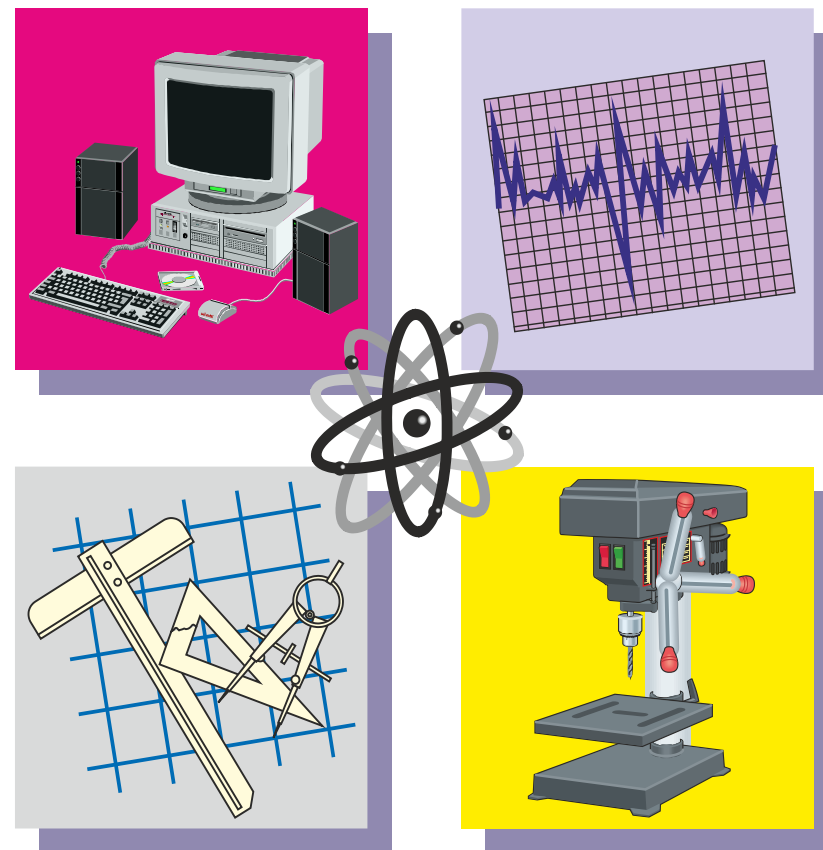


№ 1 (35)' 2023 Студенческий научно-технический журнал ИНЖЕНЕР

*Студенческий научно-технический  
журнал*

# ИНЖЕНЕР

**№ 1 (35)' 2023**



**ДОНЕЦК - 2023**



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# ИНЖЕНЕР

*Студенческий научно-технический  
журнал*

Основан в 2000 году

**№ 1 (35)' 2023**

Донецк – 2023

## **УДК 621**

Рекомендован к изданию Ученым Советом Донецкого национального технического университета (протокол № 3 от 31 октября 2023 г.)

Журнал «Инженер» ориентирован на публикацию научных работ студентов, магистрантов, стажеров, аспирантов, молодых специалистов по вопросам: создания и применения прогрессивных технологий; информационных технологий; механизации и автоматизации производственных процессов; управления качеством, метрологии, сертификации; вопросам экономической теории и практики; моделирования, расчетов и проектирования сложных технических систем, экологических проблем промышленности.

Издается при содействии Донецкого регионального отделения «Союз машиностроителей России»

**Учредитель** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий национальный технический университет»

**Главный редактор**  
**Зам. гл. редактора**  
**Ученый секретарь**

Михайлов А. Н.  
Чернышев Е. А.  
Лахин А. М.

**Редакционная коллегия:**

Буленков Е. А., Голубов Н. В., Горобец И. А., Петряева И.А., Селивра С. А.

**Адрес редакции:**

ДонНТУ, кафедра ТМ  
6-й учебный корпус, 6.305  
ул. Артема, 58  
283001, г. Донецк, ДНР, РФ  
Тел. моб.: +7 949 3060879

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Донецкой Народной Республики. Регистрационный номер 000134 от 06 июня 2017 г.

**ISSN 2073-5804**

© ФГБОУ ВО «Донецкий национальный  
технический университет», 2023

УДК 621.01

**САМОДВИЖУЩАЯСЯ РАДИОУПРАВЛЯЕМАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ УБОРКИ СНЕГА**

**Аксёнов А. А., Цокур В. П.** (кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)  
Тел./Факс: +7 (949) 4056710; E-mail: [mсмо@fimm.donntu.ru](mailto:mсмо@fimm.donntu.ru)

***Аннотация.** Предложена конструкция малогабаритной тележки с радиоуправлением для уборки снега с приводом от мотор-колес и шнековым устройством, приведены рисунки необходимых материнских плат и схемы их подключения, выбран тип аккумуляторов*

***Ключевые слова:** тележка, снег, материнская плата, радиоуправление, шнек*

**1. Введение**

В истории развитие человечества первую самодвижущуюся тележку сделал в 1478 году Леонардо да Винчи, которая могла перемещаться до 50 метров с помощью пружин длиной 7 метров накрученных на барабаны [1].

Первая снегоуборочная машина была построена Гербертом Фрицем в начале 80-х годов XIX века, которая могла сметать снег лишь на полтора метра в сторону, а для ее работы нужно было постоянно крутить ручку, присоединенную к валу снегоочистителя [2]. В 1884 году Оранж Джулл получил патент на свой «снежный плуг» (SnowPlough), а в 1885 году академик Писерман установил на снегоуборочную машину паровой двигатель, что позволяет официально считать датой изобретения первой снегоуборочной машины [3].

В 1925 году по заснеженным улицам Монреаля передвигался первый рабочий прототип самоходного снегоуборщика, названного создателем «SicardSnowRemoverSnowblower» [4]. Это был агрегат на базе четырехколесного шасси и двигателя от грузового автомобиля, а впереди располагался роторный снегоотбрасыватель с автономным мотором и двумя регулируемые выпускными желобами.

В наше время появилось много новых электрических транспортных средств, которые можно перепрограммировать для выполнения различных задач, например, радиоуправляемой платформы (тележки) для чистки тротуаров от снега. Конструкции привода колес могут быть различные.

**2. Основное содержание и результаты работы.**

Рассмотрим мотор-колесо, которое представляет собой агрегат, объединяющий колесо и встроенные в него тяговый двигатель и силовую передачу а, в некоторых случаях, тормозную систему [5]. Наибольшее распространение мотор-колёса получили на электровелосипедах, электросамокатах, гироскутерах, складских электрических машинах (вилочных погрузчиках, штабелерах, тележках). Для управления мотор-колесом необходима специальная материнская плата, аккумуляторы и програматоры [6] (рис.1).

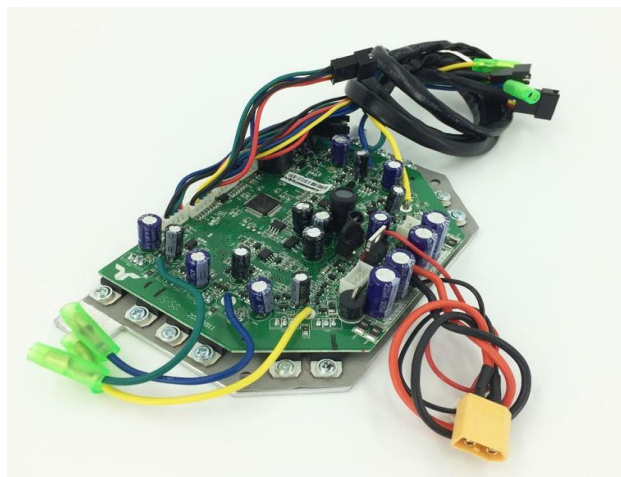


Рис. 1. Материнская плата

Для осуществления перемещений платформы с радиоуправлением необходима прошивка платы под радиоуправление. Для осуществления радиоуправления необходимо установить утилиту для программатора STM32 ST-LINK Utility. Интерфейс утилиты выглядит следующим образом (рис. 2).

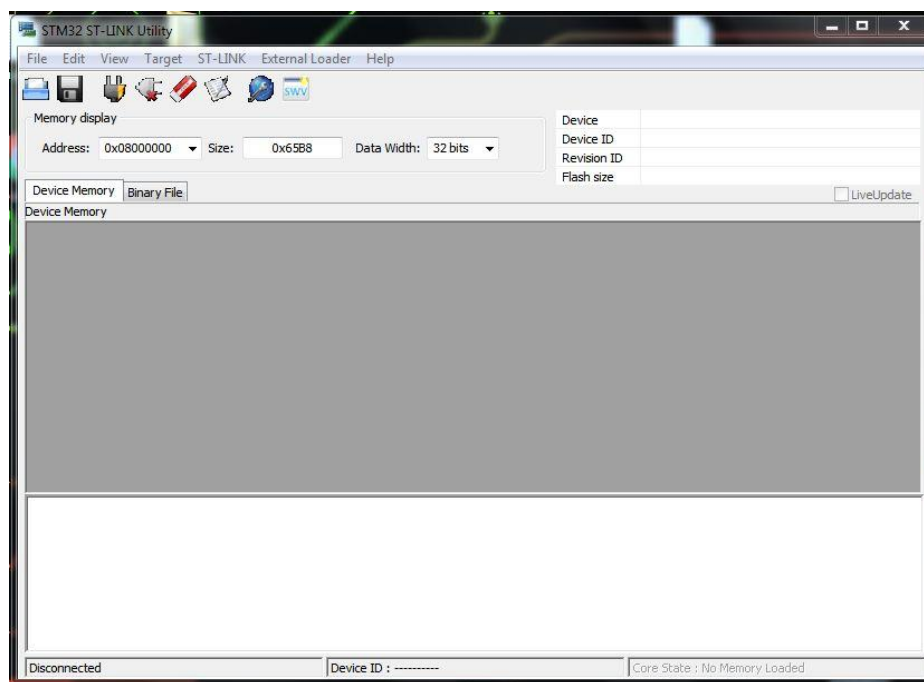


Рис. 2. Интерфейс утилиты.

Устанавливаем драйвера для программатора ST-Link V2 и программу Visual Studio, а после запуска необходимо установить дополнение PlatformIO IDE (см. рис.3).

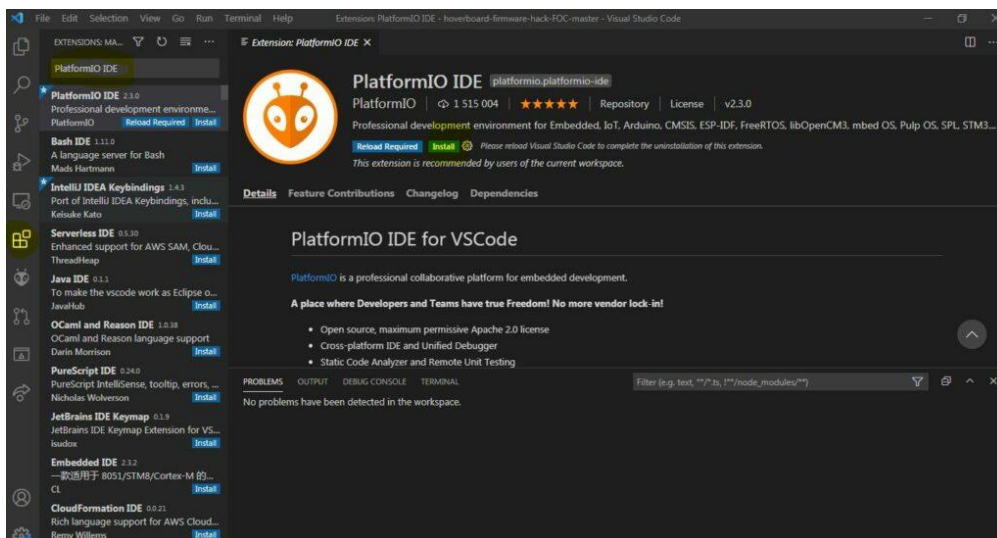


Рис. 3. Установка дополнения для VisualStudio.

Для управления устанавливаем плату с радиоприёмником (см. рис.4).



Рис. 4. Плата с радиоприёмником.

Конденсаторы и подтягивающие резисторы необходимы для защиты входов от импульсных помех. Без них возможна нестабильная работа устройства, а именно дерганье колес.

Питание приемника 5 вольт можно взять от выводов на датчики Холла для моторов. Максимальный ток с преобразователя 5В ограничен 100 мА, включая питание самих Холлов. Для приемника этого хватает, так как его потребление невелико и обычно составляет не более 50 мА.

На рисунке 6 показана схема готовой конструкции ходовой части малогабаритной подвижной платформы снегоуборочной тележки.

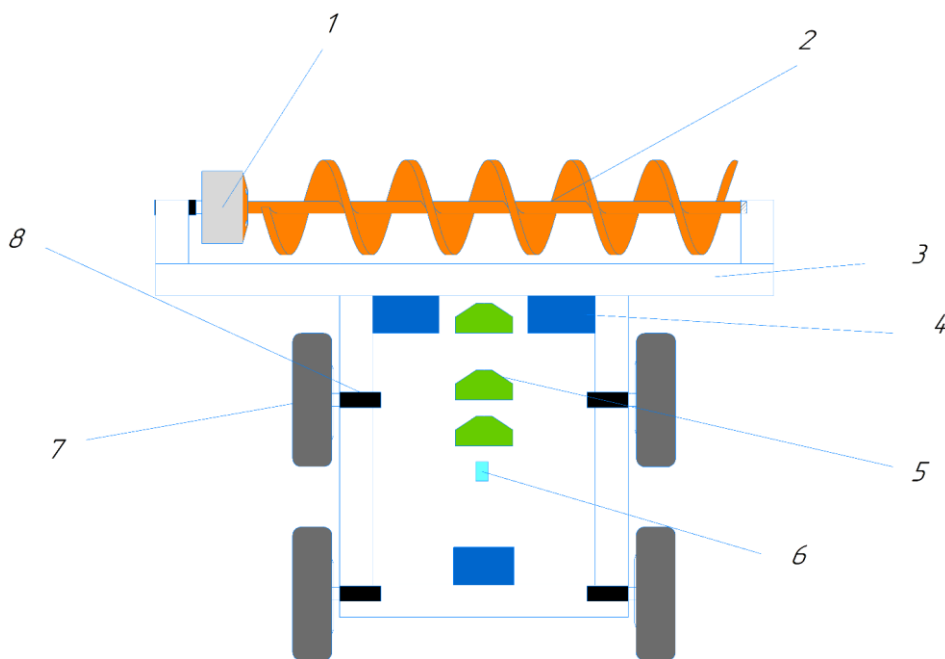


Рис. 5. Схема готовой конструкции ходовой части малогабаритной подвижной платформы снегоуборочной тележки: 1-мотор, 2 - вал с шнеком, 3 – рама, 4 – аккумулятор, 5 - материнская плата, 6 – приёмник, 7 - мотор-колесо, 8 - крепление для мотор-колеса

На рисунке 6 показано подключаем материнские платы к радиоприёмнику.

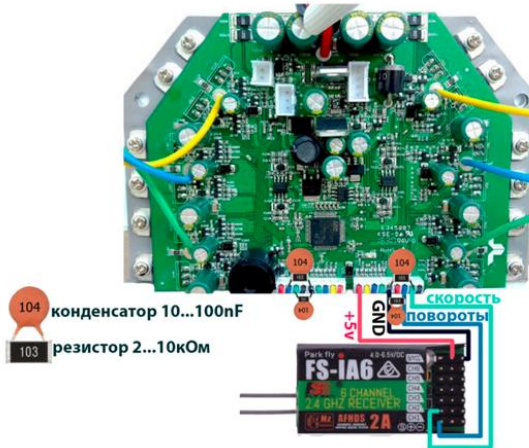


Рис. 6. Материнская плата, отвечающая за шнек.

На рисунке 7 показано две материнской платы, отвечающие за управление тележкой с помощью радиоуправления.

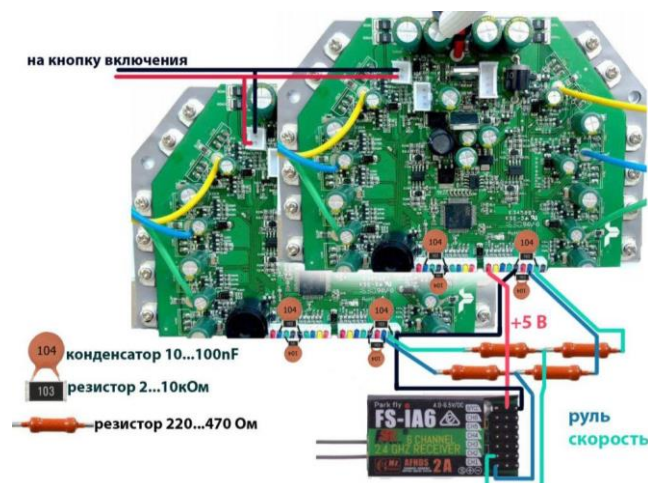


Рис. 7. Две материнской платы, отвечающие за управление тележкой с помощью радиуправления.

На рисунке 8 показана схема подключения всех устройств.

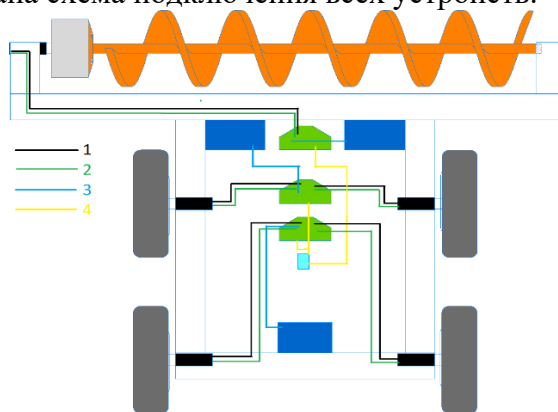


Рис. 8. Схема подключения: 1 - питание мотор-колеса, 2 - холл мотор-колеса, 3 - питание от аккумулятора, 4 - соединение плат с приёмником.

Для самодвижущихся платформ можно использовать различные виды аккумуляторов [10]: сурьмянистые, малосурьмянистые, кальциевые, гибридные, гелевые, щелочные, литий-ионные.

В спроектированной платформе будет использоваться литий-железо-фосфатный аккумулятор, в котором используется  $\text{LiFePO}_4$  для катода и графитовый углеродный электрод с металлической подложкой в качестве анода.

### 3. Заключение

Спроектированная тележка позволяет механизировать уборку снега на прилегающих территориях около жилых домов, исключить ручной труд с помощью лопат, обеспечить зарядку аккумуляторов в ночное время.

**Список литературы:** 1. Устюгов Самоходная тележка Леонардо да Винчи [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org). 2. [sovsojuz.mirtesen.ru](http://sovsojuz.mirtesen.ru/blog/43516815900/CHelovek-...)blog /43516815900/CHelovek-... 3. [otvet.mail.ru](http://otvet.mail.ru) 4. [otvet.mail.ru](http://otvet.mail.ru) 5. [vk.com](http://vk.com/wall-149749616_29)»wall-149749616\_29. 6. [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org). 7. Мотор-колесо [market.yandex.ru](http://market.yandex.ru/search...)»search... 8. [market.yandex.ru](http://market.yandex.ru/catalog-igrushki-i-igry/59692)»catalog-igrushki-i-igry/59692. 9. Материнские платы [club.dns-shop.ru](http://club.dns-shop.ru). 10. Курзуков Н.И., Ягнятинский В.М., Аккумуляторные батареи. Краткий справочник. - М.: ЗАО «КЖИ «За рулем»», 2008. - 88 с.



УДК 621

**ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЕРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

**Атауллин А. С., Буленков Е. А.** (кафедра ТМ, ГБОУВО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Российская Федерация)

**Аннотация:** в статье рассмотрены особенности использования мобильных устройств при выполнении операций механической обработки. Представлена классификационная схема мобильных устройств.

**Ключевые слова:** облачная САПР, Индустрия 4.0, мобильные устройства.

Этап технологической подготовки производства необходим для определения оптимальных методов, средств и организации производства изделий с учетом повышения производительности, снижения издержек и улучшения условий труда [1]. На этом этапе осуществляется проектирование технологического процесса, разработка механизации и автоматизации производственных процессов, а также решение вопросов организации производства и оснащенности рабочих мест [2]. В условиях угольного машиностроения, где производятся сложные и дорогостоящие изделия [2], особую важность приобретают вопросы повышения эффективности технологической подготовки производства, в том числе с использованием мобильных устройств. Для достижения этой цели необходимо разработать общий алгоритм проектирования технологического процесса изготовления деталей машин угольного машиностроения с учетом возможностей современных облачных САПР и баз данных, доступных в глобальной сети [3].

Целью выполнения данной работы является исследование особенности использования мобильных устройств при изготовлении изделий угольного машиностроения.

Современные мобильные устройства представляют собой мощное вычислительное устройство с возможностью анализировать окружающее пространство, находить любую потребную информацию и выполнять специализированные расчеты из любой точки с доступом в интернет. Кроме этого за счет расширенных фото возможностей и анализа окружающего пространства на основе технологий ИИ, появляются возможности использования дополненной реальности непосредственно на рабочих местах не только технологов и конструкторов, но и рабочих станочников [1].

Мобильное устройство представляет собой портативное электронное устройство с автономным питанием, имеющее экран для отображения информации и элементы управления чаще всего через сенсорный экран или физические кнопки. Основным признаком современных мобильных устройств является наличие операционной системы для возможности диалога с пользователем и возможность выхода в сеть через беспроводную сеть (Wi-Fi) или сеть мобильного оператора.

Рассмотрим классификацию мобильных устройств (рис.1) которые могут использоваться на рабочих местах машиностроительных предприятий а также некоторые примеры их использования при работе конструкторов, технологов и других специалистов.

По специализации, определяющей область применения мобильных устройств можно выделить универсальные устройства общего назначения и специализированные устройства для решения узкого круга задач. Универсальные устройства представляют собой устройства типа «все в одном», обеспечивающие: коммуникативные возможности, доступ к сети и информационным базам, фото-видео возможности, голосовой поиск, измерения физических величин, дополненную реальность и пр. Примером таких устройств

являются смартфоны и планшеты. К специализированным устройствам относят устройства предназначенные для решения узкого круга задач, которые не могут решить универсальные устройства. К таким устройствам относят: портативные контрольно-измерительные средства, считыватели электронных меток, портативные тепловизоры а также устройства выполнение на базе универсальных, но зашитых на решение узкого круга задач.



Рис.1. Классификационная схема мобильных устройств

По типу предустановленной операционной системы выделяют устройства с предустановленными системами Windows, Android, iOS, Linux и на собственном ядре. Устройства на собственном выполняются для тех случаев, когда требуется безопасность данных и предотвращение возможной утечки информации.

По степени мобильности выделяют миниатюрные (к которым также относят носимые устройства), средние (основная масса смартфонов и специализированных устройств) и массивные (планшеты и ноутбуки).

По способу доступа к сети выделяют устройства с выходом в Интернет через беспроводную сеть и через сеть мобильных операторов. Кроме того существуют устройства имеющие связь только с корпоративной сетью, а выход в интернет ограничен для предотвращения утечки информации.

По степени взаимодействия с пользователем выделяют устройства, постоянно передающие и получающие информацию а также передающие ее на экран устройства (например, устройство дополненной реальности, мониторинга состояния оборудования, индикаторы статуса выполненных работ) и устройства, передающие информацию только по запросу или по требованию пользователя.

По способу управления выделяют мобильные устройства с управлением через команды, вводимые из клавиатуры, устройства с управлением через виртуальные или физические кнопки, и устройства с голосовым управление.

Рассмотрим особенности использования портативных мобильных устройств в механосборочном цехе по производству изделий угольного машиностроения на примере связи техотдела и ремонтно-обслуживающего персонала с рабочим местом станочника.

Цех имеет корпоративную локальную сеть и инфраструктуру для доступа к беспроводной сети для работников ИТР, служащих, специалистов и рабочих. Каждый станок имеет системы диагностики с отображением информации о состоянии оборудования через мобильные устройства для рабочих станочников и ремонтно-обслуживающего персонала. Данные с оборудования передаются через электронные метки, которыми снабжаются узлы станка. Все рабочие имеют носимые устройства (умные браслеты) на которые приходят уведомления в случае возникновения каких либо неполадок в работе оборудования, а также корпоративный смартфон или планшет для более подробного информирования. Более подробно о характере неполадки рабочие узнает через смартфон, в который предустановлено специализированное ПО для связи с оборудованием и информирования о его состоянии. Также предустановленные программы уведомляют работников о необходимости смены инструмента, заливки СОЖ, смене смазочного материала, фильтров и других расходных материалов. В случае незначительного характера неполадки и возможности ее самостоятельного устранения, работник выполняет это, после чего сбрасываются показания со считывающих меток. В случае более серьезных неполадок рабочий передает электронный запрос с информацией о неполадке ремонтно-обслуживающему персоналу. Устранение неполадок выполняется с широким использованием специализированных мобильных устройств для диагностики состояния оборудования, и получения информации с устройств дополненной реальности, содержащей рабочие инструкции по ремонту и наладке оборудования [2].

Работники технологического отдела при необходимости перенастройки оборудования на производство новых деталей, согласованно с наладчиками, выполняют подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ, после чего с помощью мобильных устройств передают информацию со схемами настройки и наладки оборудования на выполнение новой работы. Параллельно с этим в кладовую инструмента и приспособлений также приходит запрос на требуемый перечень режущих, измерительных инструментов и приспособлений. Данный заказ комплектуется независимо от наладчика и поступает непосредственно к рабочему месту. Наладчики после этого выполняют настройку станка на выполнение требуемой операции, а управляющие программы для станка передаются на стойку ЧПУ непосредственно от технолога через беспроводную сеть. Также на склад заготовок или полуфабрикатов поступает запрос о необходимости доставки тары с деталями к соответствующему рабочему месту. О статусе выполненной работы наладчик общается в мобильном приложении. При этом о готовности рабочего места станочник получает уведомление на носимое мобильное устройство. В результате данной подготовки рабочий получает полностью готовый для выполнения операции станок [3].

Таким образом, из данного примера видно, каким образом использование мобильных устройств и специализированных программ для них значительно ускоряет процесс технологической подготовки производства, обслуживание и ремонт оборудования механического цеха и способствует более рациональному использованию оборудования и рабочего времени.

**Список литературы:** 1. Смолин А.А., Жданов Д.Д., Потемин И.С., Меженин А.В., Богатырев В.А. Системы виртуальной, дополненной и смешанной реальности Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО. 2018. – 59 с. 2. [Архитектура облачных систем | Xelent/](https://www.xelent.ru/blog/oblachnaya-arkhitektura/) [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.xelent.ru/blog/oblachnaya-arkhitektura/> Последнее обращение - 4.05.2023 г. – Загл с экрана. 3. Коноплева И. А., Хохлова О. А., Денисов А. В. Информационные технологии; Проспект - Москва, 2014. - 328 с.

УДК 621

## МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ВЕРТИКАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННОМ СЕПАРАЦИОННОМ ДИФфуЗОРЕ

**Бараниченко В.В., Бедойдзе М.В., Ермаков А.С., Рахманов А.И., Сулименко А.С.**  
(ДГТУ, Ростов-на-Дону, Россия)

Tel: +7 (918) 8925329; E-mail: masha.bedoidze@gmail.com

**Аннотация:** Предложен альтернативный подход к описанию течения воздуха в коническом диффузоре с малым углом раствора, основанный на приближенном аналитическом решении уравнения сплошности среды. Турбулентность потока учтена приближенно. Достоверность выведенных формул доказана сравнением с конечно-элементным решением для разработанной экспериментальной установки. Результаты работы облегчают компьютерное моделирование пылевоздушных потоков.

Изучение динамики пылевоздушных смесей актуально при проектировании аспирационных систем [1]. Сложность и многофакторность процесса требует корректно выделять ведущие эффекты и связи при конструировании соответствующих математических моделей. Определить важность отдельного фактора на структуру многофазного потока позволяет грамотно спланированный эксперимент. В данной работе предлагается приближенное аналитическое описание течения в вертикально ориентированном сепарационном диффузоре (рис. 1), предназначенном для визуального наблюдения мгновенного положения частиц, масса и геометрия, которых известны.

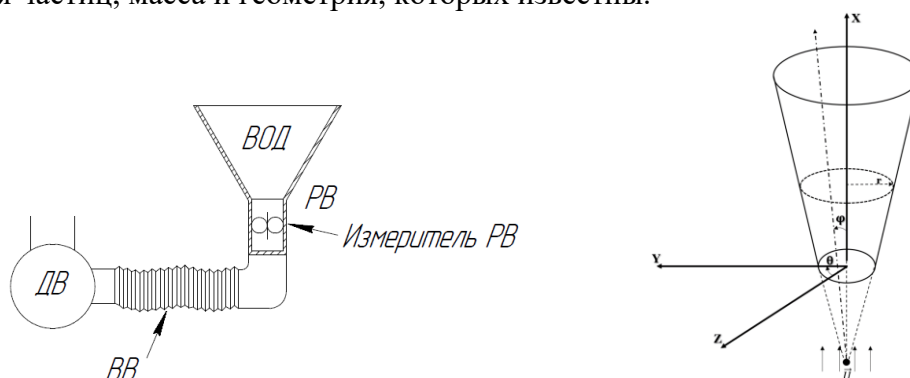


Рис. 1. Конструкция установки по разделению полидисперсных сыпучих сред.

Слева – общий вид экспериментальной установки: ВОД – вертикально ориентированный диффузор; РВ – расходомер воздуха; ВВ – воздуховод; ДВ – дутьевой вентилятор. Справа – использованные в математической модели декартова и сферическая системы координат

Удобный способ описать движение пылевоздушной смеси – комбинирование моделей сплошной среды для несущего потока и ньютоновской динамики для увлекаемых частиц. Непосредственное наблюдение левитации модельных частиц в установке рис. 1 выявило неадекватность упрощенной двумерной модели течения [2], в частности, важную, но не учтенную там роль неоднородности трехмерного скоростного поля с большими градиентами у стенок. Поэтому основным направлением исследований в данной работе является усовершенствование математического описания. Базу математической модели процесса составляют уравнения сплошности, движения и сохранения энергии:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \mathbf{U}) = 0, \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{1}{2} \nabla \rho U^2 = -\nabla p, \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{U^2}{2} + \rho \varepsilon \right) + \operatorname{div} \left( \rho \mathbf{U} \left( \frac{U^2}{2} + \omega \right) \right) = 0, \quad (3)$$

В уравнениях (1)-(3) независимыми переменными служат пространственная координата

$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$  и время  $t$ , а искомыми функциями – векторное поле скорости

$\mathbf{U} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ , а также скалярные поля давления  $P \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$  и плотности  $\rho \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ . В урав-

нении (1.3) фигурируют также дополнительные переменные  $\varepsilon \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = c \cdot T \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$  – удель-

ная внутренняя энергия воздуха,  $c = 20.8 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$  – его теплоёмкость (при постоянном

объёме),  $T \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$  – абсолютная температура;  $\omega \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \varepsilon \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \frac{P \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}}{\rho \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}}$  – локальная тепловая

функция.

Так как четыре искомые функции  $\mathbf{U} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, P \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, \rho \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, T \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$  связаны тремя уравнени-

ями (1) – (3), однозначно определить их можно, задавая дополнительную связь. Ей выступает уравнение состояния Менделеева – Клапейрона:

$$P \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \frac{\rho \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}}{\mu} R T \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}. \quad (4)$$

где  $\mu = 0.029 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$  – молярная масса воздуха,  $R = 8.31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$  – универсальная газовая постоянная.

Адаптации общей модели (1) – (4) к условиям вертикально ориентированного диффузора (далее ВОД) требует рассмотреть его конструкцию и особенности функционирования. ВОД представляет собой усеченный конус из прозрачного пластика. Ось диффузора направлена вдоль гравитационного поля Земли, а малое основание (через него поступает воздух от дутьевого вентилятора – ДВ) расположено снизу (см. рис. 1). Нагнетаемый в ВОД воздух, затормаживаясь, истекает через верхнее основание. Система осесимметрична, что сокращает число независимых пространственных переменных до двух ( $x$  – осевая и  $r$  – радиальная). Также следует учесть, что ВОД работает в стационарном режиме (значит поля скорости, давления и плотности не меняются со временем). Это обстоятельство позволяет исключить из уравнений (1) – (3) все производные по времени. Поскольку ВОД ориентирован на существенно дозвуковой режим, логично пренебречь передачей кинетической энергии в тепловую и соответствующим изменением плотности. В итоге исключается переменная  $\rho \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ , полагаемая константой и связанное с ней уравнение энергетического баланса (3).

Для удобства введем соответствие между естественной для конуса сферической системой координат и декартовой, которая обеспечивает симметричную запись уравнений

Ньютона (1) – (3). Также удобно совместить начало обеих систем в вершине усеченного конуса, линейную ось сферической системы выбрать сонаправленной оси абсцисс декартовой системы (далее ДСК), ось ординат ДСК направить как показано на рис. 1, а ось аппликат таким образом, чтобы образовалась правая тройка векторов  $Ox, Oy, Oz$ .

В выбранной удобной системе координат направления широтного  $\varphi$  и азимутального  $\theta$  углов отсчитываются от  $x$  к  $y$  в плоскости  $xOy$  и от  $y$  к  $z$  в плоскости  $yOz$ , соответственно.

Получается, что координаты каждой точки можно выразить двояко – как  $\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ ,

либо как  $\begin{pmatrix} R \\ \varphi \\ \theta \end{pmatrix}$ , а между наборами координатных переменных существует связь  $\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \leftrightarrow$

$\begin{pmatrix} R \\ \varphi \\ \theta \end{pmatrix}$  (см. рис. 1):

$$\begin{aligned} x &= R \cdot \cos \varphi, \\ y &= R \cdot \sin \varphi \sin \theta, \\ z &= R \cdot \sin \varphi \cos \theta. \end{aligned} \quad (5)$$

Обратным к такому преобразованию координат служит:

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \\ \varphi &= \arcsin\left(\frac{\sqrt{z^2 + y^2}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}\right), \\ \theta &= \begin{cases} \arctg \frac{y}{z}, z > 0 \\ \pi + \arctg \frac{y}{z}, z < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

Вырезаемая конусом часть пространства задается границами, достижение которых пылевыми частицами сопровождается перечисленными физическими актами:

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 + z^2 &\leq R_{min}^2 - \text{проваливание вниз,} \\ x^2 + y^2 + z^2 &\geq R_{max}^2 - \text{вылет вверх,} \\ \arcsin \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} &\geq \varphi_{max} - \text{удар в боковую стенку.} \end{aligned} \quad (7)$$

Учитывая, что на входе в диффузор при  $R = R_{min}$  скорость потока максимальна и характеризуется величиной  $|U_{max}|$ , из условия несжимаемости газа получаем результирующее распределение осредненной скорости  $U(x, y, z)$ :

$$\begin{aligned} U(x, y, z) &= |U(R_{min})| \cdot \frac{R_{min}^2}{x^2 + y^2 + z^2} \cdot \left( 1 + \frac{2}{2 + 8 \cdot e^{-\frac{2222}{Re(\sqrt{x^2 + y^2 + z^2})}}} \right) \cdot \\ &\cdot \left( 1 - \frac{\left( \arcsin \left( \frac{\sqrt{y^2 + z^2}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \right) \right)}{\varphi_{max}} \right)^{2 + 8 \cdot e^{-\frac{2222}{Re(\sqrt{x^2 + y^2 + z^2})}}} \end{aligned}$$

$$\cdot \begin{pmatrix} \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}} \\ \frac{\sqrt{z^2+y^2}}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}} \sin \begin{cases} \arctg \frac{y}{z}, z > 0 \\ \pi + \arctg \frac{y}{z}, z < 0 \end{cases} \\ \frac{\sqrt{z^2+y^2}}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}} \cdot \cos \begin{cases} \arctg \frac{y}{z}, z > 0 \\ \pi + \arctg \frac{y}{z}, z < 0 \end{cases} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Турбулентность течения в нашей математической модели предлагается учесть путем добавки случайной составляющей ежемоментно в каждой точке. Величину такой случайной составляющей предполагается подобрать, чтобы удовлетворять условиям параллельно выполняемого физического эксперимента, с одной стороны, и увязывая со значением локального числа **Re**, с другой.

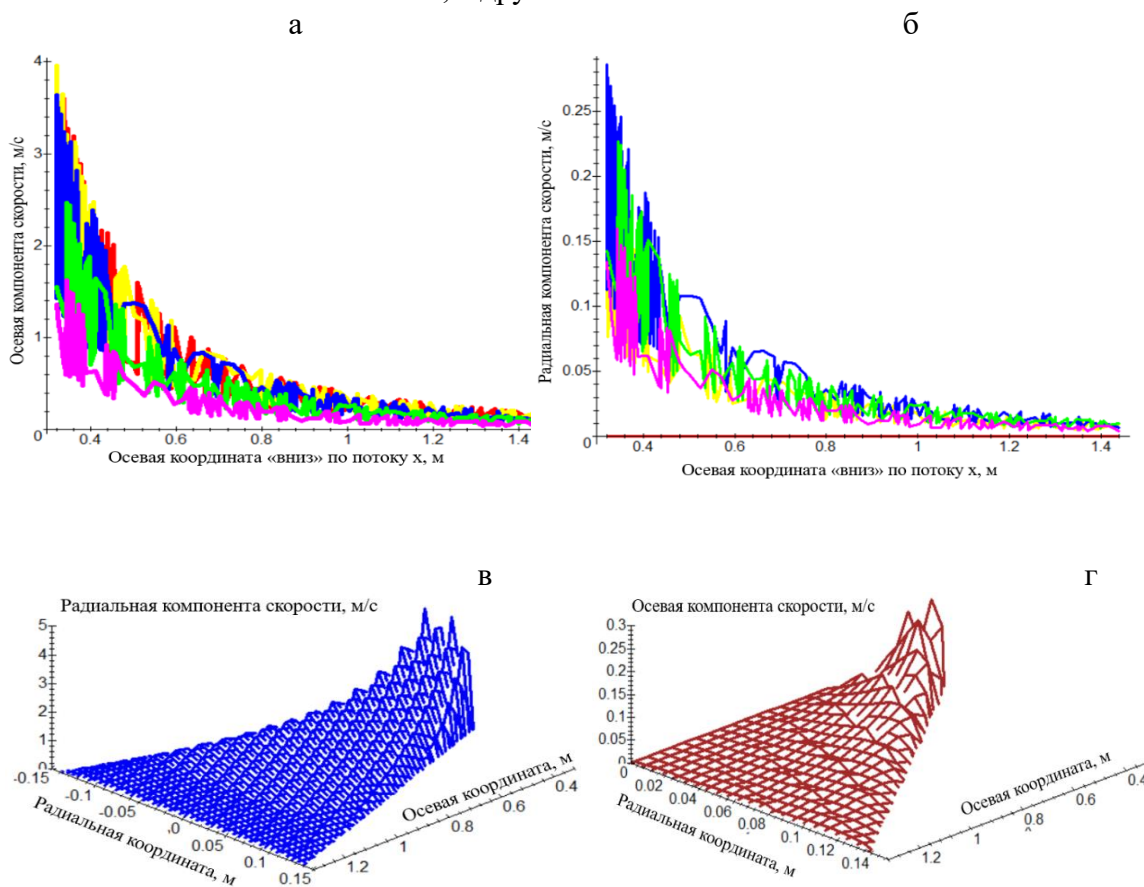


Рис. 2. Распределение осевой (а, в) и радиальной (б, г) компонент скорости вдоль оси диффузора: реальная вязкость, турбулентность учтена, отдельные линии соответствуют удаленности от оси  $\varphi$ :  $\varphi = 0$  (осевая линия) – красная кривая;  $\varphi = \frac{\varphi_{max}}{2}$  – желтая;  $\varphi = \frac{3 \cdot \varphi_{max}}{4}$  – синяя;  $\varphi = \frac{7 \cdot \varphi_{max}}{7}$  – зеленая;  $\varphi = \frac{15 \cdot \varphi_{max}}{16}$  – фиолетовая

Для проверки аналитического решения (8) применительно к параметрам лабораторной установки, отображенного на рис. 2, в среде ANSYS создана 3D-модель и сгенерирована расчетная сетка согласно рис. 3. Полученное в результате численного конечно-элементного интегрирования уравнений (1) – (3) поле скоростей  $U(x, y, z)$  показано на

рис. 4. Сопоставление данных рис. 2 и рис. 4 свидетельствует о надежности выведенной в данной работе приближенной формулы (8). Ее преимуществом перед численным решением рис. 4 является легкая «встраиваемость» в комбинированную Эйлер – Ньютоновскую модель движения пылевоздушной смеси.

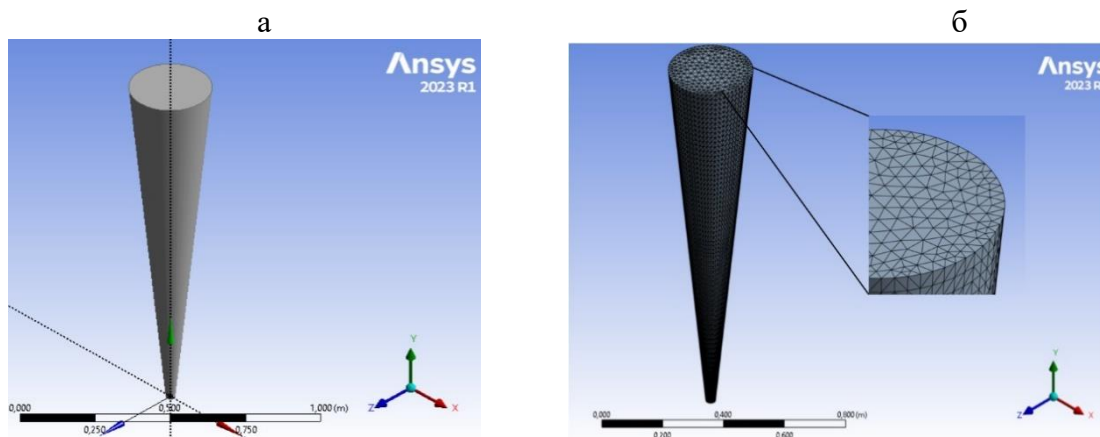


Рис. 3. 3D-модель (а) и конечно-элементная дискретизация полости (б) ВОД в Ansys

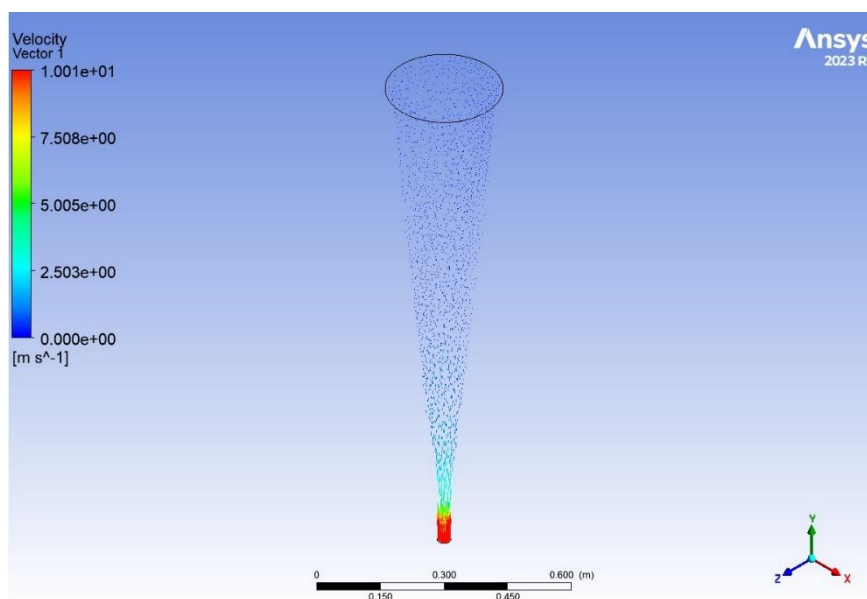


Рис. 4. Результаты компьютерной имитации течения в диффузоре средствами Ansys. Условия расчета: длина усеченного конуса – 1300 мм; внешний диаметр 306 мм; течение турбулентное

Если считать пылевые частицы (из вещества плотности  $\rho$ ) имеющими форму близкую к правильной и характеризуемую линейными размерами  $a$ ,  $b$  и  $c$ , можно составить уравнение их движения в воздушном потоке. Будем считать объем частиц равным  $V =$



$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \cdot \mathbf{c}$ , а площадь граней  $S = \begin{cases} \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \\ \mathbf{b} \cdot \mathbf{c} \\ \mathbf{c} \cdot \mathbf{a} \end{cases}$ . Попад в гравитационное поле, характеризуемое вектором  $\mathbf{g}$ , и одновременно в поток воздуха с полем скорости  $\mathbf{U}(\mathbf{K}(t))$ , частица увлекается потоком согласно закону Ньютона. Здесь использовано обозначение  $\mathbf{K}(t) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}(t)$  для мгновенного положения частицы. В рамках выбранной модели математическая формулировка уравнения Ньютонской динамики для каждой отдельной частицы дается векторным дифференциальным уравнением второго порядка:

$$\frac{d^2\mathbf{K}(t)}{dt^2} = -\mathbf{g} - \frac{\varepsilon_1}{\rho(\mathbf{a}\cdot\mathbf{b}\cdot\mathbf{c})^{\frac{1}{3}}} \left[ \mathbf{1} + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \cdot \left| \frac{d\mathbf{K}(t)}{dt} - \mathbf{U}(\mathbf{K}(t)) \right| \right] \cdot \left( \frac{d\mathbf{K}(t)}{dt} - \mathbf{U}(\mathbf{K}(t)) \right). \quad (9)$$

Численное интегрирование (9) не сопряжено с принципиальными трудностями и ограничивается лишь числом одновременно рассматриваемых объектов. Опыт работы с 2D-моделью [2] показал, что интерпретирующие системы типа Python позволяют изучать динамику максимум двух десятков частиц. Соответственно внесенное здесь уточнение модели потока повысит реалистичность имитации, но потребует использовать компиляторы типа Fortran.

**Заключение.** Предложена и успешно протестирована математическая модель течения воздуха в ВОД. Модель учитывает погранслои и турбулентность. Выражаемая явными аналитическими зависимостями, она удобна для встраивания в программные комплексы.

**Список литературы:** 1. Orme M., Leksmono N. Ventilation Modeling Data Guide. Document AIC-GUI 05. ISBN 2 9600355 2 6. 2002. 80 p. 2. Азимова Н.Н., Бараниченко В.В., Бедоидзе М.В., Ермаков А.С., Цымбалов Д.С. Компьютерная программа «Имитационное моделирование 2D-динамики пылевоздушной смеси в вертикально ориентированном диффузоре» / Св-во о регистрации эл. ресурса №25090 ОФЭРНиО. 27.12.22. 3. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. — М.-Л., Гостехиздат, 1950. — 676 с. 4. Басс В. П. Молекулярная газовая динамика и её приложения в ракетно-космической технике. — К.: Наукова думка, 2008. — 272 с. ISBN 978-966-00-0746- 8. 5. Приходько А. А. Компьютерные технологии в аэродинамике и теплообмене.— К.: Наукова Думка, 2003. — 379 с. ISBN 966-00-0047-2. 6. Нигматулин Р. И. Основы механики гетерогенных сред. — М.: Наука, 1978. — 336 с. 7 Rosin P., Rammler E. The Laws Governing the Fineness of Powdered Coal // Journal of the Institute of Fuel. 1933. V. 7. С. 29–36. 8. Seo Hyukki, Hwang Kyeongmo, Choi Cheongyeol. Ansys fluent user's guide. URL: fluid.tuwien.ac.at/322057?action=AttachFile&do=get&target=flu\_ug.pdf. 9. Matsson Ph.D., P.E., John E. An Introduction to ANSYS Fluent 2022 // SDC Publications, 2022. 688 с. – ISBN 978-1-63057-569-4. 10. Lee Huei-Huang. Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 2020 // Taylor&Francis, 2021. 600 с. – ISBN 978-1-63057-456-7. 11. Лаптев А.Г., Фарахов М.И. Разделение гетерогенных систем в насадочных аппаратах. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2006. 342с. – ISBN 5-89-873-186-5. 12. Qian Jing, Tavakoli Behtash, Goldasteh Iman, Ahmadi Goodarz, Ferro Andrea. Building removal of particulate pollutant plume during outdoor resuspension event // Building and Environment. 2014. №75. С. 161-169.

## ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ ФАЗО-АМПЛИТУДНО-ЧАСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШУМА НА ЛЕСОПИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРИ ПОМОЩИ ПК

Бедоидзе М.В., Рахманов А.И., Сулименко А.С., Харахашьян А.М.

(ДГТУ, Ростов-на-Дону, Россия)

Tel: +7 (918) 8925329; E-mail: masha.bedoidze@gmail.com

**Аннотация:** Предложена и успешно апробирована новая методика определения шумового поля в зоне работы лесопильного оборудования. Применены эффективные алгоритмы детальной квантификации шумового спектра, реализованные в форме программного продукта для ПК. Разработка открывает новые возможности экспресс-анализа шумовой обстановки на различных производствах.

**Ключевые слова:** шумообразование, шумовое поле, расчет зашумленности, идентификация шумового спектра, технологический процесс, математическая модель, нейросеть.

Шумовое поле в рабочей зоне деревообрабатывающего, в частности, пильного оборудования не только выступает фактором вредности производственной среды, но также служит важным индикатором состояния станков, режущего инструмента и напряженности технологического процесса [1]. Совокупность перечисленных обстоятельств обуславливает актуальность оперативной детальной диагностики шумовой обстановки с автоматизированной идентификацией критичных факторов и показателей (чрезмерный износ режущих кромок, недопустимая зашумленность в рабочей зоне станочника и др.). Поэтому целью данного исследования ставится выработка новых ужесточенных требований к методикам расчета шумности вновь производимого оборудования на основе анализа их способности адекватно прогнозировать эту характеристику. Для достижения этой цели авторам необходимо было решить ряд задач, главные из которых следующие: 1) разработать подробную математическую модель шумообразования при распиле древесины циркулярной пилой; 2) создать специализированный программный продукт, позволяющий идентифицировать шумовой спектр в рабочей зоне пильщиков при помощи ПК; 3) выполнить сопоставление расчетных и экспериментальных шумовых спектров; 4) сконструировать и обучить нейросеть в целях оперативной диагностики шумовой обстановки; 5) исследовать аналитические возможности специализированной нейросети и 6) сформулировать основные требования к детальности математической модели шумообразования.

Общей моделью свободных колебаний пильного диска является следующая [2]:

$$\frac{\partial^2 F(r, \varphi, t)}{\partial t^2} + \varepsilon \frac{\partial F(r, \varphi, t)}{\partial t} + \frac{\varepsilon^2}{4} F(r, \varphi, t) + \frac{D}{\rho h} \left[ \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right]^2 F(r, \varphi, t) = 0 \quad (1)$$

где  $F(r, \varphi, t)$  – смещение пластины;  $\varepsilon$  – коэффициент затухания;  $r$  – расстояние от центра ( $0 \leq r \leq R$ );  $\varphi$  – угол, отсчитываемый от положения равновесия ( $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ );  $\rho$  – плотность материала (в нашем случае стали);  $t$  – время.  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$  – цилиндрическая жёсткость; где  $E$  – модуль Юнга;  $h$  – толщина пластины;  $\mu \approx 0.25 \div 0.3$  – коэффициент Пуассона.

После замены переменных

$$F(r, \varphi, t) = G(r, \varphi, t)e^{-\frac{\varepsilon}{2}t} \quad (2)$$

получаем:

$$\frac{\partial^2 G(r, \varphi, t)}{\partial t^2} + \frac{Eh^2}{12\rho(1-\mu^2)} \left[ \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right]^2 G(r, \varphi, t) = 0. \quad (3)$$

Оценка параметров колебания диска показывает, что величина  $\varepsilon$  мала и

$$F(r, \varphi, t) = G(r, \varphi, t) \quad (4)$$

Модель (3) отвечает свободным колебаниям пильного диска, а описание процесса резания требует добавить источник  $f(r, t)$  ударного возбуждения со стороны режущей поверхности (зубьев).

Общее решение уравнения (3) представимо  $G(r, \varphi, t)$  в виде:

$$G(r, \varphi, t) = \mathbb{R}(r) \cdot \Phi(\varphi) \cdot T(t). \quad (5)$$

В работе [2] показано, что общее решение для координатной функции имеет вид:

$$\mathbb{R}(r) = \sum_{n=0}^{\infty} \mathbb{R}_n(r), \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} \mathbb{R}_n(r) = \mathbb{R}_n^+(r) + \mathbb{R}_n^-(r) = & C_{1n} I_n \left( \sqrt{\frac{12\rho(1-\mu^2)}{Eh^2}} \cdot \sqrt{\omega} \cdot r \right) + \\ & + C_{2n} J_n \left( \sqrt{\frac{12\rho(1-\mu^2)}{Eh^2}} \cdot \sqrt{\omega} \cdot r \right) \end{aligned} \quad (7)$$

В формуле (10)  $J_n(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \cos(x - \frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{2}n)$  – функция Бесселя первого рода;

$I_n(x) \sim \frac{e^x}{\sqrt{2\pi x}}$  – функция Инфельда [3].

Рассматривая установившийся режим в форме

$$f(r) = \delta(r - R), \quad (8)$$

получаем частное решение

$$G(r, t) = \frac{1}{4\pi^2} \left[ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mathbb{R}_n(R)}{\omega_n^2 - \omega^2} \right] e^{-2\pi i \omega t}. \quad (9)$$

где  $\omega$  – частота ударного воздействия на зубья.

При возмущении (8) спектр технологического шума описывается зависимостью

$$\left( \frac{\mathbb{R}_n(R)}{\omega_n^2 - \omega^2} \right)^2 (\omega_n). \quad (10)$$

Если привязаться к типичным параметрам оборудования и процесса

$$R \approx 0.7\text{М}, h \approx 2\text{ММ}, E = 200 \cdot 10^9 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{М}^2 \cdot \text{с}^2}, \rho = 7800 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}, \mu = 0.25$$

$$\omega = \frac{\lambda^2}{R^2} \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1-\mu^2)}} = \sqrt{\frac{E}{12\rho(1-\mu^2)}} \frac{h\lambda^2}{R^2} = \left\{ \begin{array}{l} R \approx 0.7\text{М} \\ h \approx 2\text{ММ} \\ E = 200 \cdot 10^9 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{М}^2 \cdot \text{с}^2} \\ \rho = 7800 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \\ \mu = 0.25 \end{array} \right\} =$$

$$\sqrt{\frac{200 \cdot 10^9 \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{М}^2 \cdot \text{с}^2}}{12 \cdot 7800 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} (1-0.25^2)}} \cdot \frac{0.002}{0.7} \lambda^2, \quad (11)$$

$$\omega_0 \approx 4,3 \frac{1}{\text{с}} = 2\pi f_0 \quad f_0 = \frac{4,3}{2\pi} = 0,69\text{Гц}$$

и ограничиться нормируемым СанПиН диапазоном частот получаем:  $31,25 \text{ Гц} \leq f < 8000 \text{ Гц}$ ,  $31,25 \text{ Гц} \leq f_0 \lambda^2 < 8000 \text{ Гц}$ ,  $43 \leq \lambda^2 < 11600 \Rightarrow 6,5 < \lambda < 108$ . Т.е. практически достаточно ограничиться учетом сотни радиальных колебательных мод.

Вторая задача решалась путем регистрации производственного шума посредством микрофона, соединенного с ПК. Записанный wav-файл обрабатывался быстрым Фурье-преобразованием (БПФ) [4]. В исследовательских целях фиксировался шум шести режимов: холостой ход, а также пиление брусьев размерами  $25 \times 25 \text{ мм}$  и  $50 \times 50 \text{ мм}$  при частоте вращения вала 1500 и 3000 мин-1. Использование в анализе холостого хода позволяет принципиально исключить из рассмотрения шум, обусловленный электроприводом.

Сопоставление результатов компьютерного моделирования и экспериментальной фиксации шумового спектра [5] для типичного режима пиления приводится на рис. 1. Представленные данные свидетельствуют о хорошем согласии модели с фактическими данными (низкочастотная часть спектра обусловлена шумом электродвигателя). Кроме того, опытным путем установлена стационарность шумового спектра, о чем свидетельствует мел-спектрограмма на рис. 2.

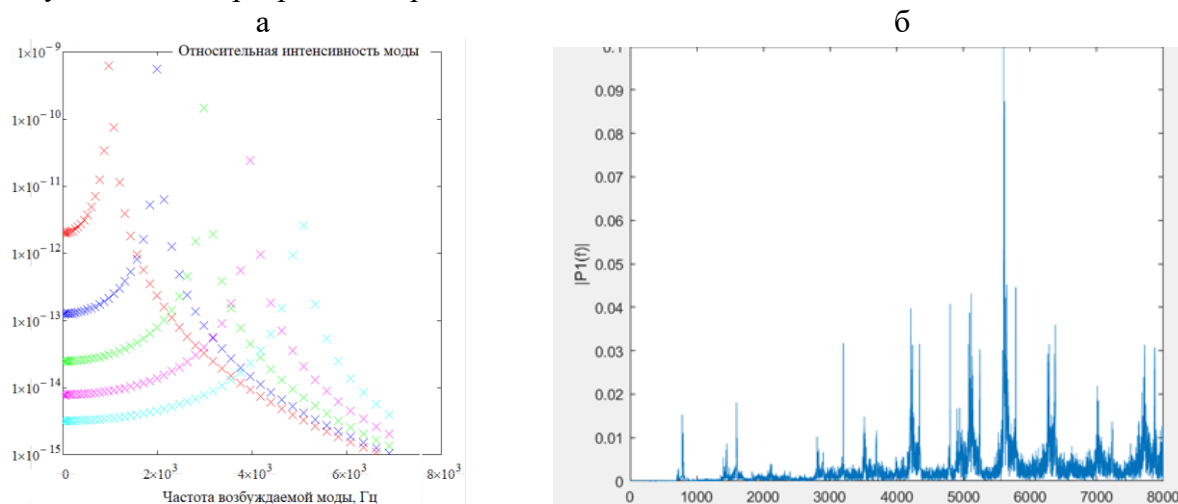


Рис. 1. Синтетический (а) и реальный (б) спектры шума циркулярной пилы. Синтетические спектры соответствуют частоте возбуждения  $\omega = 1000, 2000, \dots, 5000 \text{ Гц}$ . Реальный спектр отвечает пилению рейки толщиной 5 см при частоте вращения 1500 мин-1

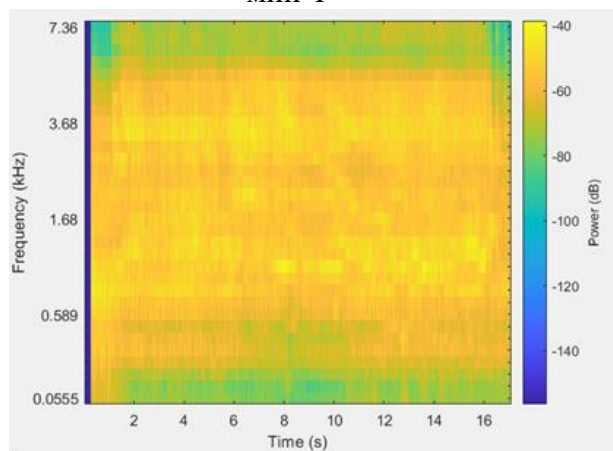


Рис. 2. Мел-спектрограммы пиления рейки толщиной 5 см при частоте вращения 1500 мин-1

Результаты соответствующего компьютерного моделирования при возбуждающей частоте  $\omega = 1000, 2000, \dots, 5000$  Гц показаны на рис. 1. Как свидетельствуют результаты расчетов, спектр технологического шума в данном случае является сравнительно узкополосным и определяется частотой ударного воздействия на диск пилы.

Чтобы автоматизировать диагностику шумовой обстановки на рабочих местах пильщиков в данной работе сконструирована нейросеть, структура которой показана на рис. 3.

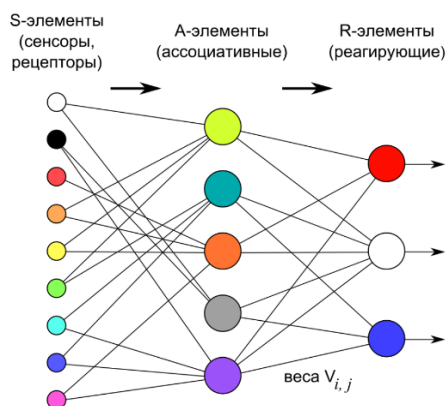


Рис. 3. Выбранная конфигурация нейросети

Для обучения нейросети использовались 18 аудиозаписей распила реек размерами  $25 \times 25$  мм и  $50 \times 50$  мм, а также холостого хода на двух скоростях. Для проверки качества ее работы предъявлялись еще 12 подобных аудиозаписей. «Обучаемость» и точность работы нейросети проиллюстрированы на рис. 4. Приведенные данные свидетельствуют, что выбранная длина обучающей выборки является достаточной. Это обусловлено практической стационарностью шума как случайного процесса (см. рис. 2).

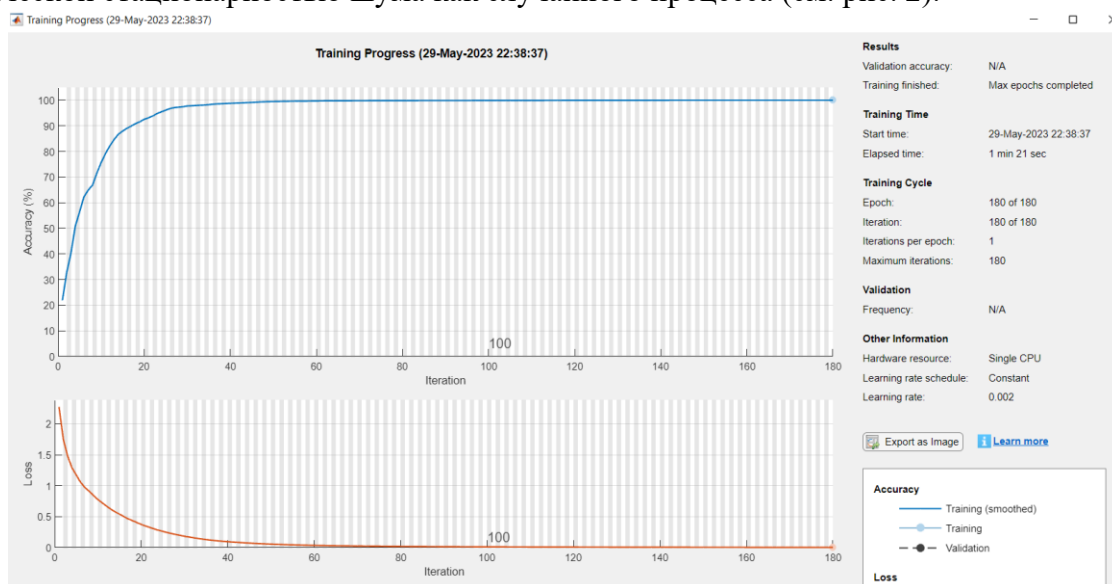


Рис. 4. Динамика обучаемость нейронной сети

Неизбежные ошибки распознавания нейросетью отражены на рис. 5. Их природа, вероятно, в том, что данный технологический шум не истинно, а квазистационарен. Количественно оценить погрешность автоматизированной идентификации шума нейросетью

позволяют данные, собранные в таблице. Очевидно, ошибочность ее работы напрямую связана с мерой нестационарности анализируемого шума.

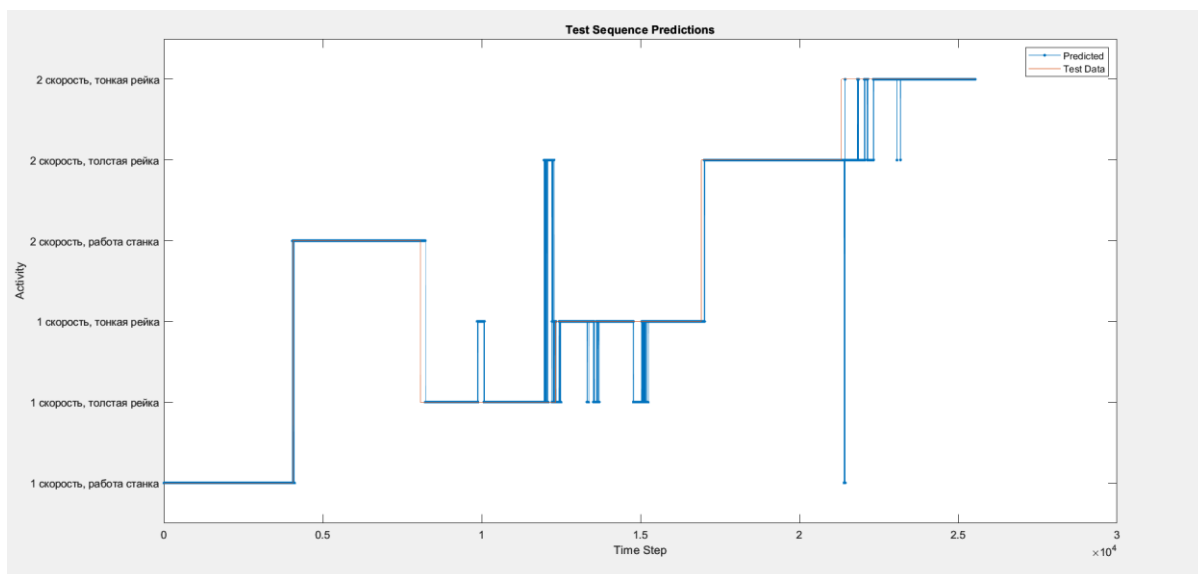


Рис. 5. Ошибки в работе нейросети

Таблица 1. Числовая оценка надежности нейросетевой идентификации технологического шума при распиле древесины

True Class \ Predicted Class	1 скорость, работа станка	1 скорость, толстая рейка	1 скорость, тонкая рейка	2 скорость, работа станка	2 скорость, толстая рейка	2 скорость, тонкая рейка
1 скорость, работа станка	4041			19		
1 скорость, толстая рейка		3601	275	159	225	
1 скорость, тонкая рейка		574	4011			
2 скорость, работа станка	30			3880		
2 скорость, толстая рейка			97		4313	
2 скорость, тонкая рейка	7				901	3302

**Заключение.** Разработана математическая модель шумообразования во время пиления древесины циркулярной пилой. Создан специализированный программный продукт, позволяющий идентифицировать шумовой спектр в рабочей зоне пыльников при помощи ПК. Выполнено сопоставление расчетных и экспериментальных шумовых спектров. Сконструирована и обучена нейросеть в целях оперативной диагностики шумовой обстановки. Исследованы аналитические возможности специализированной нейросети: установлено, что благодаря специфике изучаемого технологического шума обучающие

выборки могут быть достаточно компактными. Также выяснилось, что предложенная математическая модель шумности лесопильного процесса (циркулярным инструментом) достаточно подробна и может использоваться как надежный информационный элемент соответствующего цифрового двойника.

**Список литературы:** 1. СН2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы СН от 31.10.1996 п. 2.2.4/2.1.8.562-96. 2. Старжинский В.Н., Завьялов А.Ю., Совина С.В. Теоретические положения излучения шума пильным диском при резании древесины // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – С. 50. 3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – 13-е изд., исправленное. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с. 4. В.П. Кандидов, С.С. Чесноков, С. А. Шленов. Дискретное преобразование Фурье. Учебное пособие. – Москва: физический факультет МГУ, 2019. – 88 с. 5. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций. 2 изд. БХВ-Петербург, 2012 г. – 768 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АБРАЗИВНЫХ ЗЁРЕН СУСПЕНЗИИ С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЕТАЛИ ПРИ ЕЁ ДОВОДКЕ

Бутенко В.И., Рубан Н.Н. (кафедра ТМ ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

**Аннотация.** Получены аналитические выражения для определения параметров шероховатости поверхностей деталей машин, подвергнутых абразивной доводке, в зависимости от характеристик используемого в суспензии абразивного материала.

**Ключевые слова:** абразивная доводка, детали машин, поверхность, абразивные зёрна, шлам, суспензия, параметры шероховатости.

### 1. Введение

Основной целью абразивной доводки поверхностей деталей машин является обеспечение заданных параметров качества обработанных поверхностей и, в первую очередь, микронеровностей в результате воздействия на них абразивных зёрен. Знание закономерностей влияния абразивных зёрен в суспензии, подаваемой в зону обработки, на качественные показатели поверхностей деталей в процессе их доводки позволит обоснованно назначать состав абразивной суспензии с учётом зернистости используемого абразивного материала.

Механизм взаимодействия абразивных зёрен, находящихся в подаваемой в зону обработки суспензии, с обрабатываемой поверхностью детали при её доводке в настоящее время практически не изучен, так как он сложный и обусловлен многими независимыми факторами. Однако практика применения абразивной доводки поверхностей деталей машин в качестве финишной операции показывает, что вероятностные характеристики формирующегося профиля микронеровностей обработанной поверхности зависят от распределения уровней впадин профиля на принятой базовой длине.

### 2. Основное содержание и результаты работы

На рис. 1 представлена схема формирования единичным зерном профиля поверхности детали, образующегося в процессе её абразивной доводки, из которой следует, что ширина образующейся канавки  $b$  находится на уровне  $X_k$ , вершина которой находится на расстоянии  $h$  от уровня  $X_0$ , определяющего положение впадин исходной поверхности. Пусть вершины абразивных зёрен, участвующих в обработке поверхности детали, распределяются по нормальному закону с математическим ожиданием  $m_a = -3\sigma_p + 3\sigma_a$ , где  $\sigma_p$  – среднее квадратичное отклонение расстояний между зёрнами абразивной суспензии, находящимися на обрабатываемой поверхности;  $\sigma_a$  – среднее квадратичное отклонение размеров зёрен, участвующих в формировании профиля поверхности. Тогда плотность распределения вершин режущих зёрен радиуса  $r$  может быть описана следующими формулами [1]:

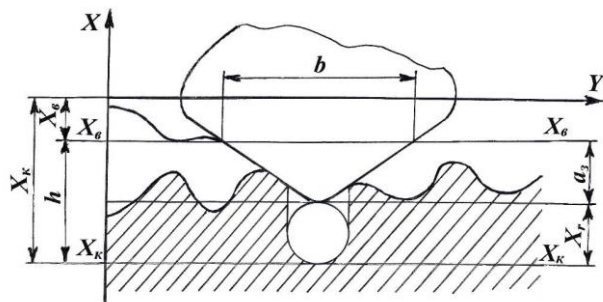


Рис. 1. Схема формирования единичным зерном профиля поверхности детали в процессе её абразивной доводки



$$f(x/r) = B_1 \cdot \exp \left[ \frac{-(X_k + 3\sigma_a - 3\sigma_p)^2}{2\sigma_a^2} \right], \quad \text{если } -3\sigma_p \leq x < X_r; \quad (1)$$

$$f(x/r) = B_2 \cdot \frac{1}{2r} \int_{X_k}^{X_k+2r} f_a(X) dX_r, \quad \text{если } X_r < x \leq 3\sigma_p, \quad (2)$$

где  $x$  – текущая координата вершины единичного абразивного зерна.

В формулах (1) и (2) величины  $B$ ,  $B_2$ ,  $X_r$  зависят от зернистости и концентрации абразивных зёрен в суспензии и определяются по номограмме, представленной на рис. 2. Функция распределения  $f_a(X)$  принимается в зависимости от принятой модели образования микронеровностей на поверхности детали при её взаимодействии с абразивным зерном [1].

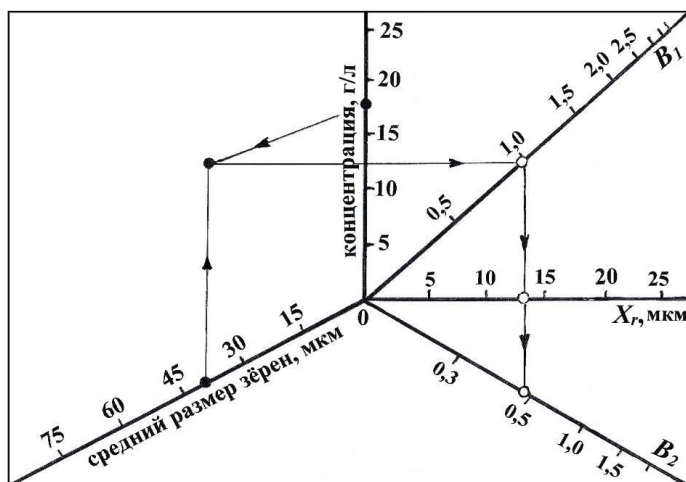


Рис.2. Номограмма определения величин  $B$ ,  $B_2$ ,  $X_r$  в формулах (1) и (2)

Формулы (1) и (2) могут быть использованы случае, когда абразивная суспензия является абсолютно чистой. Однако в зоне контакта притира с обрабатываемой поверхностью в абразивную суспензию попадают частицы срезанного металла в виде шлама, происходит столкновение абразивных частиц между собою. В общее число режущих абразивных зёрен суспензии  $N_0$  входят зёрна с радиусами режущей кромки от  $r_{min}$  до  $r_{max}$ . Очевидно, что чем ниже коэффициент трения в зоне обработки  $f_{mp}$ , тем меньшее количество зёрен из их общего числа  $N_0$  процарапает обрабатываемую поверхность детали и тем меньше будет глубина канавки  $h$ , определяющая параметр шероховатости  $Ra$  [2]. Следовательно, при  $f_{mp} = 1$  в формировании микропрофиля поверхности детали примут участие все абразивные зёрна с радиусами режущей кромки от  $r_{min}$  до  $r_{max}$ . При некотором текущем значении коэффициента трения  $f_{mp} < 1$  в процессе формирования микропрофиля поверхности детали будут принимать участие абразивные зёрна в количестве  $N(r)$ , определяемом по формуле

$$N(r) = N_0 \cdot (1 - f_{mp}) \int_{r_{min}}^{r_{max}} f(r) dr, \quad (3)$$

где  $f(r)$  – функция распределения радиусов режущих кромок абразивных зёрен  $r$  в суспензии.

Остальные абразивные зёрна суспензии будут либо проскальзывать, либо вдавливаясь в материал обрабатываемой поверхности детали без снятия с неё микростружки.

Если через  $P(x < X_k < x + \Delta x/r)$  обозначить вероятность того, что  $x < X_k < x + \Delta x$  при радиусе режущего контура зерна  $r$ , то справедливо следующее выражение:

$$P(x < X_k < x + \Delta x/r) = q(r) \cdot P(x < h < x + \Delta x/r) + \int_0^{r_{\max}} P_{cm}(r, r_1) \cdot P(x < h - 2r_1 < x + \Delta x/r) dr_1, \quad (4)$$

где  $P_{cm}(r, r_1)$  – вероятность столкновения единичного абразивного зерна радиусом режущего контура  $r$  с какой-нибудь абразивной частицей, имеющей радиус режущего контура  $r_1$ ;  $q(r)$  – вероятность того, что единичное абразивное зерно радиусом режущего контура абразивного зерна  $r$  не столкнётся с частицами шлама;  $r_{\max}$  – максимальный размер радиуса режущего контура единичного абразивного зерна.

Вероятность столкновения абразивных частиц в суспензии между собой и частицами шлама может быть найдена по формуле [1]

$$P_{cm}(r, r_1) = \int_{X_\epsilon}^{3\sigma_a} f(h/r) \int_h^{3\sigma_a} f(X_\epsilon) \cdot P_{cm}(r, r_1/h, X_\epsilon) dX_\epsilon dh, \quad (5)$$

где  $P(r, r_1/h, X_\epsilon)$  есть вероятность  $P_{cm}(r, r_1)$ , вычисленная при условии, что уровень вершины единичного абразивного зерна равен  $h$  и находится на заданном уровне  $X_\epsilon$  (рис. 1).

Если допустить, что с единичным абразивным зерном, имеющим радиус режущего контура  $r$  могут сталкиваться только те абразивные зёрна и частицы шлама, которые будут находиться в слое суспензии между притиром и обрабатываемой поверхностью толщиной  $X_\epsilon - h + r_1$ , то вероятность их столкновения, входящая в формулу (5), определится выражением

$$P_{cm}(r, R/h, X_\epsilon) = \lim N_{ш} \frac{W}{W_c} \text{ при } \Delta r \rightarrow 0, \quad (6)$$

где  $R$  – размер частицы шлама, находящейся в абразивной суспензии в зоне обработки;  $N_{ш}$  – число частиц шлама, находящихся в слое суспензии между притиром и обрабатываемой поверхностью детали;  $W$  – площадь выступающей части единичного абразивного зерна;  $W_c$  – площадь слоя суспензии между притиром и обрабатываемой поверхностью детали:  $W_c = l(X_\epsilon - h + R)$ , здесь  $l$  – базовая длина контакта притира с обрабатываемой поверхностью детали.

В работе [1] показано, что отношение ширины канавки  $b$ , процарапанной единичным абразивным зерном, слабо зависит от размера самого зерна, в связи с чем её величина принимается равной  $b = 3,8a_3$ , где  $a_3$  – глубина процарапанной канавки (рис. 1). Из рис. 1 также следует, что  $a_3 = h - X_r$ . Тогда ширина канавки  $b = 3,8(h - X_r)$ , а площадь профиля выступающей части единичного абразивного зерна  $W = 1/2a_3 \cdot b$ , т.е.

$$\frac{W}{W_c} = \frac{1,9(h - X_r)^2}{l(X_\epsilon - h + R)}. \quad (7)$$

Число частиц шлама, находящихся в слое суспензии между притиром и обрабатываемой поверхностью детали  $N_{ш}$  на базовой длине  $l$ , может быть определено по формуле

$$N_{ш} = N(r) \cdot l \frac{\omega R \pm V_n}{V_n} \sqrt{2R \cdot t - t^2} (X_\epsilon - h + R) f_{ш}(R) \Delta R, \quad (8)$$

где  $\omega$  – концентрация частиц шлама в абразивной суспензии;  $\omega = 2V_n/R$ ;  $t$  – толщина слоя суспензии между рабочей поверхностью притира и деталью;  $V_n$  – скорость подачи суспензии в зону обработки; при совпадении направления подачи абразивной суспензии с направлением перемещения притира (обрабатываемой детали) принимается «+», при несовпадении направлений – «-»;  $f_{ш}(R)$  – закон распределения размеров частиц шлама в абразивной суспензии;  $\Delta R$  – допустимый предел изменения радиусов частиц шлама.

Если в формулу (6) подставить зависимости (7) и (8), то после преобразования получится следующее выражение для определения вероятности столкновения абразивных частиц с частицами шлама в слое суспензии между притиром и поверхностью детали:

$$P_{cm}(r, R/h, X_e) = 1,9N(r) \cdot \frac{\omega R \pm V_n}{V_n} \sqrt{2R \cdot t - t^2} (X_e - h)^2 f_u(R). \quad (9)$$

Окончательно формула (9) определения вероятности столкновения абразивных частиц в суспензии между собой и частицами шлама примет следующий вид:

$$P_{cm}(r, r_1, R) = 1,9N(r) \cdot \frac{\omega R \pm V_n}{V_n} f(R) \int_{-3\sigma_a}^{3\sigma_a} f(h/r) \int_h^{3\sigma_a} f(X_e) (X_e - h)^2 dX_e dh. \quad (10)$$

Формула (10) позволяет провести аналитическое исследование влияния абразивных частиц и шлама в суспензии на образование микронеровностей в процессе абразивной доводки поверхностей деталей. Пусть на уровне от  $h$  до  $h + \Delta h$  находятся  $N(r) \cdot W \cdot f_i(h) \Delta h$  абразивных зёрен, которые принимают участие в формировании профиля обрабатываемой поверхности детали, где значения величин  $N(r)$  и  $W$  принимаются на базовой длине  $l$ . Суммарная ширина впадин  $\Sigma b(x)$  при ширине канавки, образованной единичным зерном, равной  $b = 3,8a_3$ , на уровне от  $h$  до  $\Delta h$  составит [1]

$$\Sigma b(x) = 3,8N(r) \cdot s \int_{-3\sigma_a}^x (x-h)f(h)dh, \quad (11)$$

где  $s$  – площадь части рабочей поверхности притира, принимающей участие в формировании профиля обработанной поверхности детали на базовой длине  $l$ .

Формула (11) позволяет количественно представить параметр шероховатости обработанной поверхности детали выражением

$$Ra = \frac{2}{l} \int_{X_{min}}^{X_{cp}} \Sigma b(x) dx, \quad (12)$$

где  $X_{min}$  и  $X_{cp}$  – соответственно минимальный и средний уровни профиля обработанной поверхности детали;  $X_{cp} = (X_k - a_3 + m_a)/2$ .

Учитывая формулы (11) и (12), параметр шероховатости обработанной поверхности детали  $Ra$  может быть представлен следующей зависимостью:

$$Ra = \frac{7,8N(r) \cdot s}{l} \int_{-3\sigma_a}^{X_{cp}} (X_{cp} - h) dx \int_{-3\sigma_a}^x (x-h)f(h)dh. \quad (13)$$

Если в зависимости (13) изменить порядок интегрирования, то получится

$$Ra = \frac{7,8N(r) \cdot s}{l} \int_{-3\sigma_a}^{X_{cp}} (X_{cp} - h)^2 f(h) dh, \quad (14)$$

или с учётом формулы (12) параметр шероховатости поверхности детали после абразивной обработки  $Ra$  окончательно может быть определён по формуле

$$Ra = \frac{7,8s}{l} (1 - f_{mp}) \int_{r_{min}}^{r_{max}} f(r) dr \cdot N_0 \cdot \int_{-3\sigma_a}^{X_{cp}} (X_{cp} - h)^2 f(h) dh. \quad (15)$$

. Согласно данным, приведённым в работе [1], и рис. 1 для абразивного зерна с радиусом режущего контура  $r_1$  можно написать следующие соотношения:

$$b(x, r_1, h) = \sqrt{r_1^2 - (h - r_1 - x)^2}, \text{ если } h - r_1 \geq x; \quad (16)$$

$$b(x, r_1, h) = r_1, \text{ если } h - r_1 < x < h + 0,263r_1; \quad (17)$$

$$b(x, r_1, h) = 3,8(x - h - 2r_1), \text{ если } x \geq h + 0,263r_1. \quad (18)$$

Так как на уровне от  $h$  до  $h + \Delta h$  процарапано всего  $N(r) \cdot s \cdot f_1(h) \cdot \Delta h$  царапин, то количество впадин, процарапанных абразивными частицами с радиусами от  $r_1$  до  $r_1 + \Delta r_1$ , составит

$$N_6 = N(r) \cdot f_1(h) \cdot P(r_1) \cdot \Delta h \cdot \Delta r_1, \quad (19)$$

где  $P(r_1)$  – вероятность того, рассматриваемая впадина процарапана единичной абразивной частицей с радиусом режущего контура  $r_1$ .

Очевидно, что с учётом зависимости (10) вероятность  $P(r_1)$  определяется по формуле

$$P(r_1) = \int_0^{r_{\max}} P_{cm}(r, r_1) dr, \quad (20)$$

где  $r_{\max}$  – максимальный радиус режущего контура абразивного зерна.

Подстановка формул (19) и (20) в исходное выражение для определения суммарной ширины канавок (11), процарапанных абразивными частицами, после преобразования даёт следующую зависимость для определения суммарной ширины впадин  $\Sigma b(x)$ :

$$\Sigma b(x) = 3,8N(r) \cdot s \cdot \left[ 1 - \int_0^{r_{\max}} P(r_1) dr_1 \right] \int_{-3\sigma_a - 2r_{\max}}^{x_s} P_{cm}(x - h) f_1(h) dh, \quad (21)$$

В соответствии с формулами (11) и (13) изменение параметра шероховатости поверхности  $\Delta Ra$ , обусловленное влиянием других абразивных зёрен и шлама, может быть представлено зависимостью

$$\Delta Ra = \frac{2}{l} \int_{-3\sigma_a - 2r_{\max}}^{X_{cp}} [B_1(x) + B_2(x)] dx - \frac{3,8s}{l} (1 - f_{mp}) \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} f(r) dr \cdot N_0 \cdot \int_{-3\sigma_a}^{X_{cp}} (X_{cp} - h)^2 \cdot f_1(h) dh, \quad (22)$$

где величины  $B_1(x)$  и  $B_2(x)$  принимаются по номограмме, представленной на рис. 2, в зависимости от текущей координаты вершины единичного абразивного зерна  $x$ .

Для определения среднего шага неровностей  $S_m$ , образующихся на поверхности детали в процессе её абразивной доводки, необходимо учесть все возможные пересечения  $N_n$  средней линии частицами, находящимися в суспензии между контактирующими поверхностями. Согласно данным, приведённым в работе [1], количество таких пересечений может быть определено по формуле

$$N_n = N(r) \cdot s \int_{-3\sigma_a - 2r_{\max}}^{X_{cp,x}} f(x) dx. \quad (23)$$

Тогда средний шаг неровностей на поверхности детали  $S_m$ , прошедшей абразивную доводку, определится из зависимости вида

$$S_m = \frac{l}{N(r) \cdot s} \left[ \int_{-3\sigma_a - 2r_{\max}}^{X_{cp}} f(x) dx \right]^{-1}, \quad (24)$$

или с учётом формулы (3) в окончательном виде формула для определения среднего шага неровностей  $S_m$  будет иметь вид

$$S_m = \frac{l}{s} \cdot \left[ N_0 (1 - f_{mp}) \int_{r_{min}}^{r_{max}} f(r) dr \right]^{-1} \left[ \int_{-3\sigma_a - 2r_{max}}^{x_{cp}} f(x) dx \right]^{-1}, \quad (25)$$

Анализ полученных зависимостей (15), (22) и (25) для определения параметров шероховатости поверхности детали  $Ra$ ,  $\Delta Ra$  и  $S_m$  свидетельствует о том, что при абразивной доводке достигаемые параметры шероховатости поверхностей  $Ra$ ,  $\Delta Ra$ ,  $S_m$  зависят от условий трения в зоне контакта притира с обрабатываемой поверхностью: с уменьшением коэффициента трения  $f_{mp}$  высотные параметры  $Ra$  и  $\Delta Ra$  уменьшаются, а средний шаг микронеровностей  $S_m$  увеличивается. Расчёты показали, что при соотношении  $r_{max}/r_{min} = 1,5$  и уменьшении коэффициента трения в зоне обработки  $f_{mp}$  в 2 раза параметры  $Ra$  и  $\Delta Ra$  уменьшаются в 1,35 раза, в то время как средний шаг неровностей  $S_m$  увеличивается всего в 1,12 раза.

### 3. Заключение

Таким образом, аналитическое исследование процесса взаимодействия абразивных зёрен суспензии с поверхностью детали при её доводке позволил получить зависимости параметров шероховатости от характеристик используемых абразивных зёрен и их концентрации, которые могут быть использованы для выбора рациональных условий доводки поверхностей деталей машин.

**Список литературы:** 1. Королёв, А.В. Расчёт прочности удержания абразивного зерна связкой / А.В. Королёв, А.Н. Тюрин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2008. – №3. – С. 100 – 109. 2. Бутенко, В.И. Поверхностно-активные вещества в процессах абразивной обработки материалов / В.И. Бутенко, Г.А. Прокопец. – Ростов-на-Дону: Изд-во ДГТУ, 2021. – 158 с.

УДК 621

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ  
ДЕТАЛИ «ВАЛ»**

**Горбань В.В., Горобец И.А.**

(кафедра ТМ, ДонНТУ, Донецк, ДНР, РФ)

Тел.: +79494695416; E-mail: vadim.gorban.1995@mail.ru

***Аннотация:** В статье приведены данные о повышении эффективности производства, путем внесения изменений в технологический процесс изготовления детали, а также внедрения станков с ЧПУ и специального быстросъемного зажимного приспособления. Полученные данные взяты из бакалаврской работы на тему «Спроектировать механический участок по изготовлению деталей элементов горно-шахтного оборудования в условиях ПАО «ДонЭРМ»». Сравниваются данные экономических показателей базового и нового технологических процессов.*

***Ключевые слова:** технологический процесс, вал, оптимизация, станочное приспособление, нормирование.*

**ведение**

Машиностроение является одной из базовых отраслей Донецкой Народной Республики. Подавляющее большинство предприятий машиностроительного комплекса Донбасса направлено на проектирование и изготовление техники, напрямую связанной с угледобывающим промыслом. Качество и себестоимость изготовления этой техники существенно повлияет на объем добычи и себестоимость угля.

Развитие и повышение эффективности машиностроения возможно при существенном росте уровня автоматизации производственного процесса. В последние годы широкое распространение получили работы по созданию новых высокоэффективных автоматизированных сборочных производств и реконструкций действующих производств на базе использования современного оборудования и средств управления всеми этапами производства.

Проектируемые и реализуемые производственные процессы должны обеспечивать решение следующих задач: выпуск продукции необходимого качества, без которого затраченные на нее труд и материальные ресурсы будут израсходованы бесполезно; выпуск требуемого количества изделий в заданный срок при минимальных затратах живого труда и вложенных капитальных затратах.

Предметом исследования служит деталь «Вал» работающая в механизме редуктора опрокидывателя шахтной крепи.

Целью выполнения данного проекта является: технологическая оценка производства, проектирование оптимизированного технологического техпроцесса выпуска изделия, проектирование и конструирование технологической оснастки, подбор технологического оборудования в соответствии со спектром его возможностей, экономическое планирование, расчет новой себестоимости выпуска изделия соответственно принятому варианту производственного процесса.

Для реализации поставленных задач необходимо проанализировать конструкторскую документацию на изготавливаемую деталь и базовый технологический процесс, чтобы определить его сильные и слабые стороны.

**сновная часть**

Деталь «Вал» (рис.1) входит в конструкцию редуктора опрокидывателя шахтной крепи ЦЧ-80М

Специальные цилиндро-червячные двухступенчатые редукторы предназначены для использования в приводах механизмов перемещения составных частей шахтных крепей, а также для увеличения крутящего момента и уменьшения частоты вращения различных машин и механизмов.

Данный механизм способен выдерживать длительные и переменные нагрузки, а также периодическую пуско-остановочную работу.

Исследуемая деталь (рис.1) выполняет вспомогательные функции, благодаря шлицевым поверхностям на этой детали устанавливаются шестерни. Что позволяет экономить на используемом материале, вал изготавливают из стали 18ХГТ, а шестерни из стали 40Х. Также данная деталь передает вращательное движение от одной ступени вала к другой.

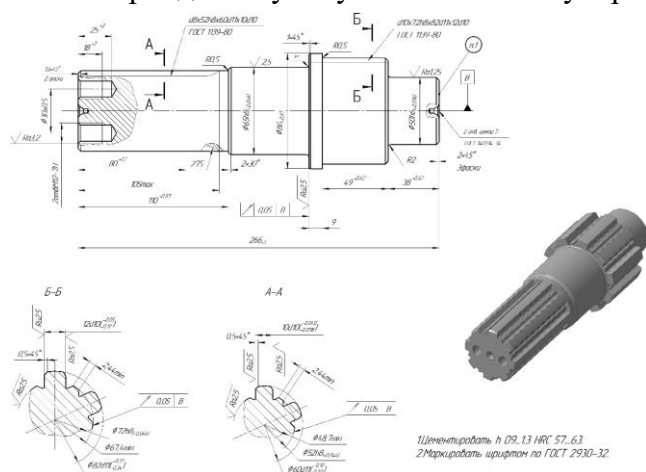


Рис.1 Исследуемое изделие

Рассмотрим базовый технологический процесс представленный на предприятии (табл. 1) и сравним его с разработанным оптимизированным технологическим процессом (табл.2).

Таблица 1. Базовый технологический процесс.

№ операции	Наименование операции	Оборудование
	Токарно-винторезная	Станок 1К62
	Токарно-винторезная	Станок 1К62
	Радиально-сверлильная	Станок 2М55
	Шлицефрезерная	Станок 5350А
	Шлицефрезерная	Станок 5350А
	Круглошлифовальная	Станок 3М151
	Термическая	Термопечь
	Круглошлифовальная	Станок 3М151
045	Шлицешлифовальная	Станок 3451А
	Шлицешлифовальная	Станок 3451А

Таблица 2. Оптимизированный технологический процесс.

№ операции	Наименование операции	Оборудование
	Фрезерно-центровальная	Станок EM535M
	Токарная С ЧПУ	Станок 16К20Ф3
	Токарная С ЧПУ	Станок 16К20Ф3
	Вертикально сверлильная с ЧПУ	Станок 2P55Ф2
	Шлицефрезерная	5350А
	Шлицефрезерная	5350А
	Круглошлифовальная	3М151
	Термическая	Термопечь
	Круглошлифовальная	3М151
0	Шлицешлифовальная	3451А
	Шлицешлифовальная	3451А

Анализ приведенных данных показывает, что используемые станки по габаритным размерам обрабатываемой заготовки, достигаемой точности и шероховатости соответствуют требуемым условиям обработки.

Однако, хотелось бы заметить, что используемое оборудование является универсальным, у данного вида оборудования имеется существенный недостаток это большие потери времени на подготовку оборудования, а также необходимость в кадрах высокой квалификации, что существенно удорожает производство.

Также на токарно-винторезных операциях выполняются переустановы, что может негативно сказаться на точности обработки детали. Во время радиально-сверлильной операции выполняется три перехода, что требует больших затрат времени на смену инструмента и его настройку на размер.

Соответственно более целесообразно будет использовать альтернативный технологический процесс. Оптимизированный технологический процесс и разработанная оснастка, позволили упростить обработку деталей и повысить точность обработки, а также в значительной мере удешевить производство за счет использования более прогрессивного оборудования и инструментов.

Немаловажным фактором повышения производительности в рассматриваемом проекте является: специальное зажимное, устройство, которое используется на операции 020 – Вертикально сверлильная с ЧПУ, оно представлено на рисунке 2.

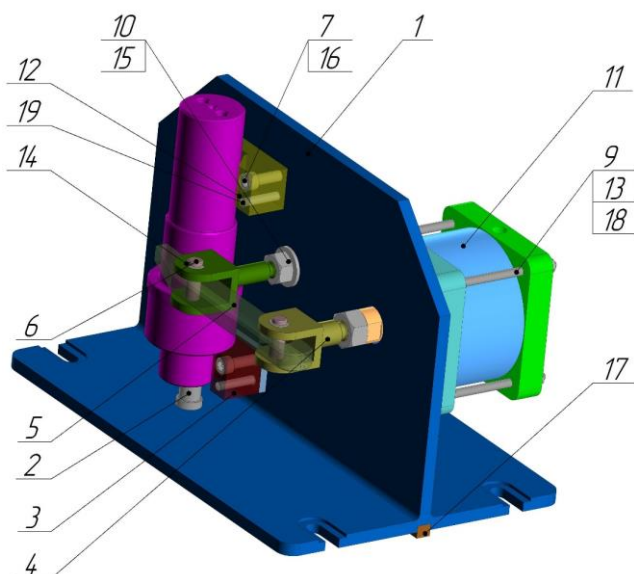


Рис. 2 Станочное приспособление для вертикально сверлильной операции с ЧПУ.



Далее можно более подробно рассмотреть составные части и основной принцип работы зажимного приспособления.

Приспособление (рис. 2) состоит из основания 1 на котором размещены призмы 3 и 12. Призмы 3 и 12 базируются на основании 1 по штифтам 19 и крепятся винтами 7. Для базирования заготовки по правому торцу в основание 1 запрессован палец 2. На боковой поверхности основания 1 располагается вилка 4 которая крепится с помощью двух гаек М20 поз 10 отвинчивание которых предотвращают шайбы 15. Также на боковой поверхности основания 1 крепится пневмоцилиндр 11 при помощи 4 шпилек 18.

К пневмоцилиндру 11 по средствам резьбы М20 крепится Вилка 4 и затягивается гайкой 10. Прихват 5 крепится к вилкам с мощностью осей 6, оси от выпадения предохраняют стопорные шайбы 14.

Приспособление работает следующим образом. Заготовка устанавливается на приспособление базирясь наружными цилиндрическими поверхностями на призмах 12, торцом по постоянной опоре 2. Давление подается в поршневую полость пневмоцилиндра 11. Шток цилиндра 11 с вилкой 4 перемещается вперед, при этом усилие передается на прихват 5. Прихват 5 поворачивается относительно оси 6 и заготовка закрепляется. После окончания обработки давление подается в штоковую полость пневмоцилиндра 11. Шток вместе с вилкой 4 перемещается назад снижая давление на прихват 5. Заготовка снимается с приспособления.

#### ВЫВОД

В заключение можно отметить, что в представленной работе выполнен анализ технологического процесса используемого на реальном предприятии "ПАО ДонЭРМ" и способ его оптимизации, описанный в бакалаврской работе. Благодаря нововведениям, представленным в проекте, удалось добиться значительного сокращения стоимости производства и уменьшения времени изготовления детали «Вал», а также повышения качества и точности обработки, за счет внедрения более производительных станков и специального зажимного приспособления.

**Список литературы:** 1. Боровик А.И. Проектирование технологической оснастки: Уч. Пособие. –К.: ИЗМ, 1996. – 488 с. 2. Корсаков В.С. Основы конструирования станочных приспособлений в машиностроении: М.: Машиностроение, 1983. – 277 с. 3. Кузнецов Ю.И. Конструкции приспособления для станков с ЧПУ: Учеб. Пособие. – М.: Высш.шк. 1998. – 303с. 4. Станочные приспособления. Справочник. В 2-х т. /Ред. Совет: В.Н. Вардашкин (пред.) и др. – М.: Машиностроение 1984. – Т.1 /Под ред. Б.П Бардашкина, А.А. Шатилова, 1984. – 583 с. – Т.2 /Под ред. Б.Н. Вардашкина, В.В. Данилевского, 1984 – 556с. 5. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник.- М.: Машиностроение, 1990.- 512 с. 6. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. /Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К. Мещеряковой. – М.: Машиностроение, 1966. – Т.1 512с. 7. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник /В.И. Баранчиков и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 400с. 8. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. /Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К. Мещеряковой. – М.: Машиностроение, 1966. – Т.1 512с. 9. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т/Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова М. : Машиностроение, 1995. – Т.»- 496с. 10. Курсовое проектирование по технологии машиностроения/ Под ред. А.Ф. Горбацевича. – Минск.: Выш. шк., - 256с. 1975.- 1975.- 288 с.

УДК 621

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНЫХ УСТРОЙСТВ  
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ С ЧПУ****Горобец И.А., Мелешко Э.Г., Черноус В.В.***(каф. ТМ, ФГБОУ ВО «ДонНТУ», Донецк)*

**Аннотация:** Рассмотрена необходимость использования адаптивных устройств управления станочным оборудованием с ЧПУ для механической обработки изделий машиностроения и 3D принтеров. Исследованы параметры управления системой, предложена функциональная схема адаптивного устройства управления.

**Ключевые слова:** система, оборудование, изделие, параметры, схема.

В настоящее время стремительное развитие науки, техники и технологий, вызывают глубокий технологический скачок во всех отраслях производства и оказывают воздействие на все стороны жизни общества. В условиях ограничений поступления импортных техники и технологий вопросы дальнейшего развития машиностроения являются в настоящее время чрезвычайно актуальными. Приобретают особую актуальность вопросы повышения производительности при заданных параметрах качества поверхности объектов машиностроительного производства, снижения себестоимости и управления параметрами жизненного цикла производимых изделий. Промышленным оборудованием, наиболее полно обеспечивающим вышеперечисленные требования, является оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ) – металлорежущие станки, обрабатывающие центры и оборудование аддитивных технологий (3D принтеры). Это оборудование, широко используется на существующих производствах и отлично зарекомендовало себя [1]. Вместе с тем, в процессе эксплуатации технологического оборудования с ЧПУ выявлен и существенный недостаток – отсутствие обратной связи между параметрами обрабатываемого (или наращиваемого) изделия и технологическими воздействиями оборудования. Поэтому, одной из актуальных задач современного машиностроительного комплекса является разработка и внедрение адаптивных устройств управления оборудованием с ЧПУ. Адаптивное устройство управления должно учитывать состояние технологической системы, характер процесса обработки и другие входные параметры, влияющие на выбор режимов и технологических воздействий. Это позволяет не только решить вопросы повышения производительности технологического оборудования за счёт использования рациональных режимов обработки, но и повысить стойкость режущего инструмента (долговечность экструдера 3D принтера), существенно снизить динамическую нагруженность элементов и механизмов технологического оборудования [2].

Поскольку на процесс обработки заготовки оказывают влияние множество изменяющихся факторов, то заранее затруднительно ввести в управляющую программу рациональные режимы обработки. Именно поэтому, современное технологическое оборудование с ЧПУ должно быть снабжено сенсорами, позволяющими вести измерения мгновенных механических величин процесса обработки заготовки и средствами автоматического регулирования параметров обработки с учётом использования наилучших вариантов. Реализация такого условия может быть осуществлена путём использования следующей функциональной схемы с адаптивным устройством управления (рис. 1).

Принцип работы устройства адаптивного управления рассмотрим на примере металлорежущего станка с ЧПУ. Предлагаемое устройство работает следующим образом: информация об усилиях резания при механической обработке изделия осуществляется

встроенным в конструкцию технологического оборудования сенсором (С). Далее системой контроля (СК) производится оценка полученной информации и выявление отклонений от исходных данных, а система диагностики (СД) – определение причины отклонений. После этого система принятия решения (СПР) вырабатывает корректирующее воздействие для ликвидации выявленных отклонений и ввод корректирующего воздействия системы программного управления (СПУ).

Поскольку сенсор определяет фактическую величину усилия резания, которая наиболее полно характеризующей процессы протекающие в зоне обработки, то изменение силы резания определим как функцию колебаний припуска ( $\Delta z$ ) и твёрдости поверхностного слоя заготовки ( $\Delta HB$ ).

$$\Delta P = f(\Delta z ; \Delta HB)$$

где  $\Delta z$  - колебание припуска заготовки;  $\Delta HB$  - колебания твёрдости поверхности заготовки.

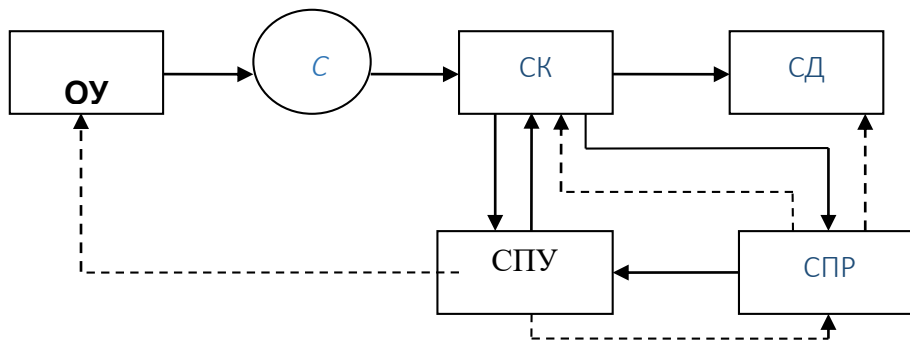


Рис.1. Функциональная схема АУУ

ОУ - объект управления; С - сенсор; СК- система контроля; СД – система диагностики; СПР – система принятия решений; СПУ- система программного управления

Из указанных факторов решающее влияние на изменение силы резания оказывает колебание припуска. Поскольку наибольшей величиной припуска характерен процесс черновой обработки заготовки, то и наибольшую результативность решение этого вопроса будет при черновой обработке заготовки на станках с ЧПУ.

Проведенные исследования величины и закона распределения плотности вероятности общего припуска для штампованных заготовок (типа седло отопительного котла) выявили параметры общего припуска на обработку и характер его изменения. Для проведения экспериментальных исследований количество измерений определялось выражением [3]

$$\begin{cases} P = 2 \Phi(t) \\ \varepsilon = t \sigma n^{-0.5}, \end{cases}$$

где  $P$  – доверительная вероятность;  $\Phi(t)$  - интегральная функция Лапласа;  $\sigma$  - оценка среднеквадратичного отклонения результатов измерений;  $\varepsilon$  - максимальное отклонение выборочного среднего от среднего генерального;  $n$  - число заготовок.

Проверка гипотезы о распределении плотности вероятности припуска осуществлялась с помощью критерия Пирсона. При этом расчётное значение критерия не превосходило табличное, при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .

$$\chi_p^2 = 8,825 \langle \chi_{табл}^2 \rangle = 9,488$$

Таким образом с вероятностью 0,95 можно принимать Гауссовский закон распределения плотности вероятности случайной величины общего припуска на штампованную заготовку. Следовательно, сила резания при черновой обработке таких заготовок будет также случайной величиной, распределённой по случайному закону.

Для обеспечения максимальной производительности станка воспользуемся системой управления с реализацией условия:

$$\begin{cases} P_z \rightarrow P_{z\max} \\ P_z < [P_z], \end{cases}$$

где  $[P_z]$  - предельно допустимая сила резания  $P_z$ .

Значение силы  $P_z$  определяется выражением [4]

$$P_z = C_p t^x s^y v^{-w},$$

где  $C_p$  - постоянный коэффициент;  $x, y, w$  - показатели степени,  $t$  - глубина резания;  $s_z$  - подача;  $v$  - скорость резания.

В качестве регулируемых величин целесообразно принять  $s, v$ . Непрерывное регулирование этих величин облегчается наличием у станков с ЧПУ независимых приводов главного движения и движения подачи. Применение в качестве регулируемой величины  $t$  приведёт к снижению производительности обработки.

Задачей адаптивной системы управления является обеспечение условия

$$P_z \rightarrow \text{const}$$

Целевая функция регулирования будет описываться выражением

$$s^y v^{-w} = P_z C_p t^x$$

Влияние изменения подачи и скорости резания на качество обработанной поверхности учтём введя систему ограничений ограничения

$$\begin{cases} s < [s], \\ v < [v]. \end{cases}$$

где  $[s], [v]$  - предельная подача режущего инструмента и скорость резания допускаемая требованиями по качеству обработанной поверхности и стойкости инструмента.

**Заключение.** Разработанный подход позволяет, учитывая действительные мгновенные значения сил резания, повысить производительность технологического оборудования с ЧПУ за счёт использования рациональных режимов обработки и в дальнейшем, выполнить расчёты конструкции сенсоров усилий резания для управления параметрами режимов механической обработки.

**Список литературы:** 1 Грубый, С.В. Оптимизация процесса механической обработки и управление режимными параметрами — М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 149 с. 2. Горобец, И.А. Определение критерия оптимизации системы управления токарными станками с ЧПУ/ ЖУРНАЛ «Главный механик» - М.: Издательский Дом «Панорама», № 2 (198), 2020. - С.7–11. 3. Задачи по теории вероятностей: учебное пособие / С.В. Симушкин, Л.Н. Пушкин. — Казань: Казан. ун-т, 2011 — 223 с. 4. Стариков, В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством. – М.: Машиностроение, 1989. – 296с.

## АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОТОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Журавлев Д.Г., Чернышев Е.А.** (каф. ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, ДНР, РФ)

Для эффективного функционирования предприятия используется автоматизация, которая становится неотъемлемой частью всего производственного процесса. Если речь идет о продукции массового потребления, то это становится выгодно, так как за счет высокой производительности снижаются затраты.

В СССР первые роторные машины для металлообработки были созданы в 1938-1943 годах, а уже в середине 50-х годов XX века были разработаны и успешно внедрены в производство роторные линии. Замена существующего в то время однооперационного оборудования автоматическими роторными линиями обеспечила сокращение производственных площадей и рабочих в 4...5 раз, а продолжительности производственного цикла и объема незавершенного производства в сотни раз [3].

В СССР автоматические роторные линии получили применение в холодноштамповочном производстве, в пищевой промышленности (расфасовка и упаковка жидких продуктов), в производстве штучных изделий из пластических масс. Особенно перспективно дальнейшее распространение автоматических роторных линий для выпуска массовых изделий (радиодеталей, штампованных деталей и др.). Их применение наиболее рационально в производстве с непродолжительными технологическими процессами и при изготовлении относительно простых предметов, имеющих форму тел вращения. Производительность автоматических роторных линий определяется транспортной скоростью ротора и шаговым расстоянием между изделиями в роторе. Применение автоматических роторных линий по сравнению с отдельными автоматами не роторного типа сокращает производственный цикл в 10—15 раз, значительно уменьшаются межоперационные запасы заготовок (в 20—25 раз), в несколько раз снижается трудоёмкость изготовления и себестоимость продукции, капитальные затраты окупаются за 1—3 года [2].

Автоматизированное производство — это система машин, оборудования, транспортных средств, обеспечивающая строго согласованное во времени выполнение всех стадий изготовления изделий: от получения исходных заготовок и кончая контролем готового изделия и выпуска продукции через равные промежутки времени.

Разновидностью комплексных автоматических линий являются роторные автоматические линии, разработанные Л.Н. Кошкиным. Автоматическая роторная линия - комплекс рабочих машин, транспортных устройств, приборов, объединённых единой системой автоматического управления, в котором одновременно с обработкой заготовки перемещаются по дугам окружностей совместно с воздействующими на них орудиями. Наиболее распространены автоматические роторные линии для операций, выполняемых посредством прямолинейного рабочего движения (штамповка, вытяжка, прессование, сборка, контроль) [4].

Рабочий ротор представляет собой жёсткую систему, на которой монтируется группа орудий, равномерно расположенных вокруг общего вращающего систему вала. Необходимые рабочие движения сообщаются этим орудиям исполнительными органами, для малых усилий применяются механические исполнительные органы, для больших — гидравлические (например, штоки гидравлических силовых цилиндров).

Транспортные и рабочие роторы жёстко связаны между собой. На автоматических роторных линиях можно одновременно обрабатывать предметы нескольких типоразме-

ров сходной технологии, как в массовом, так и в серийном производстве. Роторные линии позволяют автоматизировать обработку нескольких однотипных деталей, т.е. отличаются определённым уровнем гибкости.

На автоматических роторных линиях можно выполнять операции, значительно различающиеся по продолжительности, например прессовые, контрольные, термические и химические. Автоматическая роторная линия может одновременно обрабатывать несколько различных изделий. Такие многономенклатурные автоматические роторные линии могут применяться в немассовых производствах.

Роторные линии, кроме рабочих роторов, включают также контрольно-измерительные и сборочные роторы, роторы-накопители, запоминающие устройства, механизмы замены инструмента и др. Наиболее успешно на этих линиях осуществляются штамповочные, сборочные и контрольные операции.

Наличие большого числа инструментов требует особого внимания к разработке конструкций для их крепления и замены. Непрерывное перемещение деталей и высокая производительность роторных машин вызывают необходимость в некоторых случаях создания устройств автоматической замены инструмента без останова роторов. Замена инструментальных блоков может происходить во время холостого хода рабочего ротора по команде специальных устройств.

Контрольно-измерительные операции могут осуществляться, когда деталь находится в специальных или в транспортных роторах. Включение в автоматическую линию из роторных машин контрольных устройств позволяет без особого увеличения затрат и при сохранении заданной производительности проводить контроль всех обрабатываемых деталей, не увеличивая объем незавершенного производства, находящийся обычно в бункерах и накопителях.

Применение роторных автоматических линий для механической обработки ограничено сравнительно невысокой жесткостью, трудностью отвода стружки, недостаточной точностью обработки. Важным направлением в совершенствовании создания автоматических станочных систем на базе роторных машин является особо тщательная разработка технологического процесса для необходимого смягчения режимов обработки при требуемой производительности, что возможно осуществить за счет изменения числа рабочих позиций, скорости транспортировки, размеров ротора и т.д. Важной является также оценка целесообразности использования роторных машин вместо стационарных с учетом всех их особенностей.

В условиях постоянно изменяющегося нестабильного рынка (тем более многономенклатурного производства) важной задачей является повышение multifunctionality автоматизированного производства, с тем чтобы максимально удовлетворить требования, нужды и запросы потребителей, быстрее и с минимальными затратами осваивать выпуск новой продукции. Роторная технология является реальным, действенным средством комплексной автоматизации производства, причем она создает необходимые условия и для автоматизации вспомогательных работ.

**Список литературы:** 1. Кошкин Л. Н., Густов, А. А. Роторные машины для механической обработки/ Л. Н. Кошкин, А. А. Густов. К., 2002. 2. Кошкин Л. Н. Комплексная автоматизация на базе роторных линий/ Л. Н. Кошкин, М., 1999. 3. Михайлов А.Н. Основы проектирования и автоматизации производственных процессов на базе технологий непрерывного действия. Уч. пособие для машиностроит. спец. вузов. Донецк: ДонНТУ, 2006. 421 с. 4. Соломатин Н.А. Управление производством: Учебник/ под ред. Н.А. Соломатина. М.: ИНФРА, 2001. 219 с.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ВЕРТОЛЕТНОГО ГТД ТВЗ-117

**Куликович Н.Д., Михайлов А.Н.**

*(кафедра «Технология машиностроения», ДонНТУ, г. Донецк)*

Вертолеты являются незаменимым средством транспорта во многих отраслях, включая гражданскую и военную авиацию, медицинскую эвакуацию и спасательные операции. Ключевым элементом в работе вертолета является газотурбинный двигатель (ГТД), который обеспечивает необходимую тягу и эффективность полета. Один из наиболее распространенных двигателей, используемых в вертолетах, - ТВЗ-117.

В сфере технического обслуживания вертолетов одним из наиболее важных аспектов является тщательное обследование, ремонт и восстановление их газотурбинных двигателей (ГТД). ГТД вертолетов играют важную роль, преобразуя топливо в механическую энергию, питая эти сложные летные системы. Со временем эти двигатели, особенно лопатки компрессора, могут выйти из строя, что потребует квалифицированного ремонта или полной замены. В данной статье будут рассмотрены достигнутые технологические успехи и предложены эффективные решения подобных проблем, уделяя особое внимание лопаткам компрессора вертолетного ГТД ТВЗ-117.

Тема технологического обслуживания, ремонта и восстановления лопаток компрессора вертолетного газотурбинного двигателя ТВЗ-117 весьма актуальна по нескольким причинам:

1. **Безопасность.** Обеспечение структурной целостности лопастей имеет решающее значение для безопасной эксплуатации вертолета. Поврежденные или неэффективные лопасти могут существенно ухудшить работу двигателя, что может привести к катастрофическому отказу в полете.
2. **Оптимальность производительности.** Регулярная и точная оценка и техническое обслуживание лопастей могут улучшить производительность двигателя, тем самым повышая общую эффективность вертолета.
3. **Финансовые последствия:** эффективные процессы ремонта и восстановления могут продлить срок службы лопаток компрессора, отсрочив необходимость дорогостоящей замены.
4. **Технологические достижения:** достижения в технологиях ремонта, такие как лазерная наплавка и аддитивное производство, позволяют проводить более эффективные, точные и менее расточительные процессы. Такие технологии обладают преобразующим потенциалом в том, как в будущем можно будет проводить техническое обслуживание и ремонт жизненно важных компонентов самолетов.
5. **Воздействие на окружающую среду:** эффективные двигатели способствуют снижению расхода топлива, что, в свою очередь, приводит к уменьшению выбросов углекислого газа. Также ремонт и восстановление продлевают срок службы деталей, сокращая отходы и потребность в новых материалах.
6. **Эксплуатационная готовность:** более быстрые и эффективные процедуры ремонта гарантируют, что самолет будет проводить меньше времени на земле для обслуживания, что приведет к более высоким показателям эксплуатационной готовности.

Все эти факторы делают эту тему весьма актуальной для различных заинтересованных сторон, включая, помимо прочего, инженеров по техническому обслуживанию,

операторов вертолетов, авиационные власти, экологические группы и более широкую аэрокосмическую отрасль.

Цель работы: повышение качества ремонта и восстановления лопаток компрессора газотурбинного двигателя ТВЗ–117, за счет усовершенствования технологического обеспечения.

Двигатель ТВЗ-117, один из основных вертолетных двигателей российского производителя силовых установок «Мотор Сич», доказал свою надежность, производительность и долговечность на различных вертолетных платформах. Лопатки компрессора двигателя играют центральную роль в обеспечении этой производительности, но они также уязвимы к нагрузкам, износу и потенциальному повреждению из-за попадания внутрь мусора. Критический характер этого элемента в вертолетном газотурбинном двигателе делает его техническое обслуживание, ремонт и восстановление чрезвычайно важным.

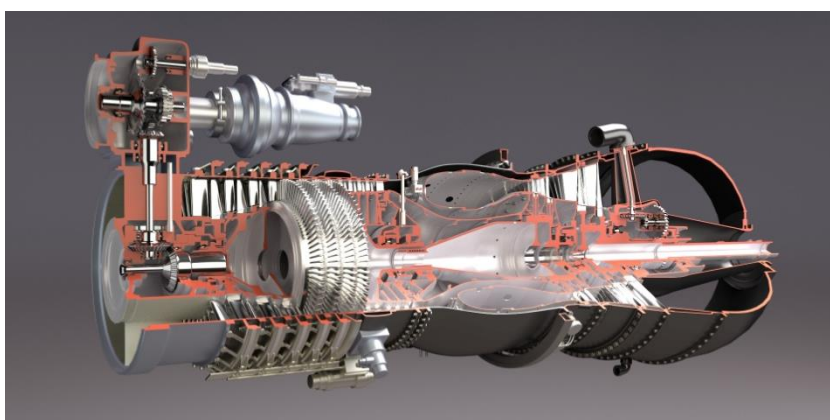


Рис. 1. Газотурбинный двигатель ТВЗ-117 в разрезе.

Конструкция двигателя ТВЗ-117 соответствует типичной схеме турбовального двигателя с несколькими модулями, включающими компоненты, отвечающие за впуск воздуха, сжатие, сгорание, выходную мощность и выхлоп.

Компрессорный агрегат: здесь первоначально сжимается всасываемый воздух. Это 10-ступенчатый осевой компрессор. Основная функция этого компрессора - подача воздуха под высоким давлением в камеру сгорания.

Блок сгорания: Здесь сжатый воздух из компрессорной установки смешивается с топливом и воспламеняется. Этот агрегат состоит из кольцевой камеры сгорания.

Турбинная установка: этот раздел состоит из двух разделов:

Газогенераторная турбина: во время процесса сгорания высокоэнергетические выхлопные газы проходят через эту часть турбины, которая вращается под действием силы газов; это, в свою очередь, приводит в действие компрессор и вспомогательные устройства.

Свободная турбина: это силовая турбина, которая механически не связана с турбиной компрессора. Энергия выхлопных газов вращает эту турбину, обеспечивая вращательное движение, которое через коробку передач передается на главный винт вертолета.

Коробка передач: Функция коробки передач заключается в уменьшении высокой скорости вращения свободной турбины до низкой скорости, необходимой для несущего и рулевого винтов вертолета.



Вспомогательные агрегаты и системы. К ним обычно относятся системы подачи топлива, смазки, зажигания и управления, которые поддерживают работу двигателя.

Эксплуатационные особенности

Эффективность: ТВ3-117 предназначен для выработки высокой мощности, учитывая его вес и размер. Благодаря своим отличительным особенностям и эффективности он имеет значительное соотношение мощности и веса.

Долговечность и надежность: Двигатель ТВ3-117 известен своей высокой долговечностью и надежностью. Он хорошо работает в экстремальных условиях и может работать на самых разных скоростях и высотах.

Тип топлива: он может использовать несколько типов реактивного топлива, что повышает его универсальность.

Применение: Двигатель находит применение в вертолетах большой грузоподъемности типа Ми-8 и Ми-24, универсальных военных и гражданских вертолетах. Он даже используется в некоторых типах самолетов.



Рис.2. Ми-8



Рис.3. Ми-24

Простота обслуживания: благодаря модульной конструкции различные части ТВ3-117 можно заменять или ремонтировать без необходимости разборки всего двигателя. Простота обслуживания повышает универсальность двигателя.

Конструкция и особенности работы двигателя ТВ3-117 характеризуются высокой мощностью, технологичностью, долговечностью и простотой конструкции, обеспечивающей оптимальные процессы обслуживания. Благодаря этим характеристикам этот двигатель по-прежнему остается предпочтительным выбором для многих моделей вертолетов.

Первоначальная оценка состояния лопаток компрессора включает в себя такие методы, как визуальный осмотр, ультразвуковой контроль, капиллярный контроль и вихретоковый контроль. Однако в эпоху цифровых технологий такие технологии, как промышленное 3D-сканирование и цифровая рентгенография, значительно улучшили этап оценки. Эти технологии обеспечивают более высокую степень точности и устраняют некоторую субъективность, связанную с проверками людьми.

Например, 3D-сканирование позволяет очень подробно фиксировать геометрию и размеры лезвия и сравнивать их с номинальным состоянием (обычно моделью САПР), чтобы выявить любые несоответствия. С другой стороны, цифровые рентгенологи могут обнаружить внутренние дефекты без разборки или разрушения компонентов двигателя.



Рис.4. Лопатки компрессора ГТД ТВ3-117.

#### Определение процессов ремонта и восстановления

**Очистка.** Обычно первый этап обработки поврежденного компонента включает удаление любых посторонних материалов или остатков. Часто используются процессы химической очистки в сочетании с промывкой под высоким давлением или ультразвуковой очисткой, чтобы обеспечить оптимальную подготовку лезвия к дальнейшим этапам.

**Физический осмотр и неразрушающий контроль:** Лезвия проверяются на наличие повреждений. Сюда входят методы неразрушающего контроля, такие как вихретоковый контроль или ультразвуковой контроль, предназначенные для обнаружения любых трещин или дефектов, которые могут быть пропущены во время визуального контроля.

**Процессы ремонта:** Повреждения лезвия можно разделить на незначительные и серьезные категории. Незначительные повреждения могут включать в себя порезы, вмятины, царапины или незначительную коррозию, которые можно устранить с помощью различных процедур, таких как смешивание, упрочнение, полировка или правка. В случае более серьезных повреждений могут быть применены такие методы, как сварка, пайка или даже использование передовых технологий, таких как лазерная наплавка.

**Нанесение покрытия:** после ремонта на лезвия часто наносят покрытие, чтобы улучшить их твердость, износостойкость, коррозионную стойкость и устойчивость к высоким температурам. Обычно применяемые методы включают физическое осаждение из паровой фазы (PVD) и химическое осаждение из паровой фазы (CVD). В некоторых случаях также можно использовать термическое напыление.

**Контроль качества и итоговое тестирование.** Непрерывный мониторинг процесса ремонта, а также окончательная проверка качества имеют жизненно важное значение. Это предполагает повторный неразрушающий контроль, чтобы убедиться, что ремонт устранил все выявленные проблемы.

Прогресс в технологических решениях сыграл значительную роль в формировании современной практики восстановления лопаток. Одной из наиболее перспективных является технология лазерной наплавки. Лазерная наплавка может восстановить изношенные или поврежденные участки лезвия с помощью лазера для приваривания восстановительного материала к исходному лезвию, продлевая срок его службы.

**Аддитивное производство (3D-печать)** открывает возможности для ремонта и восстановления поврежденных деталей, включая лезвия. Точная методология «слой за слоем» позволяет восстановить секции лезвия и даже при необходимости воспроизвести совершенно новое лезвие с использованием металлических порошков и высокоэнергетических лазеров.

Передовые системы программного обеспечения также играют решающую роль в обслуживании современных ГТД. Цифровые двойники позволяют воспроизвести физический объект в цифровой среде, спрогнозировать износ и понять, как система будет работать в разных условиях. Такое понимание может привести к прогнозированию графиков технического обслуживания, предотвращению непредвиденных простоев и обеспечению более эффективного использования ресурсов.

Область технологий, связанная с обслуживанием, ремонтом и восстановлением лопаток компрессоров, постоянно развивается. То, что когда-то было трудоемкой задачей, требующей квалифицированного практического труда, теперь становится автоматизированным, точным и значительно более надежным. Этот переход не только повышает безопасность и эффективность, но также снижает затраты и время простоя, связанные с ремонтом и обслуживанием лопаток газотурбинных двигателей, таких как ТВ3-117. Поскольку отрасль продолжает исследовать и применять такие достижения, как искусственный интеллект, машинное обучение, робототехника и многое другое, ожидается, что горизонт восстановления лопаток компрессоров будет продолжать расширяться, что принесет большую пользу авиационной отрасли.

**Список литературы: 1.** Богуслаев, В. А. Технология производства авиационных двигателей: ч. II. Основы проектирования технологических процессов изготовления деталей авиационных двигателей и технологическая подготовка производства. / В. А. Богуслаев [и др.]. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2007. – 557 с. **2.** Демин, Ф. И. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей / Ф. И. Демин, Н. Д. Проничев, И. Л. Шитарев. – М.: Машиностроение, 2002. – 328 с. **3.** Григорьев, В. А. Вертолетные газотурбинные двигатели. / В. А. Григорьев, В. А. Зрелов, Ю. М. Игнаткин и [др.]. – М.: Машиностроение, 2007. – 491 с. **4.** Михайлов, Д. А. Основные особенности эксплуатации лопаток компрессора ГТД и классификация их эксплуатационных функций/ Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2015. - Вып. 4 (50). - С. 126 - 131. **5.** Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения : монография / А. Н. Михайлов. – Донецк : ДонНТУ, 2009. – 346 с. **6.** Михайлов, А. Н. Технологические особенности повышения ресурса деталей газотурбинных двигателей на основе обеспечения функционально-ориентированных свойств / А. Н. Михайлов, Д. А. Михайлов // Инновации в машиностроении: сборник трудов XII Международной научно-практической конференции. – Новосибирск: НГТУ, 2021. - С. 76 – 83.

## ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТИ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫХ СТАНКОВ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДАЧИ

Лахин А.М., Мороз О.В., Горобец И.А.,  
(каф.ТМ, ФГБОУ ВО «ДонНТУ», г. Донецк)

*Аннотация.* В работе рассмотрены особенности применения механизма электронной гитары токарного станка для обработки винтовых поверхностей и наружного продольного точения в полуавтоматическом режиме

*Ключевые слова:* станок, резьба, подача, ходовой винт

В настоящее время в механических цехах машиностроительных заводов скопилось большое количество универсальных металлорежущих станков, характеризующихся широкими технологическими возможностями, однако, требующих сложной наладки и станочников высокой квалификации.

Токарно-винторезные станки позволяют выполнять широчайший комплекс работ для деталей типа тело вращения. Но в условиях выпуска деталей мелкими и средними сериями эти станки требуют продолжительной и трудоемкой наладки: на установку концевых упоров, настройку гитары привода подач для требуемых параметров резьбы и пр. Все это требует использования пробных заготовок для отладки станка и продолжительных наладочных работ.

Развитие микропроцессорной техники обеспечило доступность систем управления рабочими движениями инструмента при относительно несложной и недорогой доработке станков. Так, использование механизма электронной гитары обеспечивает возможность задания любого шага нарезаемой резьбы и независимого ускоренного продольного перемещения суппорта относительно заготовки. Подобная модернизация позволяет значительно сократить время на наладку станков и повысить производительность токарной обработки.

**Целью** данной работы является исследование возможностей модернизации токарно-винторезного станка за счет дооснащения его механизмом электронной гитары.

Привод подачи токарно-винторезного станка, как правило, включает в себя следующие элементы (рис.1): коробку подач, связанную со шпинделем станка посредством зубчатой передачи, ходовой вал и ходовой винт, механизм фартука суппорта и маточная гайка используемая для замыкания привода подачи при нарезании резьбы. Этот механизм достаточно громоздкий, требует использования комбинаций положения рычагов управления, а при обработке резьб в большинстве случаев требует подбора комбинаций шестерен для настройки на нужный шаг нарезаемой резьбы [1]. Кроме того передача по длинной кинематической цепи значительно снижает КПД привода и отбирает весомую часть мощности привода шпинделя [2].

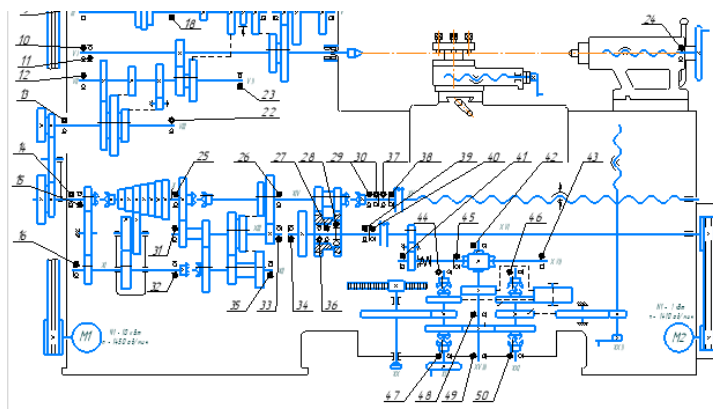


Рис. 1. Кинематическая схема привода подач токарно-винторезного станка 16K20

Некоторые современные токарно-винторезные станки в качестве опции могут быть дооснащены механизмом электронной подачи. В частности, для токарно-винторезного станка WEISAN WM210 доступны для установки как классический привод подачи со сменными шестернями для нарезания резьбы, так и привод электронной гитары. Сущность работы такого механизма заключается в том, что привод ходового винта связывается с движением шпинделя не механически, а посредством передачи электронных импульсов от энкодера, получающего сигнал от вращения шпинделя станка. Получаемые импульсы передаются на шаговый электродвигатель, вал которого передает движение на ходовой винт. В зависимости от последовательности импульсов могут быть заданы и настроены любые параметры вращения ходового винта. При этом привод ходового винта остается автономным. Это обеспечивает возможность движения ходового винта независимо от вращения шпинделя, что можно использовать, к примеру, для быстрых перемещений суппорта в исходную позицию, сообщения поступательного движения инструмента при неподвижной заготовке и пр. Кроме того имеется цифровая индикация продольного перемещения суппорта [3].

Рассмотрим элементы электронной гитары (рис.2).

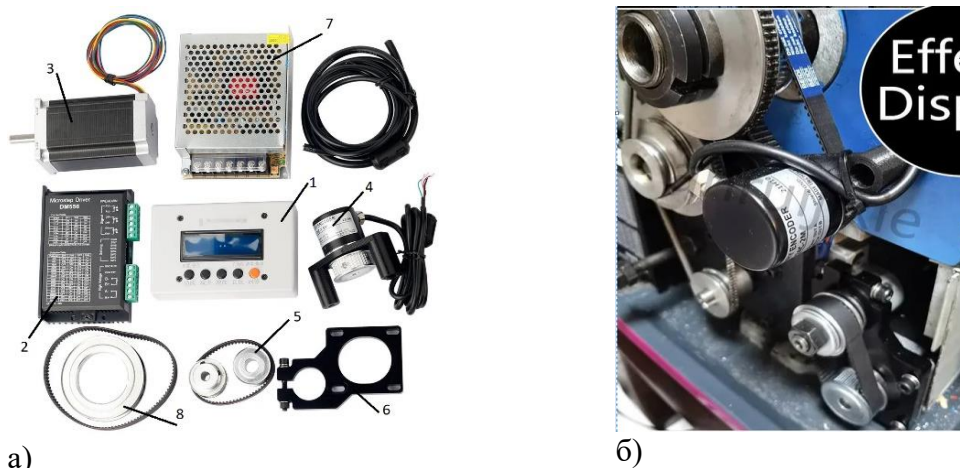


Рис. 2. Комплект для переоборудования механизма подачи токарного станка электронной гитарой: а – основные компоненты, б – в приводе ходового винта

В комплект электронной гитары входят следующие составные части (рис.1, а): 1 – цифровая панель управления с электронным блоком, 2 – драйвер шагового двигателя,

3- шаговый двигатель, 4 – энкодер (устройство преобразующее угловое перемещение в шпинделя в электронные сигналы), 5 – шкивы и зубчатый ремень для передачи движения от шагового двигателя на ходовой вал, 6 - соединительный кронштейн двигателя и ходового вала, 7 – импульсный блок питания, 8 – зубчатый шкив устанавливаемый на шпиндель станка. На рис. 3 представлен переоборудованный токарно-винторезный станок с приводом электронной гитары. Можно отметить, что в кинематической цепи привода ходового винта присутствует только шаговый двигатель с зубчато-ременной передачей. Тогда как ходовой вал выполняет функции только привода поперечной подачи и в перспективе может быть заменен сервоприводом.

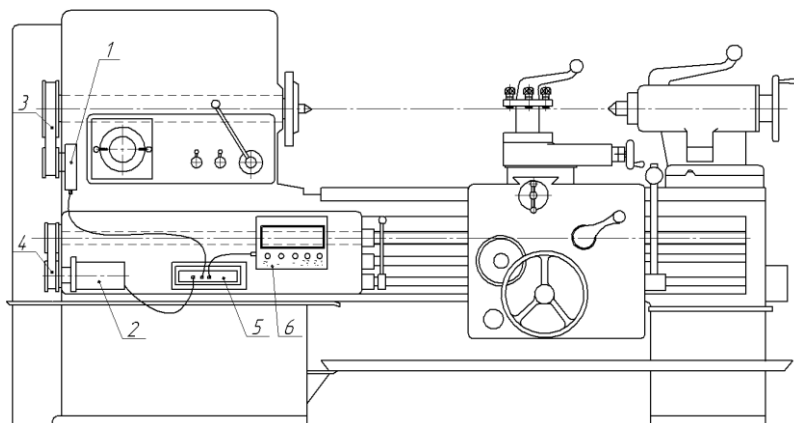


Рис. 3. Токарно-винторезный станок с механизмом электронной подачи: 1 – энкодер, 2 – шаговый двигатель, 3 – зубчато-ременная передача энкодера, 4 – зубчато-ременная передача ходового винта, 5 – драйвер управления шаговым двигателем, 6 – панель управления с электронным блоком

Основные манипуляции выполняются через панель управления, обладающую следующими функциями: установка количества импульсов на один оборот энкодера, количество импульсов шагового двигателя на один оборот ходового винта, установка шага ходового винта, возможность плавного включения ходового винта, возможность механизированного перемещения суппорта с различной скоростью, возможность установки продольной подачи в диапазоне от 0,01 до 0,4 мм/об, цифровая индикация продольного перемещения суппорта, возможность измерения угла поворота шпинделя.

При нарезании резьбы есть возможность установки ручного и автоматического режимов нарезания. В меню выбора параметров резьбы имеется метрическая, дюймовая и настраиваемая (с ручным заданием шага резьбы) а также возможность выбора направления винтовой линии (правое и левое). Для метрической резьбы доступны значения шага от 0,1 мм до 5 мм.

Панель управления устройства цифровой гитары представлена на рис.4. Основные управляющие клавиши предназначены для: выбора/сохранения параметров устройства (клавиша Fn), управляющие клавиши для изменения параметров режима (+/-), клавиша для изменения параметров подраздела меню (DIR) и клавиша запуска выбранного режима (RUN). Дополнительно клавишами со стрелками активируется быстрое продольное перемещение суппорта, скорость которого настраивается из меню.



Рис. 4. Панель управления электронной гитары

В меню настройки обработки резьбы устанавливаются: параметры резьбы, направление винтовой линии и длина обрабатываемого участка. Для этого при подводе резца к торцу детали обнуляют счетчик продольного перемещения и дальнейший отсчет линейного перемещения выполняется от данного положения. В меню режима нарезания резьбы доступны: ручной режим, автоматический и полуавтоматический режимы. В ручном режиме перемещение суппорта по проходам выполняется вручную по нажатию кнопки. Отвод к исходной точке - также по нажатию на кнопку в режиме ускоренной подачи. При полуавтоматическом режиме возврат в исходную точку выполняется автоматически, после чего выставляется задержка для задания следующей глубины прохода.

Также в меню настройки имеется режим автоматического точения по заданным координатам, определяющим длину обрабатываемого участка. В данном режиме продольный проход и возврат в исходную позицию выполняется автоматически, станочнику требуется выставлять только глубину резания по лимбу поперечной подачи.

#### **Заключение.**

Таким образом модернизация токарно-винторезных станков механизмом электронной подачи значительно упрощает наладку станка на обработку резьбы и установку параметров подачи, снижает требования к квалификации рабочих, а также увеличивает КПД станка и значительно упрощает его конструкцию. Кроме того, данный способ обеспечивает возможность обработки поверхностей в полуавтоматическом режиме с перемещением инструмента на заданную длину и возврат в исходную позицию.

**Список литературы:** 1. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных вузов/ Под ред. В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с. 2. Схиртладзе, А.Г. Технологическое оборудование машиностроительных производств: Учеб. пособие для машиностроительных спец. Вузов./ А.Г. Схиртладзе, В.Ю. Новиков; Под ред. Ю.М. Соломенцева. – 2 изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2001 – 407 с. 3. Работа с электронной гитарой токарного станка: Электронная Гитара Инструкция – TheWikiHow. [Электронный ресурс] Режим доступа: – <https://thewikihow.com/digestB0?ysclid=ln7avieggc807578866//> Последнее обращение - 01.10.2023 г. – Загл. с экрана.

УДК621

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ ЛОПАТОК ТУРБИН ГТД

Михайлов А.Н., Анастасьев А.В., Горбань В.В.

(кафедра ТМ, ДонНТУ, Донецк, ДНР, РФ)

Тел.: +79493497428; E-mail: anastasyev.av@yandex.ru

**Аннотация:** в статье рассмотрены особенности конструкции лопаток турбины ГТД и влияние эксплуатационных воздействий на характер и развитие процессов разрушения. Описаны основные особенности конструкции и рабочего процесса протекающего в турбине ГТД, а также его влияние на распределение температур по телу лопатки.

**Ключевые слова:** турбина, лопатка, износ, коррозия, температура, прогар.

В настоящее время газотурбинные двигатели приобрели широкое применение в авиации, флоте, а также в качестве силовых установок в промышленности. Существуют даже успешные образцы наземной техники с использованием ГТД. Расширение диапазона применения ГТД идет как по характеристикам полета летательных аппаратов (скорость полета, высота), так и по условиям их эксплуатации (температура и давление, климатические условия, содержание в воздухе пыли, капель воды и т.д.). При этом сфера использования определяет конструкцию, применяемые материалы и технологию изготовления. Газовая турбина в ГТД – один из основных агрегатов. В ней энергия нагретого движущегося газа превращается в механическую работу на валу [1]. Одним из ограничивающих факторов выступает максимальная температура, при которой может работать лопаточный аппарат турбины. При этом, в современных ГТД может входить до двух-трех

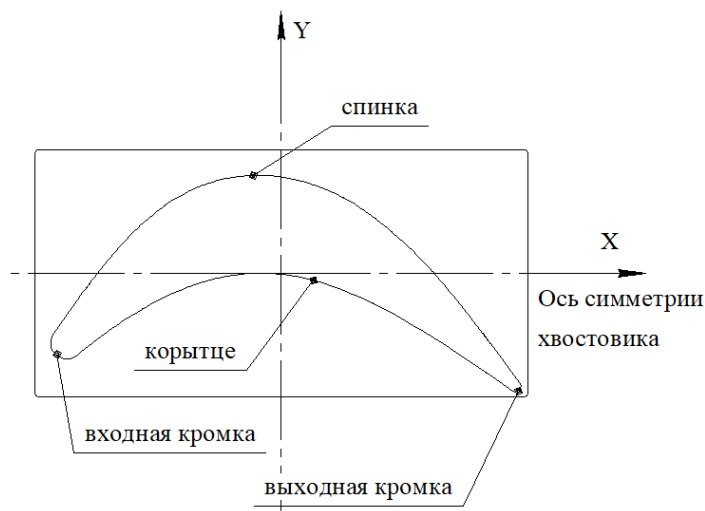


Рис.1. Основные элементы пера ЛТ

турбин, каждая из которых состоит из нескольких ступеней [2]. Особенностью работы лопаток турбины (далее – ЛТ) являются переменные нагрузки, высокие температуры рабочего газа, наличие высокоскоростного газового потока, содержащего мельчайшие твердые частицы.

Лопатки турбины ГТД работают при повышенных температурах в агрессивной среде, и подвергаются большим центробежным нагрузкам. Профильная часть и хвостовики лопаток кроме растяжения и изгиба от центробежных сил испытывают переменные напряжения от вибрационных и тепловых нагрузок.

Это характеризует их сложную пространственную геометрию, позволяющую им выполнять свою непосредственную функцию в условиях высоких температур, давления, воздействия механических и химических составляющих газового потока.



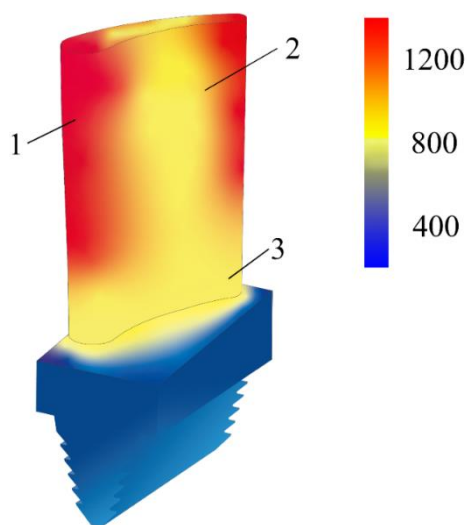


Рис. 2. Распределение температуры  
Тела лопатки турбины по зонам:  
1 – максимальной температуры;  
2 – высокой температуры;  
3 – умеренной температуры.

первой ступени турбины. Далее процесс проходит по аналогичному принципу на всех остальных ступенях турбины, число которых может достигать 4 и более, при этом температура рабочих газов падает с каждой ступенью. Как следствие такого неравномерного распределения температуры, под действием эксплуатационных воздействий, в зонах максимальной температуры происходит повреждение защитного покрытия, приводящее к катастрофическим разрушениям пера лопатки в дальнейшем.

Возникновение различных температурных зон на профиле пера лопатки (см. рисунок 2) приводит к неравномерным напряжениям и различным механизмам дальнейшего разрушения. Так, в зонах «высоких» температур наблюдается преждевременное интенсивное окисление из-за предельного уровня температур (более  $1150^{\circ}\text{C}$ ), и напряжения сжатия в покрытии, а в зонах «низких» температур – наблюдается возникновение термоусталостных трещин, приводящих к фрагментации покрытия и его разрушению.

При этом, как отмечалось ранее, лопатки турбины подвергаются не только температурным воздействиям, а и действию абразивных частиц, химически активной среды продуктов сгорания, вызывающих газовую коррозию и т.д. [6, 7]. Следует отметить, что стационарные ГТУ подвержены абразивному износу в меньшей степени, благодаря системам фильтрации воздуха, однако процесс абразивного износа присутствует и в них. При этом, как показывают многочисленные данные результа-

На рисунке 1 представлены основные функциональные элементы пера лопатки турбины, а именно: входная и выходная кромки, корыто пера лопатки, спинка пера лопатки (тело пера лопатки на рисунке не обозначено). При этом, с учетом сложной пространственной формы ЛТ, в процессе работы тело ЛТ подвергается действию высоких температур неравномерно [3] (рисунок 2).

Подобное распределение температуры вызвано как конструктивными особенностями ЛТ, такими как сложный аэродинамический профиль переменного сечения, так и особенностями движения рабочих газов при работе турбины ГТД представленными на рисунке 3. В процессе работы [4] поток рабочих газов высокой температуры из камеры сгорания (КС) попадает на лопатки соплового аппарата (СА) первой ступени турбины, откуда благодаря специфической форме профиля пера лопатки перенаправляется на лопатки рабочего колеса (РК)

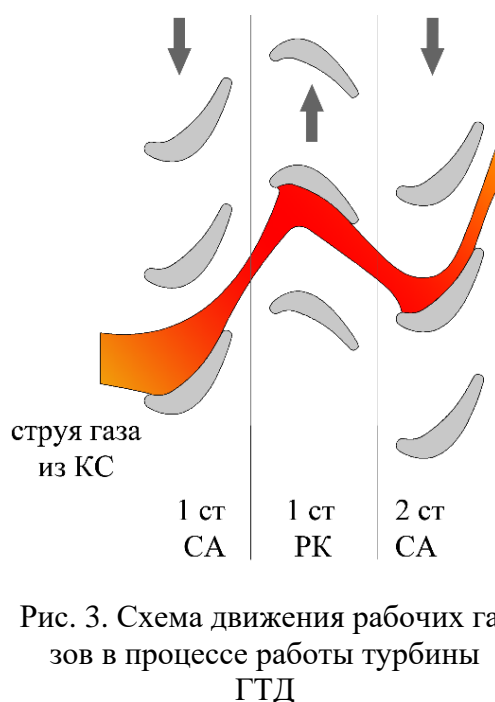


Рис. 3. Схема движения рабочих газов в процессе работы турбины ГТД

тов диагностики как ГТД, так и ГТУ – характерными зонами абразивных и коррозионных повреждений являются входная и выходная кромки преимущественно со стороны корытца (рисунок 4) [5, 6, 7].

В заключение можно отметить, что в представленной работе выполнен анализ

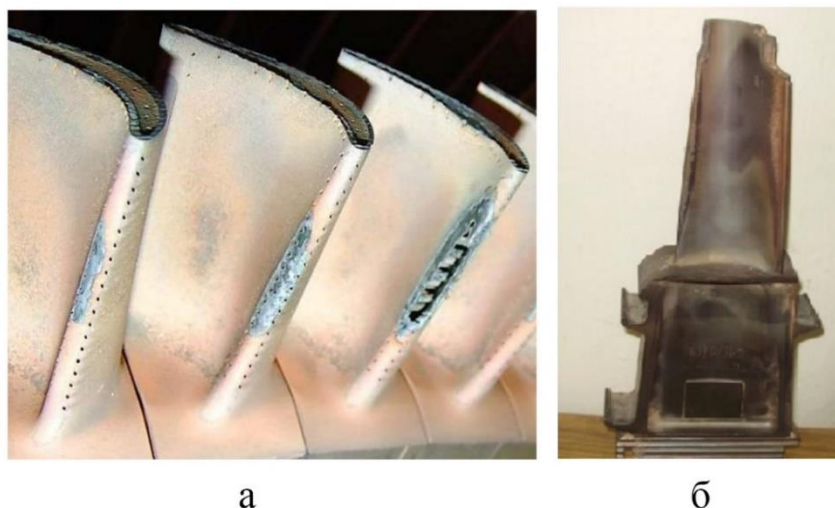


Рис. 4. Последствия коррозионных и абразивных повреждений лопаток турбин: а – прогар рабочих лопаток первой ступени турбины высокого давления двигателя ПС-90А, инициированный коррозионным повреждением [5]; б – рабочая лопатка первой ступени газотурбинной установки [6].

влияния эксплуатационных воздействий на характер разрушения ЛТ ГТД, при этом установлено, что зоны коррозионных и абразивных повреждений наиболее сильно проявляются в зонах максимальных температурных воздействий, что обусловлено комплексным характером действующих на них эксплуатационных функций.

**Список литературы:** 1. Перевощиков, С. И. Расчет эффективной температуры продуктов сгорания перед силовыми турбинами газотурбинных двигателей // Известия вузов. Нефть и газ. 2016. №1. 2. Бекнев, В.С. Турбомашини и МГД-генераторы газотурбинных и комбинированных установок: Учебное пособие / Москва: Машиностроение, 1983. – 392 с. 3. Reyhani M. R. et al. Turbine blade temperature calculation and life estimation-a sensitivity analysis // Propulsion and power Research. – 2013. – Т. 2. – №. 2. – С. 148-161. 4. Анализ условий работы поверхностных слоев рабочих лопаток турбины современных двигателей / М. А. Петрова, Мехди Саадатибаи, А. И. Тарасов / Научный вестник МГТУ ГА. 2015. №217. 5. Пивоварова, М.В. Ресурс деталей газотурбинных двигателей в условиях воздействия коррозионных сред / Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение, 2019. Т18, №3. С. 109-117. 6. Rani S., Agrawal A. K., Rastogi V. Failure analysis of a first stage IN738 gas turbine blade tip cracking in a thermal power plant // Case studies in engineering failure analysis. – 2017. – Т. 8. – С. 1-бинных двигателей типа SAM 146 / Наука России: цели и задачи: Сборник научных трудов по материалам XXI международной научной конференции, Екатеринбург, 10 июня 2020 года. Том Часть 2. – Екатеринбург: НИЦ «Л-Журнал», 2020. – С. 24-26.

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЧУГУНА ИНСТРУМЕНТАМИ ИЗ СТМ

**Папкина В.С., Грешникова В.В., Петряева И.А.**

*(кафедра «Технология машиностроения», ДонНТУ, г. Донецк)*

Современное инструментальное производство располагает широкой гаммой сверхтвердых инструментальных материалов (СТМ), обеспечивающих возможность существенного повышения производительности и качества поверхностного слоя при окончательной обработке деталей машин.

Этим материалам свойственны высокие износостойкость, теплопроводность, коррозионная устойчивость, низкий коэффициент трения, что предопределяет малый износ, надежность, долговечность, стойкость режущих инструментов. Наибольшее распространение при обработке сталей и чугунов имеют СТМ на основе кубического нитрида бора, так как, обладая высокой твердостью, они химически инертны к черным металлам.

Особенностью использования современных инструментов, оснащенных СТМ, является обработка на высоких скоростях резания, что приводит к существенному росту температур резания и требует разработки мероприятий по ее снижению. Одним из путей решения этой проблемы является определение оптимальных режимов обработки с учетом действующих ограничений и, прежде всего, ограничений по предельно допустимой температуре резания.

Условия эффективного применения СТМ для обработки деталей машин еще не достаточно изучены, поэтому дальнейшие исследования в этом направлении являются весьма актуальными.

Исследованием рационального использования СТМ занимались А.Н. Резников, Н.В. Новиков, С.А. Клименко, В.П. Жедь, Г.В. Боровский и др [1-4]. В современной литературе достаточно полно представлена информация о составе, свойствах и области применения СТМ. Наибольшее внимание уделено вопросам производства СТМ, анализу их свойств и функционального назначения.

Однако, вопросы количественной оценки эффективности использования СТМ по критерию повышения производительности на основе оптимизации режимов резания изучены недостаточно и требуют дальнейшего развития. В результате анализа современных инструментальных материалов обоснована целесообразность использования СТМ на основе кубического нитрида бора (сBN) при тонком точении чугуна. В результате анализа особенностей тонкого точения чугуна инструментами из сBN установлены зависимости основных параметров процесса резания: стойкости, температур, сил резания и шероховатости обработанной поверхности от параметров обработки [6].

Цель работы: повышение эффективности тонкого точения деталей из чугуна инструментами из СТМ.

Результаты известных экспериментальных исследований свидетельствуют о широких возможностях и преимуществах в сравнении с твердыми сплавами сверхтвердых инструментальных материалов на основе кубического нитрида бора сBN. В работе [7] представлены результаты исследования влияния на производительность процесса механической обработки литых центробежных прокатных валков, выполненных из отбеленных высоколегированных чугунов (с твердостью обрабатываемых поверхностей в пределах HSD 74-80 единиц), материала применяемых сменных пластин токарных резцов (рис. 1).



Рис. 1. Графики зависимостей стойкости инструмента  $T$  от скорости резания  $V$  при обработке отбеленных высоколегированных чугунов резцами с пластинами из различных инструментальных материалов [7]

Сравнив результаты экспериментальных исследований по определению влияния режимов резания на стойкость резцов с традиционными пластинами из ВКЗМ и новыми исследуемыми пластинами из гексанита следует отметить, что сплав ВКЗМ наиболее производителен на малых скоростях резания ( $V = 4,5 \dots 6$  м/мин) и высоких продольных подачах ( $S = 2 \dots 3$  мм/об).

Главным резервом повышения производительности обработки при использовании инструментов с режущими элементами на основе cBN является скорость резания (табл. 1) [2]. Наибольшая эффективность применения cBN имеет место при обработке высокотвердых сталей и чугунов.

Таблица 1. Скорости резания резцами, оснащенными cBN и твердым сплавом

Обрабатываемый материал	Скорость резания $V$ , м/с для инструментального материала	
	cBN	Твердый сплав
Сталь:		
150...250 HB	1,66...3,33	2,10...5,00
45...55 HRC	1,33...2,66	0,6...1,15
60...70 HRC	1,00...2,00	0,15...0,50
Серый чугун: 120...240HB	6,66...16,66	1,66...3,33
Высокопрочный чугун: 160...330 HB	5,00...13,33	0,83...1,66
Отбеленный и закаленный чугун: 40...60 HRC	0,83...2,50	0,15...0,31

СТМ на основе cBN широко применяется при обработке серого, высокопрочного и отбеленного чугуна. Для серого чугуна содержание феррита должно быть ниже 10%, а лучше ниже 5%. В противном случае стойкость будет невелика. При содержании свободного феррита менее 5% скорость резания составит 100-150 м/мин в зависимости от условий обработки.

Высокопрочный чугун также обрабатывают кубическим нитридом бора. Это оправдано при замене шлифования резанием, или при невозможности получения требуемого качества поверхности с помощью твердого сплава. Скорость резания составляет 120-200 м/мин.

При обработке чугуна кубическим нитридом бора рекомендуется глубина резания 0,1-3мм, подача не менее 0,1мм/об. Подачу необходимо увеличивать до тех пор, пока позволяет качество получаемой поверхности – улучшится и производительность, и стойкость.

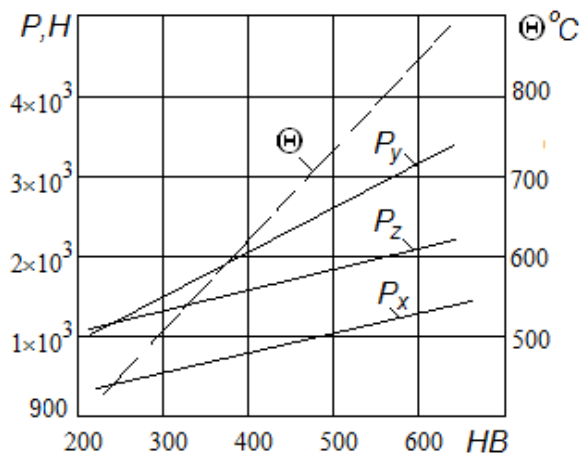


Рис. 2. Графики зависимости составляющих силы и температуры резания от твердости чугунов

привода рабочих механизмов станков, прочности и жесткости звеньев технологической системы, нагрузок на контактных поверхностях режущих инструментов. Температура резания характеризует термонапряженность процесса в целом, влияет на состояние обрабатываемой поверхности и интенсивность изнашивания контактных поверхностей инструмента, является определяющим показателем при выборе инструментального материала по критерию его температуростойкости.

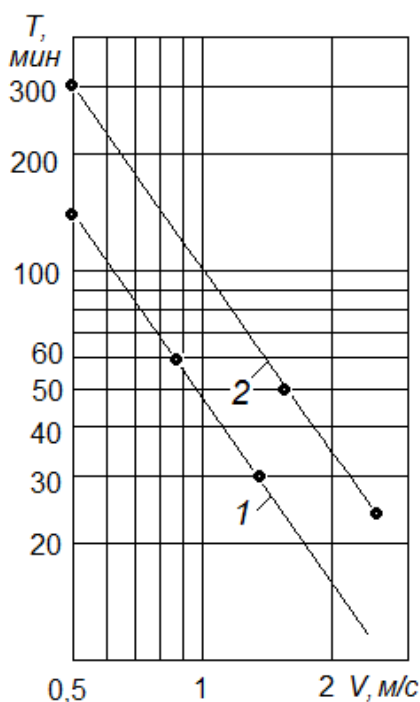


Рис. 3. Графики зависимости стойкости от скорости резания: 1 – ниборит; 2 – киборит

Технологические особенности эффективного применения лезвийных инструментов из сверхтвердых материалов обусловлены спецификой их физико-механических свойств и относительно высокой стоимостью. Поэтому при внедрении такого инструмента целесообразно проводить технико-экономическое обоснование области применения и выбора режимов резания методом оптимизации с наложением технических ограничений на показатели процесса.

Силы и температура резания являются важнейшими показателями многофакторного управления просом резания. Составляющие силы резания служат исходными данными для расчета мощности

привода рабочих механизмов станков, прочности и жесткости звеньев технологической системы, нагрузок на контактных поверхностях режущих инструментов. Температура резания характеризует термонапряженность процесса в целом, влияет на состояние обрабатываемой поверхности и интенсивность изнашивания контактных поверхностей инструмента, является определяющим показателем при выборе инструментального материала по критерию его температуростойкости.

Среди параметров процесса резания скорость оказывает наибольшее влияние на интенсивность изнашивания, температуру резания и стойкость инструмента. Графики зависимости стойкости от скорости резания представлены на рис. 3 для условий: обработка отбеленного низколегированного (HB530...550) чугуна при  $S = 0,3$ мм/об,  $t = 1,5$ мм различными инструментальными материалами – ниборитом и киборитом [8].

Различие между киборитом и ниборитом (композитами на керамической и металлической связке) заключается в большем периоде стойкости. В соответствии с этим более износостойкий киборит целесообразно применять для тонкого точения с малыми подачами и повышенной скоростью резания. Главное достоинство ниборита – высокая прочность среди композитов, способность выдерживать большие сечения среза.

Результаты исследований по обеспечению шероховатости обработанной поверхности  $R_a$  при тонком точении чугуна высоколегированного износостойкого чугуна ИЧ210Х28Г3С (HB540...610) в зависимости от подачи  $S$  и скорости резания  $V$  представлены на рис. 4 [8].

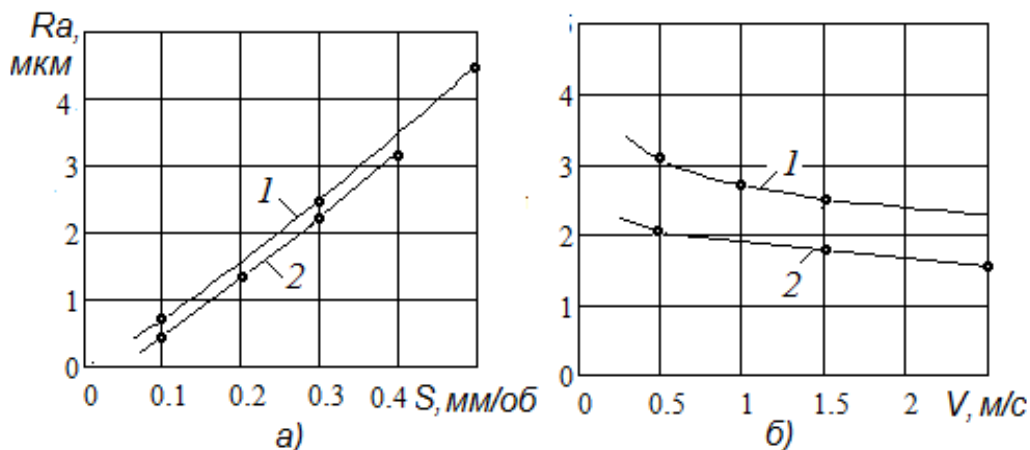


Рис. 4. Графики зависимости шероховатости обработанной поверхности  $R_a$  от подачи  $S$  – а) и скорости резания  $V$  – б): 1 – ниборит; 2 – киборит

Как и в случае обработки других обрабатываемых материалов, наибольшее влияние на шероховатость оказывает подача, влияние скорости значительно меньше.

Основные существующие закономерности протекания процесса резания при тонком точении чугуна, выраженные эмпирическими зависимостями сил  $P_z$ , температур  $\Theta$ , стойкостей  $T$ , шероховатости обработанной поверхности  $R_a$  от условий обработки, установлены в работах [8, 9]:

$$P_z = 1149t^{0,85} S^{0,68} V^{-0,15} \left(1 - \frac{\gamma}{90}\right)^{0,6} (1+r)^{0,15} (1+h)^{0,6} \left(\frac{HB}{200}\right)^{0,55};$$

$$\Theta = 481t^{0,10} S^{0,19} V^{0,3} \left(1 - \frac{\gamma}{90}\right)^{0,4} (1+r)^{-0,20} (1+h)^{0,6} \left(\frac{HB}{200}\right)^{0,65};$$

$$T = C_T t^{-0,3} S^{-0,75} V^{-1,55} \left(1 - \frac{\gamma}{90}\right)^{-0,75} (1+r)^{0,11} (1+h)^{-1,4} \left(\frac{HB}{200}\right)^{-1,4} \tau_h K_U K_M;$$

$$R_a = 19,83t^{0,10} S^{1,15} V^{-0,18} \left(1 - \frac{\gamma}{90}\right)^{-0,1} (1+r)^{-0,55} (1+h)^{0,6} \left(\frac{HB}{200}\right)^{-0,2},$$

где  $t$  – глубина резания;  $S$  – подача;  $V$  – скорость резания;  $\gamma$  – передний угол;  $r$  – радиус при вершине лезвия инструмента;  $h$  – износ по задней поверхности лезвия;  $HB$  – твердость обрабатываемой поверхности по Бринеллю;  $C_T$  – поправочный коэффициент на стойкость инструмента;  $\tau_h$  – коэффициент, учитывающий влияние предельно допустимого износа на стойкость инструмента;  $K_U, K_M$  – поправочные коэффициенты, учитывающие влияние марок инструментального и обрабатываемого материалов:  $K_U = 1$  для ниборта  $K_U = 1,35$  для кибортита;  $K_M = 0,8$  для высокохромистого чугуна;  $\tau_h = h + 7,04h^2 - 5,28h^3$  – коэффициент, учитывающий влияние принятого предельно допустимого износа на стойкость инструмента.

Представленные зависимости позволяют для указанных параметров процесса тонкого точения прогнозировать силовые, температурные, стойкостные характеристики процесса резания, а также шероховатость обработанной поверхности. Кроме того, эти зависимости в качестве технических ограничений участвуют в решении задач оптимизации режимов резания по критериям максимальной производительности и минимальной себестоимости.

На основании анализа современных инструментальных материалов обоснована целесообразность использования СТМ на основе кубического нитрида бора при тонком точении чугунов, что позволяет в сравнении с твердыми сплавами повысить стойкость инструмента в 3-5 раз, производительность обработки в 2-3 раза.

Исследованы особенности тонкого точения чугунов инструментами из cBN и проанализированы существующие зависимости основных параметров процесса резания - стойкости, температур, сил резания и шероховатости обработанной поверхности от режимов резания.

**Список литературы:** 1. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справ./Под ред. А.Н.Резникова – М. Машиностроение, 1977. – 391с. 2. Инструменты из сверхтвердых материалов / под ред. Н.В. Новикова и С.А. Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 608с. 3. Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов: Справ./Под ред. Н.В. Новикова – К.: Техника. 1988. – 108с. 4. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение: [Справочник] / В.П. Жедь, Г.В. Боровский, Я.А. Музыкант, Г.М. Ипполитов. — М.: Машиностроение, 1987. - 320с. 5. Ивченко, Т. Г. Исследование тепловых потоков и температур резания при обработке инструментами с износостойкими покрытиями / Т. Г. Ивченко, И. А. Петряева // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: – Донецк: ДонНТУ, 2015. – № 1(51). – С. 84-89. 6. Епишева, М.А. Анализ тепловых потоков и температур в зоне резания при тонком точении резцами из сверхтвердых материалов / Т.Г. Ивченко, А.А. Андреева, М.А. Епишева // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: – Донецк: ДонНТУ. - 2020. - № 2 (69). – С.16-22. 7. Шумакова Т.А. Повышения производительности механической обработки деталей из отбеленных высоколегированных чугунов / Т.А. Шумакова // Технологии и оборудование производства. - 2015. – № 11. – С.108-115. 8. Дидык, Р.П. Силы и температуры резания при точении композитами износостойких чугунов / Р.П. Дидык, Ю.Г. Кравченко, В.А. Мелещик // Зб. наукових праць НГУ. – Днепропетровск: НГУ, 2002. – С.64-69. 9. Мелещик В.А. Шероховатость поверхности износостойких чугунов, обработанных резцами из композитов / Системные технологии.. – 2002. - №1(18). – 142с.

УДК 37.013.32

## ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПРИ ОБУЧЕНИИ ПЕРСОНАЛА ДЛЯ РАБОТЫ С ШАХТНЫМ СПЕЦОБОРУДОВАНИЕМ

Приходченко Е.И., Григорьев С.А.

(кафедра ИПЛ, ДонНТУ, г. Донецк)

Тел.: +7 (949) 3138838; Email: sergalexgr@yandex.ru

**Аннотация:** Выявлены необходимые педагогические приемы для эффективного и максимально быстрого обучения персонала для работы с автономными шахтными установками.

**Ключевые слова:** Обучение персонала, опреснение, эффективность, шахтное оборудование, педагогические приемы

### 1. Введение.

Работа в условиях повышенной опасности может быть связана с различными рисками для здоровья и безопасности сотрудников (рис.1). [1]

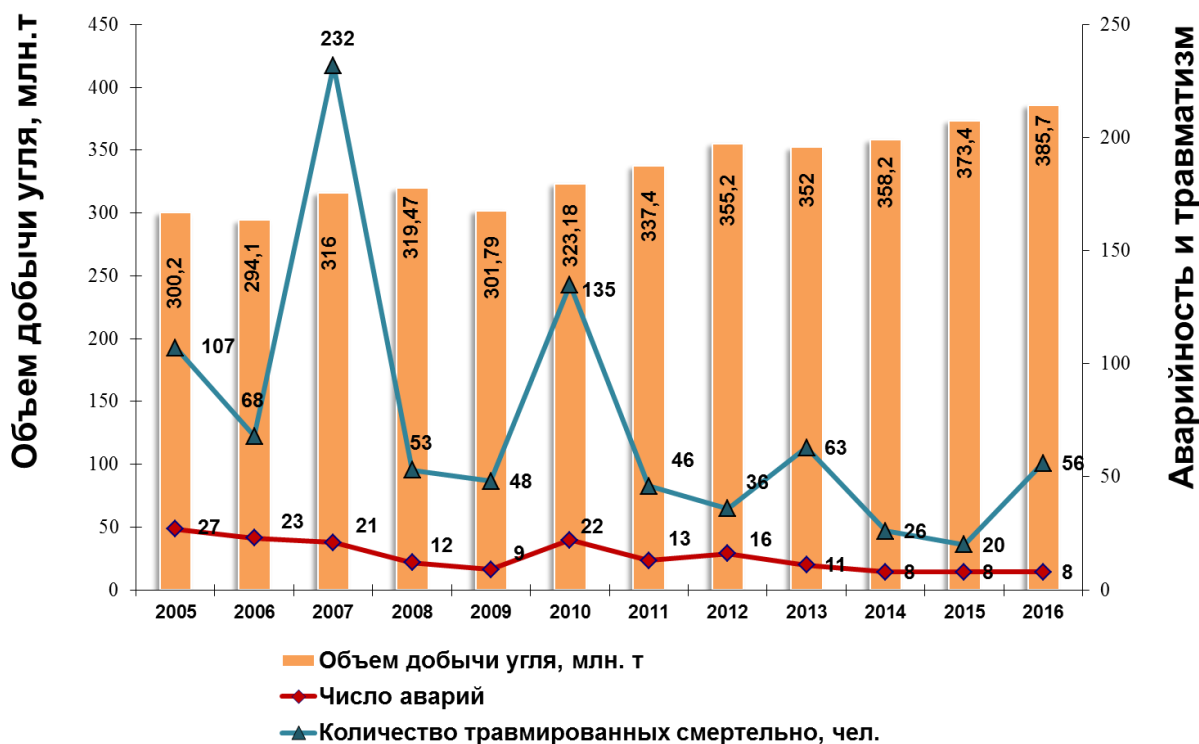


Рис. 1. Динамика объемов добычи угля, производственного травматизма со смертельным исходом и аварийности за 2005 – 2016 годы

Некоторые из актуальных проблем, которые могут возникнуть при работе в таких условиях [2, 3], включают:

1. Недостаток информации и обучения: сотрудники могут не иметь достаточного количества информации о том, как работать в условиях повышенной опасности и как избежать потенциальных рисков.



2. Недостаточная подготовка: если сотрудники не были должным образом подготовлены к работе в условиях повышенной опасности, это может привести к ошибкам и неправильным решениям, что может повлечь серьезные последствия.

3. Отсутствие контроля: Некоторые организации могут не обеспечить достаточный контроль за работой сотрудников в условиях повышенной опасности. Это может привести к игнорированию правил техники безопасности и увеличению рисков.

4. Недостаточное финансирование: отсутствие средств может привести к тому, что сотрудники не будут обеспечены необходимым оборудованием и средствами защиты, что может увеличить риски для здоровья и жизни работников.

5. Недостаток мотивации: некоторые сотрудники могут быть не мотивированы работать в условиях повышенной опасности из-за низкой оплаты труда или других факторов.

**Целью работы** является предложение решения проблем при обучении персонала для работы с шахтным спецоборудованием.

## **2. Основное содержание работы.**

Для решения этих проблем необходимо проводить обучение и инструктаж сотрудников, обеспечивать их необходимым оборудованием и защитой, а также обеспечивать достаточный контроль и финансирование. Кроме того, важно создавать условия для мотивации сотрудников и предоставлять им возможности для развития и роста в профессиональном плане.

Обучение персонала для работ повышенной опасности требует использования педагогических приемов [4], которые помогут сотрудникам лучше понимать и выполнять свои обязанности. Вот несколько примеров педагогических приемов, которые можно использовать при обучении сотрудников:

1. Использование наглядных материалов: создание видеороликов, презентаций, фотографий или схем, которые наглядно показывают, как правильно выполнять работу.

2. Практические упражнения: проведение практических занятий, где сотрудники могут применить свои знания на практике. Например, можно провести тренинг по использованию средств индивидуальной защиты или показать, как правильно работать с оборудованием.

3. Ролевые игры: сотрудники могут играть роли, чтобы лучше понять, как они должны действовать в различных ситуациях. Это помогает им научиться принимать решения и действовать быстро и эффективно.

4. Обратная связь: после каждого занятия или тренировки сотрудники должны получать обратную связь от своих наставников. Это поможет им понять, что они делают правильно, а что нужно улучшить.

5. Мотивация: необходимо поощрять сотрудников за их успехи и достижения. Это может быть как материальное вознаграждение, так и признание их заслуг перед коллегами.

Использование педагогических приемов при обучении персонала поможет им лучше понимать свои обязанности и работать более эффективно.

Шахтное спецоборудование – это оборудование, которое используется в шахтах для выполнения различных задач, таких как добыча угля, руды и других полезных ископаемых. Особенности такого оборудования могут включать в себя следующие характеристики:

1. Безопасность: должно быть безопасным для работников, которые его используют. Оно должно быть изготовлено из прочных материалов, иметь надежную конструкцию и быть легко доступным для обслуживания.

2. Надежность: должно работать надежно и без сбоев. Оно должно иметь высокую производительность и быть способно выдерживать большие нагрузки.

3. Удобство использования: должно быть удобным для использования работниками. Оно должно легко управляться и быть простым в обслуживании.

4. Экологическая безопасность: должно соответствовать экологическим нормам и требованиям. Оно должно минимизировать воздействие на окружающую среду и не загрязнять ее.

5. Экономичность: должно быть экономически выгодным для использования. Оно должно быть недорогим в обслуживании и эксплуатации.

6. Универсальность: может быть использовано для различных типов работ в шахте, таких как бурение, добыча, транспортировка и т.д.

К шахтному спецоборудованию относятся и автономные необслуживаемые шахтные установки (АНШУ), которые обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными установками, обслуживаемыми персоналом. [5, 6]

1. Надежность: АНШУ не требуют регулярного технического обслуживания и ремонта, что значительно повышает их надежность.

2. Безопасность: отсутствие обслуживающего персонала на месте установки снижает риск несчастных случаев и аварий.

3. Экономичность: благодаря отсутствию необходимости в постоянном техническом обслуживании, АНШУ являются более экономичными по сравнению с традиционными установками.

4. Гибкость: АНШУ могут быть легко перемещены на другое место или установлены на новой шахте, что позволяет быстро реагировать на изменения в условиях эксплуатации.

5. Экологичность: отсутствие необходимости в техническом обслуживании и ремонте снижает выбросы вредных веществ в окружающую среду.

6. Простота эксплуатации: АНШУ просты в эксплуатации и не требуют высокой квалификации обслуживающего персонала.

**3. Выводы.** Исследуемые АНШУ требуют периодического технического обслуживания (текущие, средние и капитальные ремонты). Таким образом, обучение персонала для работы с подобными установками радикально снижают риски, связанные с потерей здоровья или жизни.

**Список литературы:** 1. Угольная промышленность - В области промышленной безопасности за 2016 / [Электронный ресурс] // Руководство, инструкция по применению : [сайт]. – URL: <https://rykovodstvo.ru/exspl/26245/index.html?page=2> (дата обращения: 02.05.2023). 2. Работы повышенной опасности / [Электронный ресурс] // Кадровое дело : [сайт]. – URL: <https://www.kdelo.ru/art/385287-raboty-povyshennoy-opasnosti-18-m8> (дата обращения: 05.05.2023). 3. ПОТ Р О-14000-005-98 / [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005976> (дата обращения: 10.05.2023). 3. Безопасные методы и приемы выполнения работ / [Электронный ресурс] // Центр обеспечения охраны труда : [сайт]. – URL: <https://www.ohrana-trud.ru/blog/bezopasnye-metody-i-priemy-vypolneniya-rabot/> (дата обращения: 15.05.2023). 4. Кучумова А. Без человека в кабине [Текст] / А. Кучумова // Добывающая промышленность. – 2019. – № 2 (14). – С. 92-96. 5. Коротков Р. Какой будет шахта будущего / Р. Коротков [Электронный ресурс] // ТЕХ-НОmagazine : [сайт]. — URL: <https://t-magazine.ru/pages/epiroc-mineofthefuture/> (дата обращения: 30.05.2023).

УДК 378.14

**РОЛЬ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО МАСТЕРСТВА В ФОРМИРОВАНИИ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ  
ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ**

**Приходченко Е.И.**, (кафедра ИПЛ, ФГБОУ ВО «ДОННТУ», г. Донецк, ДНР, Россия)  
**Сидоров В.А., Пичахчи А.В.** (кафедра МОЗЧМ, ФГБОУ ВО «ДОННТУ»,  
г. Донецк, ДНР, Россия)

***Аннотация.** В статье рассматривается роль педагогического мастерства в формировании профессиональной компетентности преподавателя высшей школы, подчеркивается необходимость не только знания предметной области, но и умения излагать этот предмет с высокой эффективностью и адаптировать методики к различным категориям студентов, а также умение анализировать и оценивать результаты обучения.*

***Ключевые слова:** педагогическое мастерство, преподаватель, обучение*

**1. Постановка проблемы.** Одной из важнейших задач современного высшего образования является формирование высококвалифицированных специалистов, готовых к решению сложных профессиональных задач на практике. Однако, невозможно достичь этой цели без квалифицированных и опытных преподавателей, которые обладают не только знаниями и навыками в своей отрасли, но и педагогическим мастерством.

Роль педагогического мастерства в формировании профессиональной компетентности преподавателя высшей школы является ключевой. Именно от уровня мастерства преподавателя зависит качество получаемого образования студентами, их уровень знаний и навыки, которые будут использоваться ими в будущей профессиональной деятельности.

Однако, не все преподаватели обладают достаточным уровнем педагогического мастерства, что приводит к снижению качества образования, увеличению оттока студентов и недовольству работодателей. Поэтому, вопрос формирования педагогического мастерства преподавателей высшей школы является актуальной проблемой современного высшего образования.

**Целью работы** является анализ и описание роли педагогического мастерства в формировании профессиональной компетентности преподавателя высшей школы для повышения качества образовательного процесса и эффективности обучения.

**2. Основная часть.** Педагогическое мастерство – это умение сочетать знания, навыки и личностные качества, необходимые для успешной педагогической деятельности. Оно предполагает умение планировать и организовывать учебный процесс, создавать благоприятные условия для обучения, использовать современные технологии и эффективно взаимодействовать со студентами. Роль педагогического мастерства в профессиональной компетентности преподавателя высшей школы заключается в совокупности знаний, навыков и опыта, благодаря которым преподаватель способен успешно реализовывать свою профессиональную деятельность с учетом требований современного высшего образования.

Педагогическое мастерство, в совокупности с профессиональными знаниями и опытом, имеет прямую связь с формированием профессиональной компетентности преподавателя высшей школы. В рамках профессиональной компетентности преподаватель должен проявлять определенные качества, которые являются продуктом педагогического мастерства [1].

Прежде всего, педагогическое мастерство предполагает умение планировать и организовывать учебный процесс, выбирать соответствующие методы и формы обучения, учитывая потребности и интересы студентов. Отличительной чертой является глубокое понимание обучаемого материала, что позволяет преподавателю сформировать у студентов критическое мышление, аналитический подход и способность к самостоятельной работе.

Педагогическое мастерство направлено на создание эффективной образовательной среды, которая поддерживает учебный процесс и позволяет студентам максимально использовать свой потенциал. В этой связи, профессиональная компетентность преподавателя заключается в умении создавать привлекательные и интересные условия для обучения, способствующие успешной реализации образовательных целей [2].

Кроме того, педагогическое мастерство включает в себя навыки работы в коллективе, умение эффективно взаимодействовать со студентами и учитывать их индивидуальные особенности. Важным аспектом профессиональной компетентности преподавателя является наличие коммуникативных навыков и умение применять на практике различные подходы к общению с студентами [3].

Педагогическое мастерство играет ключевую роль в повышении качества образования. Преподаватель, обладающий высоким уровнем педагогического мастерства, способен создавать эффективные учебные ситуации, вовлекающие студентов в активный процесс обучения и развивающие их критическое мышление.

Педагогическое мастерство позволяет преподавателю более глубоко понимать потребности и особенности каждого студента, учитывать их уровень знаний, интеллектуальные и социальные способности, что в свою очередь способствует формированию у студентов высокого уровня компетенций и профессиональных качеств.

Преподаватель, обладающий педагогическим мастерством, умеет эффективно использовать различные методы и приемы обучения, включая интерактивные технологии, расширять свой методический арсенал, внедряя в свою практику инновационные технологии. Это способствует повышению мотивации студентов к изучению дисциплин, обеспечивает их активное участие в учебном процессе и укрепляет контакты преподавателя и студентов [4].

Педагогическое мастерство помогает преподавателю анализировать результаты педагогической деятельности, выявлять ошибки и недостатки и определять возможности для улучшения своей работы. Это позволяет повышать качество образования и получать лучшие результаты обучения.

Для формирования педагогического мастерства преподавателей необходимо наличие определенных компетенций и умений, которые будут содействовать развитию высококачественных образовательных процессов. Ниже перечислены основные компетенции и умения, которые являются необходимыми для достижения педагогического мастерства:

1. Компетентность в области содержания учебной программы и требований к подготовке студентов в конкретной области знаний и профессии.
2. Умение планировать, организовывать и проводить лекции, практические занятия, лабораторные работы и другие виды учебных мероприятий, обеспечивая их доступность и понятность для студентов.
3. Культура межличностного общения для создания благоприятной учебной атмосферы в группе, уважительного отношения к студентам и построения доверительных отношений.

4. Умение стимулировать учебную активность студентов, применять разнообразные методики обучения, включая интерактивные технологии и технологии проектного обучения.

5. Компетентность в области диагностики и контроля знаний студентов, определения индивидуальных способностей каждого студента и соответствующая адаптация учебного материала.

6. Умение анализировать и оценивать эффективность учебной деятельности и разрабатывать пути ее улучшения в современном образовательном пространстве.

7. Наличие высокого уровня культуры и образованности, профессиональное самосовершенствование и развитие [5].

Наличие этих компетенций и умений, является дополнением к искусности в использовании этих знаний в определенных жизненных и учебных ситуациях. Педагогическое мастерство является результатом постоянного и самосознательного развития, достигаемого при активном включении в контролируемые ситуации, внедрении передовых педагогических технологий и постоянном обновлении своих знаний и компетенций.

Педагогическая практика является неотъемлемым элементом формирования педагогического мастерства преподавателей. Она позволяет объединить теоретические знания и практический опыт воедино, а также проверить эффективность применения педагогических инноваций.

Во время педагогической практики преподаватели имеют возможность руководить образовательным процессом, взаимодействовать со студентами, применять различные варианты методик и технологий, а также совершенствовать свои профессиональные навыки. Это отличный способ для преподавателей получить обратную связь от студентов и коллег. Благодаря этому преподаватели получают информацию о своих сильных и слабых сторонах, а также используемых ими методологиях. Данная обратная связь позволяет преподавателям улучшить свою работу, чтобы достичь оптимальных результатов для своих студентов.

Педагогическая практика является важным элементом формирования педагогического мастерства и необходима для обеспечения высокого качества образования и успешной карьеры преподавателей.

### **3. Основные выводы по работе.**

1. Педагогическое мастерство является неотъемлемой частью профессиональной компетентности преподавателя высшей школы.

2. Педагогическое мастерство включает в себя умение преподавать предмет с высокой эффективностью, адаптировать методики к различным категориям студентов и использовать информационные ресурсы.

3. Профессиональная компетентность преподавателя включает в себя знание науки, общей культуры, умение работать с информационными ресурсами и методами информатизации обучения, а также умение анализировать и оценивать результаты обучения.

4. Важно поддерживать педагогическое мастерство преподавателей высшей школы на высоком уровне, проводя регулярные педагогические тренинги, семинары и конференции.

**Список литературы:** 1. Макарова Е.А. Особенности профессионально – ориентированного обучения в компетентном образовательном пространстве / Е.А. Макарова, Е.Л. Макарова. – Москва: ИНФРА-М. – 2017. – 128 с. 2. Шарипов Ф.В. Профессиональная компетентность преподавателя вуза / Ф.В. Шарипов // Высшее образование сегодня.

– 2010. – №1. – С. 72-77. 3. Кязимов К.Г. Формирование и развитие инновационной образовательной среды вуза / К.Г. Кязимов. – Москва: ИД «АТИСО». – 2012. –130 с. 4. Буланова М.В. Педагогика и психология высшей школы: Учебное пособие. – Ростов н/Д: Феникс. – 2002. – 544 с. 5. Ким И.Н. Формирование базовых составляющих профессиональной компетентности преподавателя в рамках ФГОС / И.Н. Ким, С.В. Лисиенко // Высшее образование в России. – 2012. – №1. – С.16-24.

## УСТРАНЕНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА, ВОЗНИКАЮЩЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЗАШТЫБОВЫВАНИЯ НИЖНИХ РОЛИКОВ, ПУТЁМ МОДЕРНИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ КОНВЕЙЕРА

**Синельцев Ю.П.** (кафедра мехатронных систем машиностроительного оборудования,

ФГБОУ ВО «ДонНТУ», г. Донецк, ДНР),

**Дидиченко И.О.** (кафедра транспортных систем и логистики имени И. Г. Штокмана, ФГБОУ ВО «ДонНТУ», г. Донецк, ДНР)

**Аннотация.** В статье показан простой, доступный способ устранения эргономической проблемы, возникающей при эксплуатации ленточного конвейера, в результате, заштыбовывания нижних роликов, путём модернизации конструкции конвейера.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, штыб, ролики, эргономическая проблема, модернизация конструкции, отсутствие эргономической проблемы.

### 1. Введение

Анализ процесса эксплуатации ленточного конвейера [1] показал, что при транспортировке сыпучих, влажных грузов, в частности, угля, происходит налипание влажных частиц груза, далее в тексте – штыба, на рабочую сторону ленточного конвейера. В существующей конструкции конвейера, в процессе работы сыпучий материал грузится на рабочую сторону конвейерной ленты. Конвейерная лента, своей не рабочей стороной, прокатывается по верхним роликам конвейерного става, и транспортирует сыпучий груз к следующему конвейеру или к приёмному бункеру [2]. После прохождения обводного барабана и приводных барабанов конвейера, конвейерная лента, рабочей стороной, вместе с налипшими частицами штыба, оказывается обёрнутой вниз, и прокатывается по нижним роликам конвейерного става. В результате, штыб, вращающимися нижними роликами, сбрасывается с рабочей стороны ленты на почву. Пространство между почвой и нижними роликами заполняется штыбом, и ролики перестают вращаться. Работники, работающие на этом конвейере, вынуждены чистить эти нижние ролики, убирать, постоянно, скапливающийся под роликами штыб на конвейер. Это очень трудная и утомительная работа. При транспортировке влажных сыпучих грузов эта утомительная и бессмысленная работа очень затрудняет эксплуатацию ленточных конвейеров, и становится большой эргономической проблемой.

Целью работы является исследование всего процесса транспортировки влажных сыпучих материалов ленточным конвейером, и поиск простого, приемлемого, доступного способа устранения эргономической проблемы, возникающей при транспортировке влажных сыпучих материалов ленточным конвейером.

## 2. Основное содержание работы

Анализ всего процесса транспортировки влажных сыпучих материалов ленточным конвейером показал, что пространство между почвой и нижними роликами заполняется штыбом, и ролики перестают вращаться в результате прокатывания ленты, по нижним роликам конвейерного става рабочей стороной, вместе с налипшими на ленту частицами сыпучего груза (рис.1).

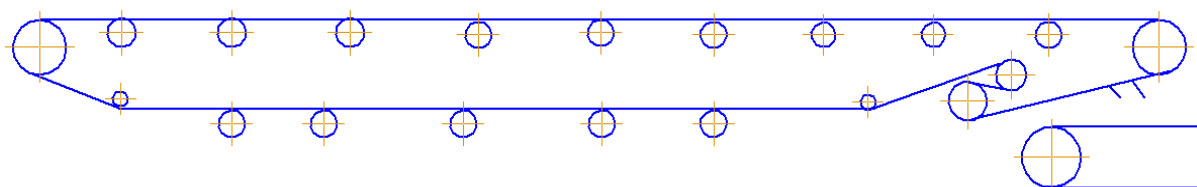


Рис. 1

Это происходит вместо прокатывания ленты по нижним роликам чистой, нерабочей стороной без налипших на ленту частиц сыпучего груза. Ранее уже было сказано, что нижние ролики, вращаясь, отжимают и сбрасывают с рабочей стороны ленты налипшие частички влажного сыпучего груза на почву под ролики, заполняя пространство между почвой и роликами. Для устранения этого обстоятельства необходимо прокатывать конвейерную ленту по нижним роликам не рабочей стороной ленты вместе с налипшими на ленту частицами сыпучего груза, а чистой стороной конвейерной ленты, оставляя все налипшие на ленту частицы сыпучего груза на рабочей стороне ленты.

Далее показан простой, приемлемый, легко осуществимый, удобный в эксплуатации, способ осуществления процесса направления конвейерной ленты на нижние ролики, и прокатывания ленты по нижним роликам нерабочей стороной (рис. 2).

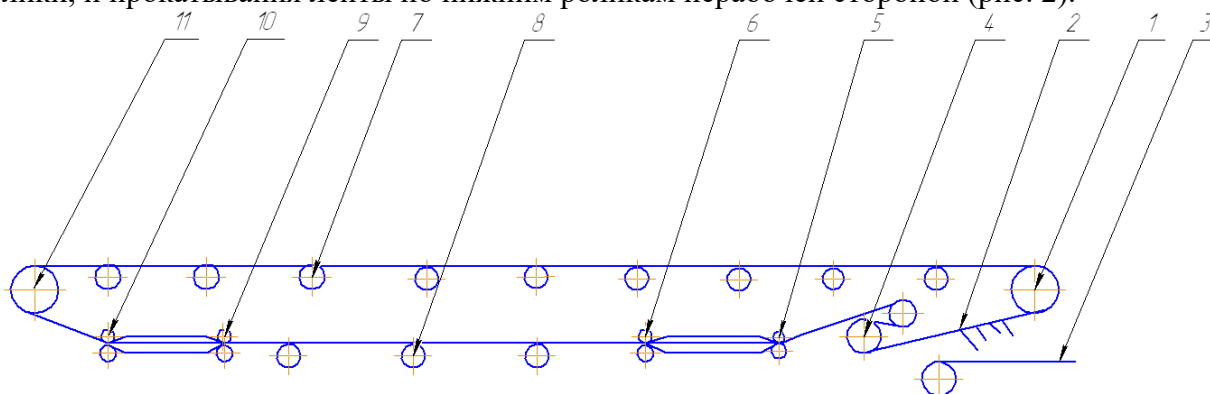


Рис. 2

После прохождения головного барабана 1 лента подаётся на приводные барабаны 4. На этом участке очиститель 2 часть налипшего груза сбрасывает на следующий ленточный конвейер 3. Далее, ленту, выходящую от приводных барабанов нужно пропустить через первый передний блок двух прямых направляющих роликов 5. Далее, нужно повернуть ленту на  $180^\circ$ , и пропустить через второй передний блок двух прямых направляющих роликов 6. Далее, лента прокатывается по нижним роликам конвейерного става уже чистой, нерабочей стороной, без налипших на ленту частиц сыпучего груза, и нижние ролики, вращаясь, не отжимают и не сбрасывают с рабочей стороны ленты, налипшие частички влажного сыпучего груза на почву под ролики. После прохождения по

нижним роликам по всей длине конвейера, ленту нужно пропустить через первый задний блок двух прямых направляющих роликов 9. Далее, нужно повернуть ленту на 180°, и пропустить через второй задний блок двух прямых направляющих роликов 10. Пройдя блок направляющих роликов, лента обходит натяжной барабан 11, и, рабочей стороной вверх, нижней, чистой стороной вниз, прокатывается по нижним роликам конвейерного става.

В результате, такой модернизации конструкции конвейера, лента прокатывается по нижним роликам конвейерного става уже чистой, нерабочей стороной, без налипших на ленту частиц сыпучего груза. Нижние ролики, вращаясь, не отжимают и не сбрасывают с рабочей стороны ленты, налипшие частички влажного сыпучего груза на почву под ролики, штыб не заполняет пространство между почвой и роликами.

В результате, исчезает необходимость убирать штыб с почвы под нижними роликами конвейерного става. Таким простым, удобным, доступным, легко осуществимым способом устраняется это обстоятельство, возникновения этой эргономической проблемы. И эргономическая проблема исчезает!

### **3. Выводы**

В результате, проведённых исследований найден, и, в этой статье показан, простой, доступный, легко осуществимый способ устранения обстоятельства возникновения эргономической проблемы, возникающей, в результате, заштыбовывания нижних роликов конвейерного става. При применении этого способа устраняется эта эргономическая проблема, но не требуются какие-либо дополнительные средства. Проблема исчезает, в результате, модернизации конструкции конвейера.

**Список литературы:** 1. Спиваковский А.О. Транспортирующие машины. Атлас конструкций. М.: Машиностроение, 1971. 115 с. 2. Пертен Ю.А. Конвейер. Справочник. М.: Машиностроение, 1984. с.367



## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ 3Д ПЕЧАТИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Федотов М.С., Лахин А.М. (ФБГОУ ВО ДонНТУ, каф. ТМ, г. Донецк)

*Аннотация:* в статье рассмотрены наиболее распространенные технологии 3Д-печати, а также возможности применения их в машиностроении.

*Ключевые слова:* 3Д-печать, материалы, технология.

Технология 3Д-печати является актуальной благодаря простоте ее использования, экономии времени, затрачиваемого на производство различных видов изделий и возможности создавать деталь за более меньшее количество операций. При этом Ручной труд практически сведен к нулю, что исключает человеческий фактор, а также затраты на оператора будут минимальными. Все это позволяет снизить себестоимость готового изделия. На рис. 1 представлена печать зубчатого колеса, созданного одной операцией печати.

Дальнейшее развитие данной технологии позволит удешевить, а в конечном итоге и изменить методы производства. Кроме того, перспективы использования данной технологии есть и во многих других сферах, помимо инженерной.

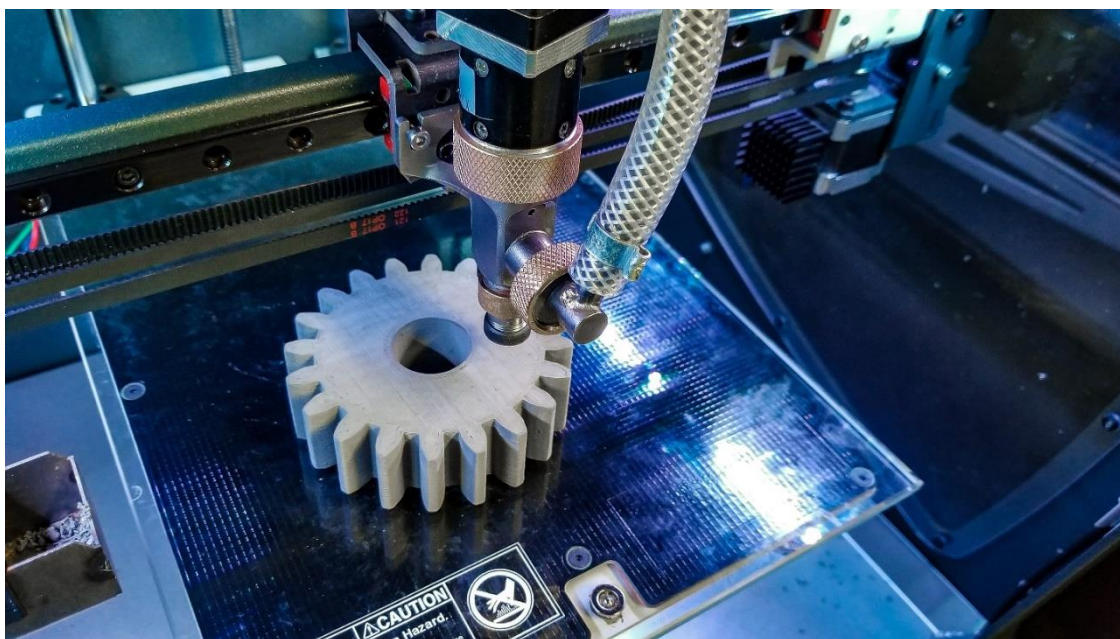


Рис. 1. Печать зубчатого колеса из пластмассы.

Целью данной статьи является исследование возможностей различных технологий 3Д печати и особенностей их применения при производстве изделий общего машиностроения.

Задачами же данной работы является: ознакомление с различными типами печати и материалами, использующимися в 3Д печати; рассмотрение возможностей и примеров применения технологий в машиностроении.

Существует несколько технологий 3Д печати, которые отличаются друг от друга по типу материала и способам его нанесения. В настоящее время наибольшее распространение получили такие технологии 3Д печати: стереолитография, лазерное спекание порошковых материалов, технология струйного моделирования, моделирование методом послойного наплавления, технология склеивания порошков.

Стереолитография (Stereo Lithography Apparatus/SLA) - технология производства моделей, прототипов и готовых изделий из жидких фотополимерных смол. Отвердевание смолы происходит за счет облучения ультрафиолетовым лазером или другим схожим источником энергии [2]. Схема печати данной технологией указана на рис. 2.

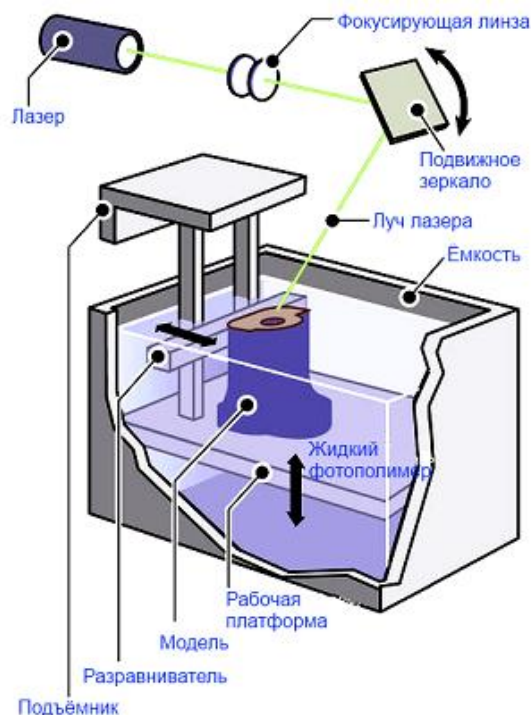


Рис. 2. Схема создания 3Д модели с помощью SLA печати.

Основной материал данной технологии – жидкие фотополимеры. Которые поставляются в жидком виде. Плюсами технологии и материала является возможность получения сложных изделий, простая постобработка, экономия материала. Минусом же является дороговизна как оборудования, так и материалов, а также габариты оборудования.

Лазерное спекание порошковых материалов (Selective Laser Sintering/SLS) - метод производства, который заключается в спекании мелкого порошкового (обычно, металлического) материала с помощью лазера (рис. 3) [2].

В SLS печати используются материалы, близкие по своим свойствам к конструкционным: металл, керамика, порошковый пластик. Порошковые материалы наносятся на поверхность рабочего стола и запекаются лазерным лучом в твердый слой, соответствующий сечению 3Д модели. Прототипы обладают хорошими механическими свойствами, благодаря которым они могут быть использованы для изготовления полнофункциональных изделий.

Плюсами данной технологии являются: большой спектр материалов, скорость создания детали, большая чем у SLA технологии, возможность применения в промышлен-

ности, возможность создания сложных моделей. К минусам же относятся большие габариты оборудования, дороговизна оборудования, необходимость финишной обработки и времени на остывание детали.

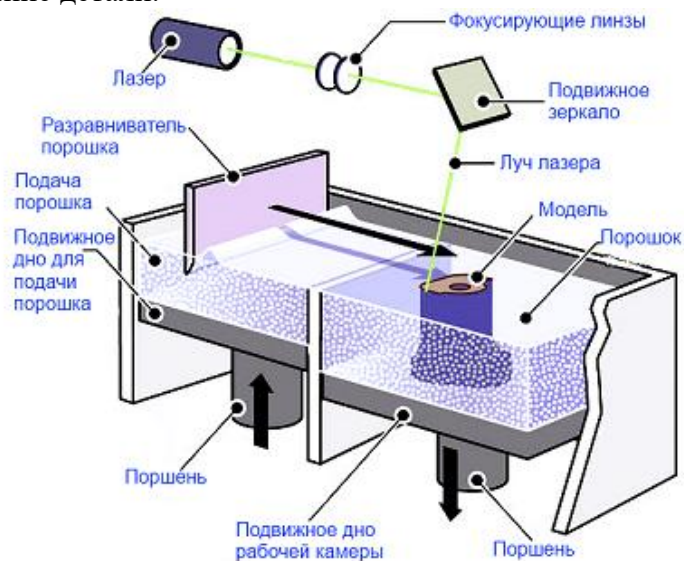


Рис. 3. Схема создания 3Д модели с помощью SLS печати.

Моделирование методом послойного наплавления (Fused Deposition Modeling/FDM) - технология подразумевающая создание трёхмерных объектов за счёт нанесения последовательных слоёв материала, повторяющих контуры цифровой модели [2]. Принцип данной технологии указан на рис. 4.

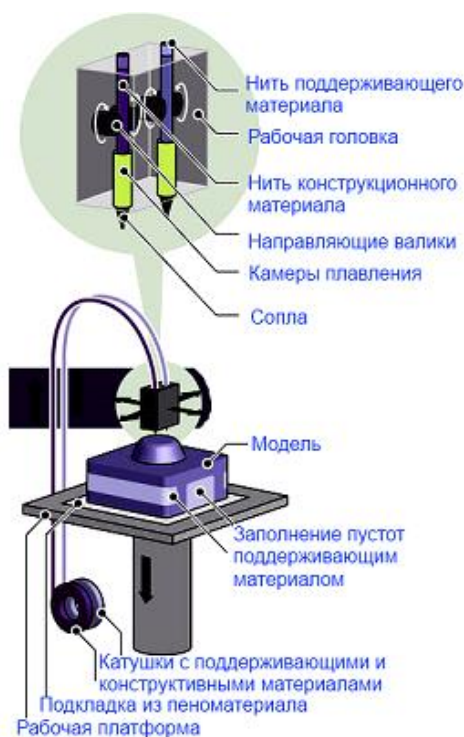


Рис. 4. Схема создания 3Д модели с помощью FDM печати.

Как правило, в качестве материалов для печати выступают термопластики ABS и PLA, поставляемые в виде катушек нитей или прутков, однако есть модели принтеров, позволяющие работать с оловом и сплавами металлов с невысокой температурой плавления.

Плюсами данной технологии являются: дешевизна и распространенность технологии, дешевизна расходных материалов (термопластиков), за счет распространения технологии. Минусы же технологии — это невозможность создания сильно сложных структур, обязательная финишная обработка, большая вероятность брака в начале печати.

Технология струйного моделирования (Ink Jet Modelling) - технология напоминает обычную струйную печать: материал подается через сопла малого диаметра, расположенные рядами на печатающей головке (рис. 5) [3]. Материал сначала он нагревается до температуры плавления (как правило, не очень высокой), затем подается в головку, наносится послойно и застывает. В качестве материала для используют пластики, фотополимеры, специальный воск.

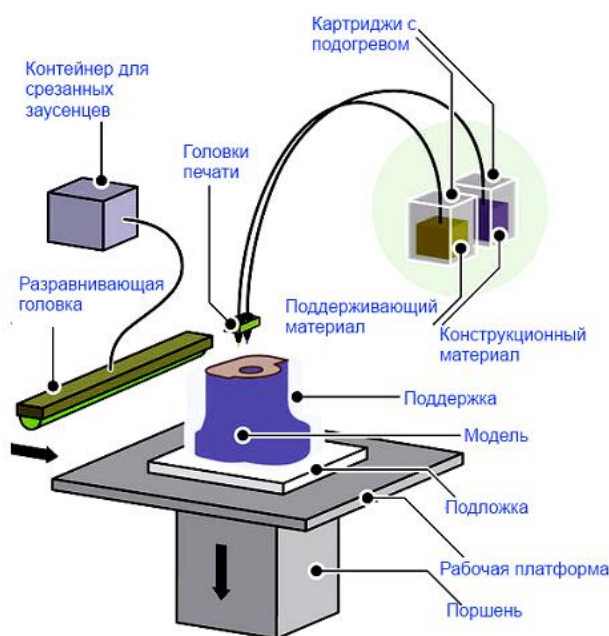


Рис. 5. Схема создания 3Д модели с помощью ИМ печати.

Плюсы технологии: относительная компактность оборудования, возможность сочетания материалов с разными свойствами, малая толщина и как следствия меньшие затраты на финишную обработку. Минусами являются: небольшое количество материалов, невозможность печати нависающих частей детали.

Технология склеивания порошков (3DP, 3Д-печать) – технология использующая порошок (гипсовый композит), который послойно склеивается введением связующего вещества[3]. Технология склеивания указана на рис. 6.

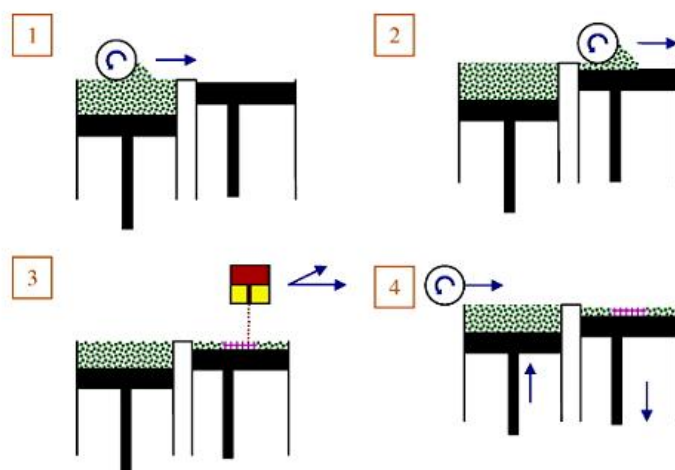


Рис. 6. Технология склеивания порошков

1-2 – ролик наносит тонкий слой порошка на рабочую поверхность; 3 – струйная печатающая головка печатает каплями связующей жидкости на слое порошка, локально укрепляя часть сплошного сечения; 4 – процесс 1-3 повторяется для каждого слоя до готовности модели, оставшийся порошок удаляется.

Используется два вида материалов: крахмально-целлюлозный порошок, из которого формируется модель, и жидкий клей на водной основе, проклеивающий слой порошка.

Плюсом данной технологии является возможность создания сложных деталей без поддерживающих структур. Минусами же данной технологии является дороговизна оборудования, шероховатость поверхности, малая прочность получающихся деталей.

Ламинирование листовых материалов (Laminated Object Manufacturing/LOM) - технология предполагает изготовление 3Д моделей из бумажных листов при помощи ламинирования. Контур очередного слоя будущей модели вырезается лазером, а ненужные обрезки режутся на небольшие квадратики, которые впоследствии удаляются из принтера [2]. Схема технологии приведена на рис. 7.

Плюсами данной технологии является дешевизна расходного материала и возможность создания сложных структур без опор. Минусами же данной технологии является прочность детали, характеризующаяся материалом, не всегда возможна обработка детали.

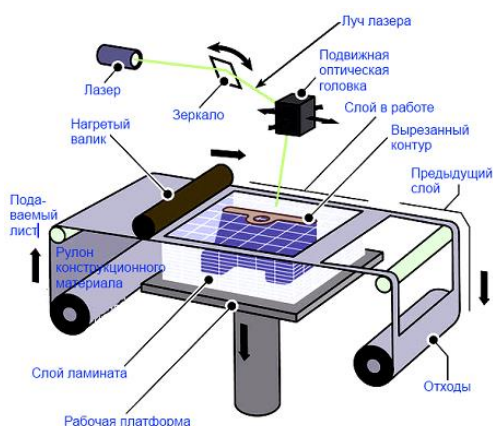


Рис. 7. Схема создания 3Д модели с помощью LOM печати.

3D технологии имеют большие возможности по применению в машиностроении в единичном и мелкосерийном производстве. Это и достаточно быстрое создание модели будущей сборки, так и создание литейных моделей, в том числе и выжигаемых. Технологии SLS позволяют даже создавать некоторые детали небольших, но сложных форм, классическое производство которых было бы более дорогостоящим.

Так, например, центр быстрого прототипирования Jures, выполнил проект по усовершенствованию смесителя жидкости с газом, представленный на рис. 8. Изначально устройство собиралось из 12 частей, включая 3 крупных элемента – первое и второе фланцевые корпусные соединения и вставка смесителя. Селективное лазерное плавление дало возможность создать единый корпус, сократив количество деталей с 12 до одной [1].

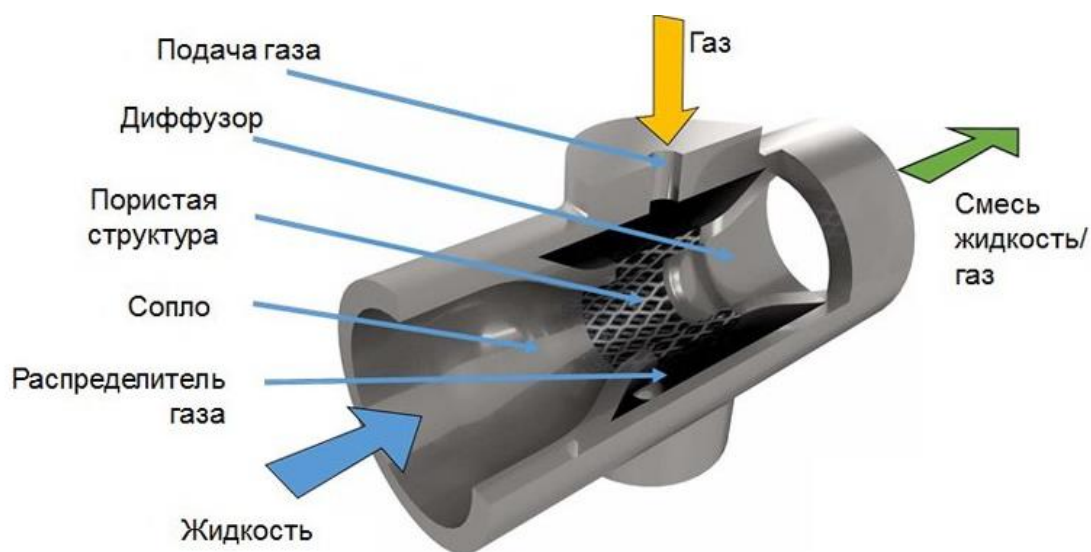


Рис. 8. Схема цельнометаллического смесителя, созданного на 3D принтере.

#### Выводы.

Таким образом, можно сказать, что 3D печать несмотря на активное использование в машиностроении, например, для изготовления элементов литейной оснастки или небольших малоответственных изделий, в настоящее время применяется только в единичном и мелкосерийном производстве. Однако данная технология все еще недостаточно развита, и требует дальнейшего развития и исследования для возможностей ее использования в условиях серийного и массовом производствах.

**Список литературы:** 1. Аддитивные технологии и 3D-сканирование в машиностроении [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://habr.com/ru/companies/igb\\_technologies/articles/440896/](https://habr.com/ru/companies/igb_technologies/articles/440896/) 2. Обзор технологий 3D печати [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/obzor-tehnologij-3D-pechati>. 3. Технологии 3D-печати [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.ixbt.com/printer/3d/3d\\_tech.shtml](https://www.ixbt.com/printer/3d/3d_tech.shtml)

УДК 622.232.7

## К ВОПРОСУ УСТАНОВЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА, ВСТРАИВАЕМОГО В РЕГУЛИРУЕМЫЕ ОПОРЫ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА ТИПА 1ГШ68

Лысенко Н.М., канд.техн. наук, доц., Чегиринов А.Д. студент,  
(ФГБОУ ВО «ДонНТУ», г. Донецк)

**Аннотация.** Изложена методика установления основных конструктивных параметров виброзащитного устройства, встраиваемого в регулируемые опоры очистного комбайна типа 1ГШ68.

На кафедре «Горные машины» ДонНТУ разработан целый ряд виброзащитных устройств (ВЗУ), предназначенных для снижения динамической нагруженности силовых элементов корпусных систем очистных комбайнов [1,2]. Указанные ВЗУ встраиваются в опорно-направляющие устройства комбайнов и конструктивно проработаны применительно как к регулируемым, так и нерегулируемым опорам.

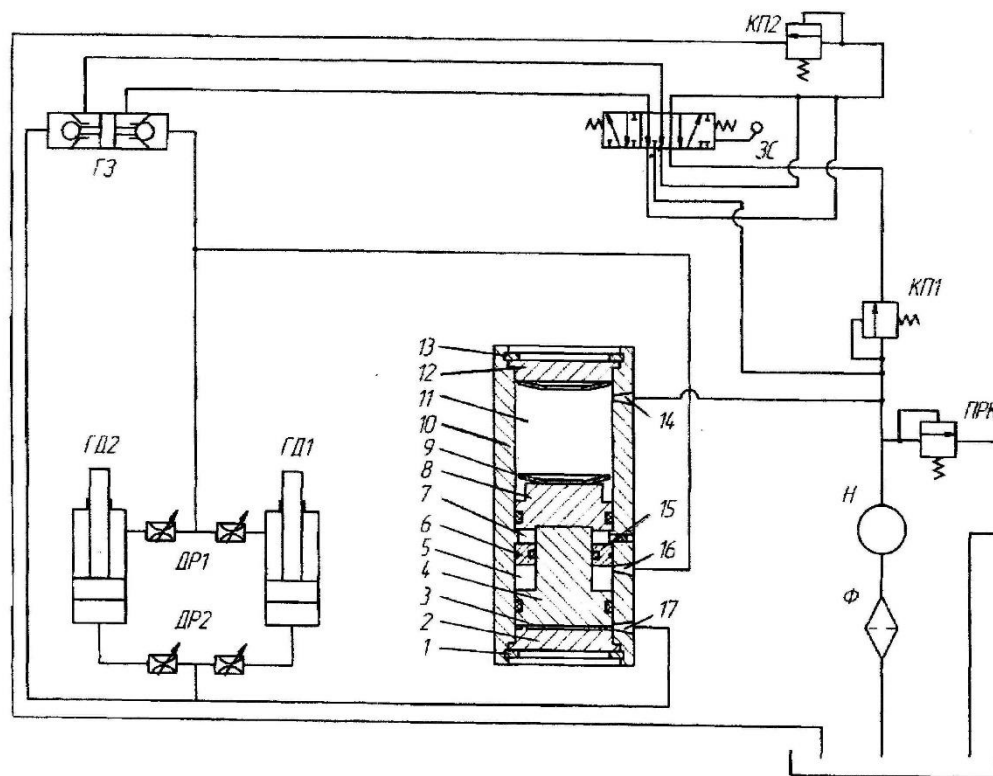


Рис.1. Гидро-конструктивная схема ВЗУ, встраиваемого в забойные регулируемые опоры очистного комбайна типа 1ГШ68

На рис.1 приведена конструктивная схема ВЗУ, встраиваемого в гидравлическую схему регулируемых (забойных) опор очистного комбайна типа 1ГШ68. Следует отметить, что при разработке данной конструктивной схемы ВЗУ была учтена принципиальная особенность гидравлической схемы регулируемых опор комбайна 1ГШ68, заключающаяся в наличии гидравлической связи между одноименными полостями их гидро-

домкратов (схема сообщающихся сосудов), которая обеспечивает работу указанных гидродомкратов по схеме гидравлического балансира со всеми присущими преимуществами [3].

ВЗУ состоит из гидромеханического аккумулятора 10, внутри корпуса которого содержится плунжер 4, грундбукса 6 и проставка 8, образующие поршневую 3 и штоковую 5 полости, а также камеры 7 и 11. Поршневая и штоковая полости через отверстия 17 и 16 соединены с одноименными полостями гидродомкратов регулируемых опор ГД1 и ГД2. Соосно с плунжером расположен пакет тарельчатых пружин 9 в камере 11, которая через отверстие 14 подключена к напорной гидролинии насоса *H*. Камера 7 через отверстие 15 посредством фильтра, предотвращающего попадание в камеру 7 пыли и штыба, связана с атмосферой. По торцам гидромеханического аккумулятора (ГМА) неподвижно установлены запорные крышки 2 и 12, зафиксированные в осевом направлении пружинными кольцами 1 и 13 соответственно. Грундбукса являясь направляющей для плунжера, предотвращает вытекание рабочей жидкости из штоковой полости 6 в камеру 7. В гидролиниях, связывающих одноименные полости гидродомкратов ГД1 и ГД2 между собой, установлены дроссели ДР1 и ДР2. На рисунке также использованы следующие обозначения: ПРК - предохранительный клапан; КП1, КП2 – подпорные клапаны; ГЗ – гидрозамок; ЗС – золотниковая секция; Ф – фильтр.

При конструктивной разработке рассматриваемого ВЗУ обязательно должно обеспечиваться равенство отношений между площадями поршневых и штоковых полостей гидродомкратов регулируемых опор ( $S_n, S_{ш}$ ) и ГМА ( $S_{на}, S_{ша}$ ) соответственно. Следует также отметить, что за счет подачи рабочей жидкости с необходимым давлением от напорной магистрали насоса *H* в камеру 11 ГМА будет обеспечиваться частичная разгрузка его упругого элемента от средних уровней нагрузок, формирующихся в регулируемых опорах комбайна, вследствие чего упругий элемент будет в основном воспринимать динамические составляющие данных нагрузок. Это позволит при сравнительно не больших габаритах ГМА реализовать достаточно податливый упругий элемент, что будет способствовать повышению эффективности функционирования ВЗУ.

Принцип работы рассматриваемого ВЗУ состоит в том, что в процессе функционирования комбайна при перетекании рабочей жидкости между одноименными полостями как самих гидродомкратов регулируемых опор, так и между полостями указанных гидродомкратов и соответствующими полостями ГМА будет происходить рассеивание энергии пространственных колебаний корпусной подсистемы комбайна за счет гидравлического сопротивления соединительных гидромагистралей и встроенных в них дросселей.

Основными характеристиками ВЗУ, определяющими его упругие и диссипативные свойства, являются приведенные к поршневым полостям гидродомкратов регулируемых опор соответственно коэффициент жесткости упругого элемента ВЗУ  $C_{уп}$  и коэффициент демпфирования  $\beta_n$ , рациональные значения которых устанавливаются в результате решения задачи оптимизации динамических свойств корпусной подсистемы очистного комбайна [1]. Изложим методику трансформации указанных характеристик ВЗУ в его конструктивные параметры.

В качестве упругого элемента ВЗУ наиболее целесообразно использовать тарельчатые пружины, которые отличаются сравнительно небольшими габаритными размерами при достаточно высокой несущей способности. При этом, исходя их динамического характера нагруженности упругого элемента, согласно ГОСТ 3057-90 должны применяться тарельчатые пружины 1 класса, способные воспринимать циклические нагрузки с гарантированной циклической долговечностью не менее, чем  $2 \cdot 10^6$  циклов. Учитывая



также, что пружины будут работать в пакете, они должны соответствовать 2 типу исполнения, который характеризуется наличием опорных торцевых плоскостей.

Дальнейшая схема расчета конструктивных параметров упругого элемента ВЗУ состоит из следующих пунктов:

1. Применительно к выбранным (на основании вышеоговоренного критерия) диаметрам поршневой  $D_{na}$  и штоковой полости  $D_{ша}$  ГМА определяется максимальная величина усилия  $F_{\max}^y$ , воспринимаемого упругим элементом

$$F_{\max}^y = (p_{\max} - p_p)S_{na}, \quad (1)$$

где  $p_{\max}$  – максимальная величина давления рабочей жидкости в поршневых полостях гидродомкратов регулируемых опор, определяемая максимальным уровнем вертикальных составляющих реакций в данных опорах комбайна;

$p_p$  – величина разгрузочного давления рабочей жидкости, поступающей в камеру упругого элемента ГМА;

$S_{na}$  – площадь поршневой полости ГМА.

2. Согласно ГОСТ 3057-90 подбирается пружина 1 класса 2 исполнения с параметрами  $D_1 \leq D_{na}$ ;  $F_2 = F_{\max}^y$ , где  $D_1$  – внешний диаметр пружины;  $F_2$  – сила, соответствующая максимально допустимой деформации для пружин 1 класса.

3. Определяется коэффициент жесткости одной пружины

$$C_{np} = \frac{F_2}{0,6S_3}, \quad (2)$$

где  $S_3$  – максимально возможная деформация одной пружины.

4. Определяется количество пружин в пакете

$$n = \frac{C_{np}(2S_n)^2}{C_{yn}S_{na}^2}, \quad (3)$$

где  $S_n$  – площадь поршневой полости гидродомкрата регулируемой опоры.

5. Определяется длина пакета в ненагруженном состоянии

$$L = l_0 n, \quad (4)$$

где  $l_0$  – высота одной пружины в ненагруженном состоянии.

6. Определяется величина максимальной деформации упругого элемента

$$l_{\max}^y = \frac{F_{\max}^y n}{C_{np}}. \quad (5)$$

7. Исходя из приемлемости габаритных размеров ГМА, из числа просчитанных возможных вариантов упругого элемента выбирается окончательный вариант, подлежащий конструктивной реализации.

Для установления уровня настройки регулируемых дросселей, соответствующего рациональной величине коэффициента демпфирования  $\beta_n$ , следует воспользоваться результатами экспериментальных исследований, выполненных в работе [1] применительно к ВЗУ рассматриваемого типа.

Коэффициент демпфирования (коэффициент линейного сопротивления) можно выразить через приведенный эквивалентный линейный коэффициент сопротивления гидромагистрали, соединяющей между собой поршневые полости гидродомкратов регулируемых опор  $K_n$ , посредством следующей зависимости:

$$\beta_n = K_n S_n. \quad (6)$$

В свою очередь приведенный эквивалентный линейный коэффициент сопротивления  $K_n$ , характеризующий потери давления рабочей жидкости на преодоление сопротивления как соединительной гидромагистральной, так и встроенных в нее дросселей, а также потери на трение в самих гидродомкратах, может быть определен из следующего выражения:

$$K_n = 0,849 \cdot V_{uu} \cdot a_n + b_n, \quad (7)$$

Где  $V_{uu}$  – скорость перемещения штока гидродомкрата относительно его цилиндра;  
 $a_n$  – суммарный коэффициент квадратичного сопротивления, характеризующий потери давления на дросселях и эквивалентных дросселях местных сопротивлениях соединительной гидромагистральной;

$b_n$  - коэффициент, характеризующий потери давления, обусловленные в основном силами трения между слоями рабочей жидкости при ламинарном режиме ее течения.

Следует отметить, что приведенная в выражении (7) связь между коэффициентом квадратичного сопротивления и эквивалентным коэффициентом линейного сопротивления вытекает из условия равенства работ сил сопротивления при синусоидальных колебаниях [4].

Преобразовав выражение (7) с учетом (6), получим:

$$a_n = \frac{\beta_n - b_n S_n}{0,849 V_{uu} S_n}. \quad (8)$$

Величина коэффициента  $b_n$  в соответствии с экспериментальными данными [1] составляет  $82 \text{ МПа} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-1}$ .

Величина  $V_{uu}$  при колебаниях корпуса комбайна типа 1ГШ68 относительно его поперечной оси с собственной частотой в первом приближении может быть оценена интервалом  $0,75 - 1,5 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$  [1].

Для полученного из выражения (8) численного значения суммарного коэффициента квадратичного сопротивления  $a_n$  согласно экспериментальных данных [1], приведенных в таблице, подбирается требуемый уровень настройки регулируемых дросселей.

Таблица 1. Экспериментально установленные значения суммарного коэффициента квадратичного сопротивления

Уровень настройки дросселей	1	2	3	4	5	Дроссели отсутствуют (серийная гидросистема)
$a_n, \text{ МПа} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}^{-2}$	0,24	0,20	0,15	0,14	0,10	0,04

Предложенная методика позволяет установить конструктивные параметры основных элементов ВЗУ рассматриваемого типа.

**Список литературы:** 1. Лысенко Н.М. Снижение динамических нагрузок в корпусной группе очистных комбайнов со шнековыми исполнительными органами. – Дис. ... канд. техн. наук – Донецк, 1985 – 266с. 2. Разработать и внедрить средства повышения надежности и долговечности очистных комбайнов: Отчет / ДонГТУ.- Рук. Горбатов П.А., Гуляев В.Г., №ГР01860040654. Донецк,1987.-257с. 3. Горные машины для подземной добычи угля / П.А. Горбатов, Г.В. Петрушкин, Н.М. Лысенко, С.В. Павленко, В.В. Косарев. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 669с. 4. Дербаремдикер А.Д. Гидравлические амортизаторы автомобилей. – М.: Машиностроение, 1969. – 238с.

TO THE DESIGN OF RECONFIGURABLE AND BALANCED MULTIPURPOSE ASSISTIVE DEVICES

Ghazaryan S.D.<sup>1</sup>, Harutyunyan M.G.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> (NPUA, Yerevan, Armenia) Tel.: +374(044)228840;

E- mail: [sarik.ghazaryan@polytechnic.am](mailto:sarik.ghazaryan@polytechnic.am)

<sup>2</sup> (NPUA, Yerevan, Armenia) Tel.: +374(093)998840; E- mail: [mharut@seua.am](mailto:mharut@seua.am)

**Abstract.** Over the past decades, devices for assisting the human musculoskeletal system have been successfully integrated as well into medicine, healthcare and daily life, as into industry, military affairs and astronautics. To ensure the portability of such devices, the static gravity balancing of their links is often done with the use of springs, since having small masses they provide significant force balancing. In this paper, constructive schemes with different degree of mobility of multipurpose portable devices for human limbs supplementary assisting are suggested, their static balancing methods and approaches which can also be applied in the design of manipulation systems, are given.

**Keywords:** assistive device, exoskeleton, gravity balancing, spring.

**Introduction.** Assistive devices, such as exoskeletons and manipulation mechanisms, are the linkage mechanisms that can enhance the functionality of human limbs not only physically, but also quantitatively. Depending on the purpose, these active and/or passive assistive devices can operate in static/quasi-static and dynamic modes and have one or more degrees of mobility (DOF). To statically balance the links from acting gravitational forces and their moments different balancing systems are used [1-5]. In linkage mechanisms, each degree of freedom needs its own balancing system, hence the increasing of the device mobility requires an increase in the number of such systems. This can falter the portability of the device, but the application of the springs, providing force balancing and having small masses [3, 4] can assure back the portability.

Assistive devices can also be conditionally divided into the "Total" ones - that assist a human whole loco-motional system and have an emphasis on the ground, allowing a person to lift heavy weights, and the "Local" ones - that only distribute the physical loads and weights over the user's body. Previously, the auteurs published different series of total [3, 4] and local [4, 6, 7] assistive devices, such as balanced movable orthoses and exoskeletons for the lower and upper extremities, as well as a multipurpose reconfigurable portable passive-balanced local device with different DOF, designed to hold heavy and uncomfortable objects, tools and firearms in the desired position (Fig. 1 and Fig. 2) [8, 9]. In this paper, the application, modeling, and applied static balancing methods/ approaches are considered for these recently published schemes.

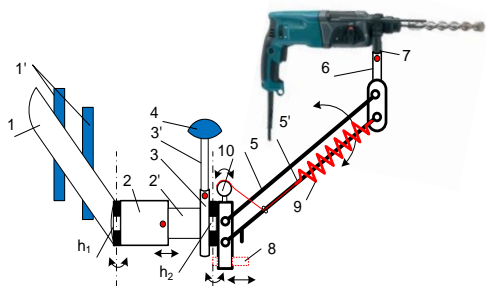


Fig. 1. Industrial assistive device -supporter (with 1 DOF) for the distribution of the weights of heavy instruments [8].

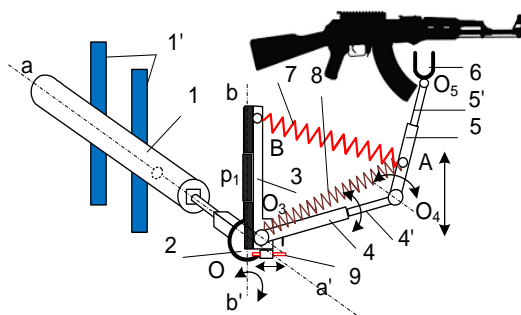


Fig. 2. Military assistive device-stabilizer-supporter (with 2 DOF) for the distribution of the weights of firearms [9].

**1. Portable passive 1-DOF balanced assistive device for industrial purposes.** The principles of reconfigurability of the portable passive-balanced device-supporter, designed to hold heavy and uncomfortable objects and tools in the desired position are shown in Fig. 3. Here, telescopic links are used to

adjust the geometry of the device, as well as coil springs and force adjusting mechanisms for the system balancing and the convenient use of the device.

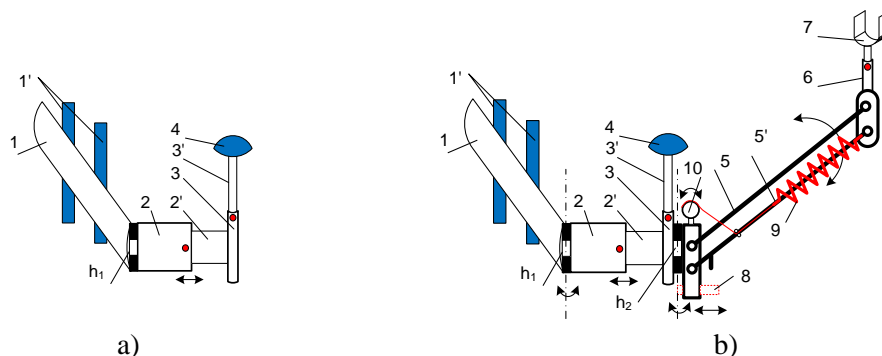


Fig. 3. Reconfigurability of the Industrial assistive device-supporter (with 1 DOF):  
 a- lumbar, side and elbow basic support, b- 1 DOF balanced 3rd-hand-support

A lumbar rigid link 1 with weight distribution pillows 1' is attached to the operator's lower back by using a belt and/or a vest-corset. Then, on this link 1 on the right for right-handers, or the left for left-handers, through the h1 hinge, telescopic links are attached: 2-2' - horizontally (lateral support) and 3-3' - vertically (elbow support), an elbow pad 4 is placed on link 3' (see Fig. 3a).

Such a support structure has the right to individual existence, and can find application not only in industry, but also in military affairs to support arms and weapons or ammunition, and also in medicine for supporting an injured or operated arm. If necessary, pad 4 can be easily removed from the elbow support and assistance can be stopped.

To ensure the structural reliability - strength and stiffness conditions - it will be necessary to consider the torsion case in the h1 hinge zone arising by the moment

$$M_{1gtor} = F_{1gmax} \cdot l_{h1}, \quad (1.1)$$

formed by gravity force of supported weight  $F_{1gmax}$  and lever  $l_{h1}$ .

By attaching pantograph 5 (that can also be telescopic) with an adjustable telescopic link 6 to the lateral support through the h2 hinge, a new system can be reconfigured (see Fig. 3b). Link 6 can have various gripping-attachments designed for the required application. To balance the pantograph 5 a linear non-zero initial length cylindrical tension spring 9 is applied [2-5]. The free end of this spring is retracted to a roller regulator by manse of a metallic cable; this connection allows varying the force of balancing spring and assuring the condition of the system balance. So now, the pantograph can swing in balance in the angle range  $\varphi \in [0^0; 180^0]$ , and if necessary, its lowering can be limited using lock 8.

Now we should consider a new torsion case in the h1 hinge zone formed not only by the gravity force  $F_{1gmax}$ , but also by the reduced gravity force  $F'_{2gmax}$ :

$$M_{2gtor} = (F_{1gmax} + F'_{2gmax}) \cdot l_{h1}. \quad (1.2)$$

Also, it is important to consider the strength and stiffness conditions for torsion case in the h2 hinge zone formed by the gravity force  $F_{2gmax}$ :

$$M_{3gtor} = F_{2gmax} \cdot l_{h2max} = F_{2gmax} \cdot l_5. \quad (1.3)$$

This gravitational moment is defined as

$$M_{3gtor} = (m_{struc} + m_{supp}) \cdot l_5 \cdot g \cdot \sin \varphi, \quad (1.4)$$

where  $m_{struc} \approx m_5 + m_6 + m_7 + m_9$  is the mass of the construction reduced to the point D; the mass of the spring  $m_9$  can be estimated and/or included in the mass of link 5, or totally excluded by applying the spring remoting technique [5];  $m_{supp} = m_{11}$  is the mass of the supported object,  $l_5$  is the length of the link 5,  $g$  is the gravitational constant,  $\varphi$  is the positioning angle of the link 5.

The balancing moment is defined as

$$M_{b9} = F_S \cdot r_{XA} = F_S \cdot l_{O5A} \cdot \sin \gamma \quad (1.5)$$

where  $F_S$  is the elastic force of the balancing spring, defined as

$$F_S = F_0 + k(l_S - l_0); \quad (1.6)$$

where  $k$  is the stiffness coefficient,  $l_0$  and  $l_S$  are the initial and current values of the working length;  $F_0$  is the initial force of the spring. By turning the winding roller 10 with radius  $r_{10}$  on an angle  $\beta$  we can assure the desired value of  $F_0$ :

$$F_0 = k\beta\pi r_{10}/180; \quad (1.7)$$

and, in a particular case when

$$F_0 = kl_0 \quad (1.8)$$

the balancing moment can be expressed as

$$M_{b9} = kl_S l_{05A} \sin\gamma = kl_S l_{05A} l_{05B} \sin\varphi / l_S = kl_{05A} l_{05B} \sin\varphi. \quad (1.9)$$

The unbalance of the system is estimated by the difference in moments from the gravitational forces of the links 5-7 and supported object 11 and the balancing force of the spring 9:

$$M_u = M_{3gtor} - M_{b9} = ((m_{struc} + m_{supp})l_5 g - kl_{05A} l_{05B}) \sin\varphi. \quad (1.10)$$

So, the system can be considered balanced, when the constant part of this equation is equal to zero:

$$(m_{struc} + m_{supp})l_5 g - kl_{05A} l_{05B} = 0 \quad (1.11)$$

By solving this equation, we obtain the value of  $k$ .

**Numerical example 1 - Static balancing of a system with 1-DOF.** The system balancing is performed in the case of the following values of the system parameters:  $m_5 = 0.2$  kg,  $m_6 = 0.1$  kg,  $m_7 = 0.1$  kg,  $m_9 = 0.2$  kg,  $l_5 = 0.5$  m,  $l_0 = 0.2$  m,  $l_{05A} = l_{05B} = 0.15$  m,  $m_{11} = 10$  kg. We get:  $k = 2356$  Nm,  $F_0 = 471$  N.

**2. Portable passive 2-DOF balanced assistive device for military purposes.** The next schema proposed by the authors was a reconfigurable, portable and passive-balanced local exoskeleton designed to hold a firearm during one-handed shooting.

There are three main firearm-shooting positions: standing, kneeling and prone. When shooting from standing and kneeling positions, the shooter should hold the firearm with both hands to ensure the retention and stability of the firearm. But in the case of one-handed shooting, often right hand, the shooter must exert greater efforts to overcome the gravity of the firearm, as well as to compensate for its knockback. To ensure required gripping and firearm stability, it is necessary to use a ground-supported stand for fixed-position shooting, or a local stabilizer for weapons with support on the shooter's back for mobile shooting.

In a local shooter-weapon-support system, it is necessary to provide the stability and balance of the weapon in the profile plane for the targeting fire. The design of a reconfigurable 2-DOF passive-balancing device intended to hold a firearm when firing with one hand from standing, kneeling and prone positions, shown in Fig.4 [9] is suggested for this purpose.

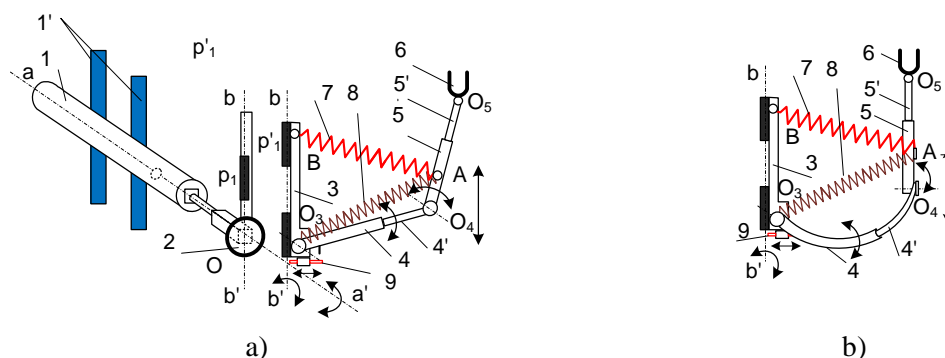


Fig. 4. Reconfigurability of the military assistive device-supporter (with 2 DOF):  
a- a principal design, b- 1 DOF balanced 3rd-hand-support,

Here, as before, the telescopic links are used to adjust its geometry and the cylindrical springs are applied for power balancing these links [6-8]. The cylindrical zero-free length springs are used [2-5],

and from the system potential energies constancy condition, the "indifferent balancing" is ensured throughout the entire swing range of both swinging links of the assisting device. The lumbar rigid link 1 with weight distribution pillows 1' are attached to the operator's lower back using a belt and/or a vest-corset. In the sleeve, first with a square, and then a circular section of the hole of link 1 on the right, a pin of link 2 is horizontally inserted, respectively, with round and square sections (see Fig. 4). This prevents the action of torque relative to the axis a-a' when the finger of link 2 is fully inserted. Link 3 is connected to the vertical end of link 2 through the hinge p1, which allows the entire subsequent structure to rotate relative to the vertical part of link 2. The authors previously [3, 4] have published the rest part of the structure, balancing methods and modeling. Thus, links 4 and 5 are telescopic to provide them with the necessary dimensions, according to the individual parameters of the operator and the firearm. Various attachments-grips 6 or hangers can be installed on the link 5' through the hinge O5, specially designed for the required purpose. The balancing is carried out by the linear cylindrical tension 7 and compression 8 springs with zero-free lengths. This system provides exact static balancing of links 4 and 5 over the entire range of the rotation angle  $\varphi_{4,5}$ . The link 4 rotation can be limited by latch 9, if necessary.

If we make the telescopic link 4 from a strong, but unilaterally flexible material, or give it the necessary curvature (see Fig. 4b), we can ensure a significant increase in the firing sector for the weapon mounted on the proposed device.

Such a structure can easily provide weapon-balanced gripping for shooting from standing and kneeling positions. But for the prone position, the pin of link 2 must be not fully inserted, so the system will be able to rotate about the axis a-a'. The determination of optimal dimensions of the structure, allowing for a convenient and continuous transition from one position to another, can be a new challenge.

The device can be used not only in military applications, for supporting human hands, weapons or ammunition, but also in industry, for maintaining tools or heavy objects, and in medicine, for supporting an injured or already operated human hand.

As mentioned above, to balance the system from gravity forces the linear zero-free length linear cylindrical tension 7 and compression 8 springs are applied [3, 4]. Both springs are connected to link 5 at point A, which is chosen from the following condition:

$$M = 0.5m_4 + m_5 + m_6 + m_f, \quad s_m = (0.5m_5 + m_6 + m_f)l_5/M, \quad (2.1)$$

where  $l_5$  is the length of link 5,  $s_m$  is the distance of point A from point  $O_4$ ,  $M$  is the mass of the rotating links of the system reduced to point A,  $m_4$ ,  $m_5$  and  $m_6$  are the mass of correspondent links.  $m_f$  is the mass of supported firearm. And the static balancing is realized from the condition of constancy of potential energy of the system:

$$P = P_g + P_{S1} + P_{S2} = \text{const}, \quad (2.2)$$

where  $P_g$  is the potential energy of links reduced at point A:

$$P_g = -[M + 0.5(m_7 + m_8)]gl_{O3A} \sin \beta, \quad (2.3)$$

where  $m_7 = m_{S1}$  and  $m_8 = m_{S2}$  are the mass of the applied springs,  $\beta$  is the angle  $XO3A$ . The springs are prepared with the same stiffness coefficient  $k$ , but as their origins are different, so for the potential energies of springs we can write:

$$P_{S1} = 0.5kl_{S1}^2, \quad P_{S2} = -0.5kl_{S2}^2, \quad (2.4)$$

where  $l_{S1}$  and  $l_{S2}$  are the current lengths of springs 7 and 8.

From unite resolution of expressions (2.2) - (2.4) we obtain:

$$P = -[M + 0.5(m_7 + m_8)]gl_{O3A} \sin \beta + 0.5kl_{S1}^2 - 0.5kl_{S2}^2. \quad (2.5)$$

From the triangle BAO3 we can see that

$$l_{S1}^2 = l_{O3B}^2 + l_{O3A}^2 + 2l_{O3B}l_{O3A} \sin \beta, \quad (2.6)$$

where  $l_{O3B}$  is the distance from point B to point O3, respectively:

$$P = (kl_{O_3B} - Mg - 0.5g(m_7 + m_8))l_{O_3A} \sin \beta + 0.5kl_{O_3B}^2. \quad (2.7)$$

The potential energy rests constant if the following condition is achieved:

$$kl_{O_3B} - Mg - 0.5g(m_7 + m_8) = 0. \quad (2.8)$$

By solving this equation, we obtain the value of k.

**The numerical example 2 - Static balancing of a system with 2-DOF.** The balancing of the system is performed in the case of the following values of the system parameters:  $m_4 = 0.6$  kg,  $m_5 = 0.2$  kg,  $m_6 = 0.1$  kg,  $m_f = 6$  kg,  $l_4 = 0.4$  m,  $l_5 = 0.5$  m,  $m_7 = 0.5$  kg,  $m_8 = 0.5$  kg,  $l_{O_3B} = 0.1$  m. We get:  $M = 6.5$  kg,  $s_m = 0.38$  m,  $k = 700$  Nm.

**Conclusions.** Proposed designs of statically balanced multifunctional and reconfigurable portable adjustable assistive devices can assure the lift and holding in desired/required positions of heavy and uncomfortable objects. It becomes possible due to the adjustability of the system and the use of balancing systems.

Moreover, the applied approaches to the design of balanced devices are quite versatile and can be used in the design of not only assistive devices but also other linkage-based manipulation systems.

**Bibliography:** **1.** Agrawal S., Fattah A. Gravity-Balancing of Spatial Robotic Manipulators // Mechanism and Machine Theory. - 2004.- Vol.39, No.12.- pp. 1331-1344. **2.** Agrawal A., Agrawal S.K. Design of Gravity Balancing Leg Orthosis Using Non-Zero-free Length Springs // Mechanisms and Machine Theory. - 2005.- Vol. 40, issue 6.- pp. 693-709. **3.** Arakelian V., Ghazaryan S. Improvement of balancing accuracy of robotic systems: Application to leg orthosis for rehabilitation devices // International Journal of Mechanism and Machine Theory. - Elsevier, 2008.- 43(5). - pp. 565-575. **4.** Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G., Arakelyan V.H. Design aspects of human movement assistance - rehabilitation means // Proceedings of the 1st International Conference MES-2018 / ИРМ-2018 Mechanical Engineering Solutions. Design, Simulation, Testing and Manufacturing. September 17-19, 2018, Yerevan, Armenia, MES-2018-25, pp. 71-80. **5.** Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G., Arakelian V.H. Actual aspects of manipulation mechanism's swinging links spring balancing // XXVI International Scientific and Technical Conference "Mechanical Engineering and Technosphere of the XXI Century", September 23-29, 2019, Sevastopol, - pp. 450-454. **6.** Harutyunyan M.G., Ghazaryan S.D., Zakaryan N.B., Shahinyan S.S. Passive balancing solution for a human walking and sitting assisting exoskeleton // Advanced technologies and mechanical engineering systems; National Technical University of Donetsk, 2019 № 2 (65) pp. 95-99. **7.** Ghazaryan S.D, Harutyunyan M.G., Zakaryan N. B., Arakelian V. Design Concepts for Human Walking and Sitting Wearable Exoskeletons // Intelligent Technologies in Robotics, October 21-23, 2019, Moscow, Russia. pp. -63-71. **8.** Ghazaryan S. D., Harutyunyan M. G., Zakaryan N. B., Sargsyan Yu. L. Portable passive balanced assistive device for industrial purpose // Progressive Technologies and Systems of Mechanical Engineering. Donetsk National Technical University (Donetsk). Issue: 2 (73) Year: 2021 pp. 42-46. **9.** Ghazaryan S. D., Harutyunyan M. G., Zakaryan N. B., Sargsyan Yu. L. Portable assistive device for military purpose / Proc. of the First International Scientific and Technical Conference "Current Problems of Science and Technology", Sarapul, 2021, May 20 - 22, 2021. pp.142-146.

UDK 622.233.39

**PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF EXTRACTION AND PROCESSING OF  
BLOCK STONE FROM STRONG ROCKS**

**Povetkin V.V.<sup>1</sup>, Bukayeva A.Z.<sup>2</sup>, Nurmukhanova A.Z.<sup>1</sup>, Kerimzhanova M.F.<sup>3</sup>**

*(<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty,*

*<sup>2</sup>Caspian State University of Technology and Engineering named after <sup>3</sup>Sh.Yessenova,  
Aktau, <sup>3</sup>Kazakh National Technical University named after K.I.Satpayev, Almaty, Kazakhstan)*

*Tel. 8 (727) 221-15-43; E-mail: [vv1940\\_povetkin@mail.ru](mailto:vv1940_povetkin@mail.ru)*

**Abstract:** *The Republic of Kazakhstan has large reserves of hard rock building stone suitable for the production of facing and industrial products. The thermal tools developed have been used in the vast majority of blockstone mining and surface treatment facilities. It has been established that the performance of flame-jet fracture is proportional to the power of the heat flux going into the rock, the heat power, in turn, depends on the temperature of the gas jet, its speed and the geometric dimensions of the contact spot. The factors listed above are regime parameters of thermal tools. The study of their influence on the performance of fire-jet fracture is necessary for the design of target burners.*

**Key words:** *thermoutil, rock, detonation burning, fuel components (gasoline, kerosene, air).*

Natural stone is the oldest building material used by mankind throughout the history of civilization. Egyptian pyramids, Indian and Greek temples, palaces of Europe and Asia have come down to us from ancient times.

The Republic of Kazakhstan has large reserves of strong rock building stone suitable for the production of facing and industrial products. Significant reserves of these rocks in Eastern, Central and Southern Kazakhstan are represented by granites of various compositions and different colors. These include amazonite granites of the Maikul deposit, red granites of the Kurdai and Akbakai deposits, granodiorites of the Kayrakty deposit, granites of the Kurty, Arasan-Kapal, Alatagyl, Zheltau deposits, which are already being developed with a unique bluish-greenish color, and others [1,2].

Industry requirements for the physical and mechanical properties and blockiness of rocks are determined by GOST 6666-81 "Side stones from rocks", GOST 9479-98 "Blocks of rocks for the production of facing, architectural, memorial and other products", GOST 9479-2011 "Blocks of rocks for the production of facing, architectural, memorial and other products".

A comparative analysis of the extraction and processing of natural stone in the world and in Kazakhstan shows that, despite the large reserves and diversity of natural stone in our country, a huge market for stone products, this industry is much inferior to the world level. A number of countries are increasing the production and supply of stone of various types and quality, especially high-quality products, while domestic stone products are mostly uncompetitive on the world market.

The technical equipment and production technologies of quarries and stone-processing enterprises, formed during the centralized planned economy, are not science-intensive and inefficient in modern conditions of market relations. All this determines the relevance of innovative activities for the domestic stone production [3].

The increase in the volume of extraction and processing of stone was achieved through the widespread introduction of progressive thermal (fire-blasting) a method of destruction radically different from all known methods of destruction, both by the nature of the physical impact and by the technological scheme.



The method consists in the fact that a supersonic high-temperature gas flow affects the rock, as a result of which thermal stresses arise in it, leading to the destruction of the surface layer, the positive phenomenon of which is used in the surface treatment of block stone [4].

The works of scientists A.V.Brichkin, M.I.Velikiy, I.P.Goldaev, A.P.Dmitriev, E.P.Polevichek, I.P.Popov, A.N.Moskalev, A.A.Galyas, A.V.Motornenko, A.V.Yagupov, A.V.Bolotov, B.R. are devoted to the development of the principles of calculation and design of thermal circuits. Rakisheva, Yu.N.Babina, A.N.Genbach, V.V.Povetkina, etc. In these works, the foundations of the theory of jet burners for thermal drilling, processing and cutting of rocks are laid, methods of their calculation and selection of design parameters are proposed.

The fire-blasting method of destruction provides cutting and processing of rocks at a modern level with high speeds. Thus, the cutting capacity of oxygen-kerosene thermal tools reaches 1.3 m<sup>2</sup> of cutting area per hour, and fuel-air - 0.8 m<sup>2</sup>/h [5].

A variety of tools used in the impact and heat treatment of stone can be divided according to the principle of operation into three main types: manual percussion, pneumatic and thermal. Depending on the purpose, they are divided into tools for approximate and for precise stone processing [1].

Currently, diamond discs and rope saws are used to replace the fire-blasting treatment of the block stone surface.

Figure 1 shows the process of sawing a granite block with a circular diamond saw at the Kurtinsky granite quarry.



Fig. 1. The process of sawing a granite block with a circular diamond saw

Figure 2 shows the products processed with a circular diamond saw.

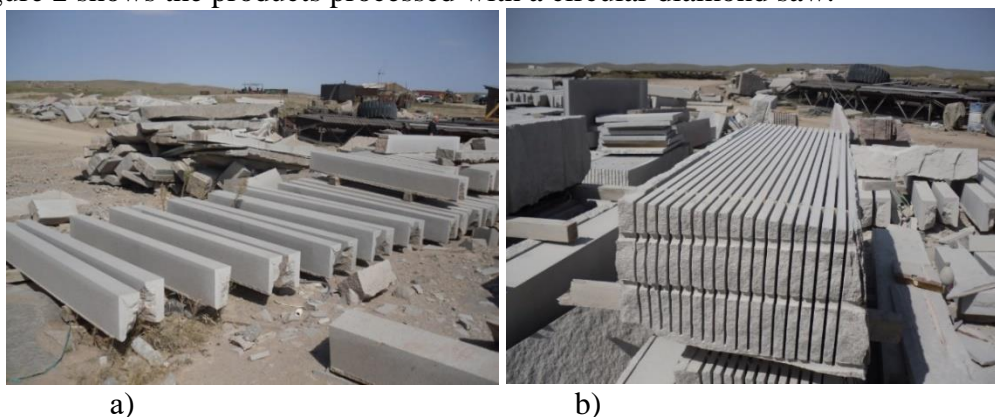


Fig.2. Products processed with a circular diamond saw  
a – side stone; b – sawing into thin plates

Due to the simplicity of operation and organization of fuel components of fuel-air thermal tools, their use as working bodies of mechanized installations is relevant. An increase in the power of fuel-air thermal tools, without significant development of their overall dimensions and an increase in the size of the torch torch, commensurate with the size of the treated surfaces of stone products (side stone, steps, etc.), is possible due to the intensification of gorenje processes [5].

One of the means of intensifying the combustion of free jets outside the Laval nozzle section is the afterburning of incomplete combustion products in the supersonic jet of the torch torch [6]. Gorenje

Currently, a large number of designs of thermal tools with a high thermal effect have been developed [6-9].

The developed designs of thermosets [6-9] solved a number of technological problems – increased the productivity of rock destruction, automated the start of burners, which is important when developing the working bodies of mechanical thermal units, but a significant effect of increasing the thermodynamic parameters of combustion in these burner designs was not achieved. The research conducted to obtain the phenomenon of detonation in a free jet of burners when burning fuel components in it in various stoichiometric ratios did not lead to the creation of powerful shock waves and, as a consequence, detonation phenomena.

However, the introduction of the missing fuel component, the oxidizer, into the fuel-enriched gas jet of the burner and the combustion of these components in the bottom-hole space, i.e. in the seal jump disconnected from the bottom, gave positive results, but the increase in productivity is insignificant.

The ongoing combustion intensification studies show the prospects of using the phenomenon of detonation combustion for thermal destruction of rocks [10].

With an increase in the shock pulse of the jet (mechanical component), the destruction of rocks proceeds more intensively, and the probability of melting the face decreases. The magnitude of the shock pulse of the jet is proportional to the square of its velocity, therefore, a significant increase in the dynamic component of the jet velocity can be obtained using the phenomenon of detonation.

The introduction of block extraction technology using thermal cutting at the leading stone processing enterprises of Kazakhstan has shown that the rocks of most granite deposits are well destroyed by gas-jet thermal tools at a speed acceptable for practice. The average cutting capacity is 0.65-1.2 m<sup>2</sup> of slit per hour [10].

The kerosene-oxygen thermal cutter TR-14/22-5 (manual thermal cutter, combustion chamber diameter – 14 mm, calibrator – 22 mm, model – 5) of the K.I.Satpayev KazNITU design found the most widespread in the stone processing industry (Figure 3). The control and protection systems of the device are located in the handle of the heat cutter.

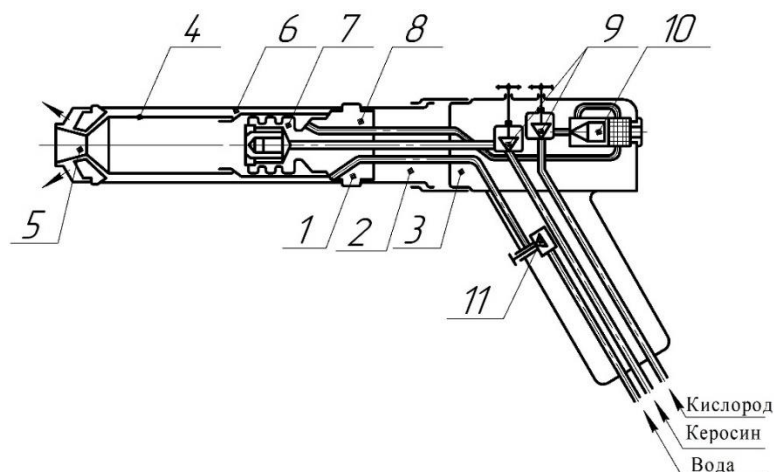


Fig. 3. Diagram of the thermal cutter TR-14/22-5

- 1 – tip; 2 – adapter; 3 – shank; 4 – combustion chamber; 5 – nozzle; 6 – nozzle; 7 – swirler; 8 – distribution head; 9 – throttling valves; 10 – reverse shock protection system; 11 – water valve

The thermal cutter TR-14/22-5 is an improved model of the device TR-14/22 [23] and has the following indicators:

- processing performance – 1... 2 m<sup>2</sup> / h with a thickness of the removed layer of 0.05 ...0.06 m or 100...150 kg/h of chipped material;
- oxygen consumption – 15..18 m<sup>3</sup>/h, kerosene – 8...9 l/h, cooling water – 160...200 l/h;
- pressure of working components: oxygen – 1.2...1.5 MPa, kerosene – 1.2...1.5 MPa, water – 0.3...0.5 MPa.

Kazntu named after K.I.Satpayev has developed a more advanced design of a heat sink with a vortex air energy separator for hot and cold streams. In the new tool, the hot air flow is used to ignite the combustible mixture and directly participate in the combustion process, the cold flow is used to cool the combustion chamber (Figure 4).Gorenje is a natural gas.

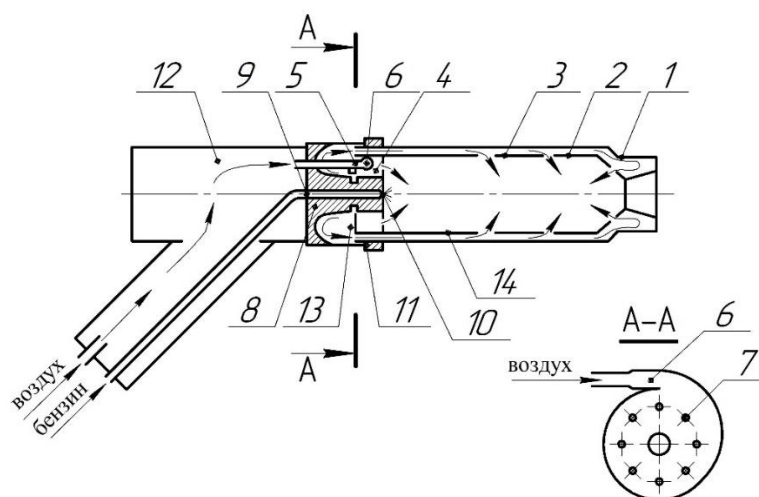


Fig. 4. A heat sink with an energy separator

- 1 – nozzle; 2 – heat pipe; 3 – casing; 5 – vortex chamber; 6 – holes for air passage; 7 – inclined holes; 8 – cone; 9 – central channel; 10 – nozzle; 11 – lock nut; 12 – handle

Fuel-air thermal tools BVR-60 and GVK-70, which are 18, have been created and are working...20% more economical and more productive than thermal cutters TRV-12 and have the following indicators:

- processing performance with a thickness of the removed layer of 0.045...0.05 m is 1.3...1.4 m<sup>2</sup> / h or 100...110 kg/h of chipped material;
- slit cutting capacity – 0.7...0.8 m<sup>2</sup>/h with a slit width of 0.1 ...0.12 m;
- compressed air consumption – up to 9 m<sup>3</sup>/min, gasoline – 20-25 l/h;
- component pressure: air – 0.5...0.6 MPa, gasoline – 0.5...0.6 MPa.

The mechanism of thermal destruction of rocks during their cutting and surface treatment is the same as when drilling boreholes and boreholes, and has the character of loss of stability of the surface layer in the event that its temperature reaches the temperature of destruction  $T_p$ , which is determined by the expression [11]

$$T_p = \frac{2K(1-\mu)}{\beta E} \quad (1)$$

where  $K$  is the conditional tensile strength (characterizes compressive stresses in the heated surface layer of the rock, at which its stability is lost);

$\mu$  – Poisson's ratio, J/kg·To;

$\beta$  – coefficient of linear thermal expansion;

$E$  – modulus of elasticity, MN/m<sup>2</sup>;

The time from the beginning of surface heating to the moment of reaching the fracture temperature is determined by the expression

$$\tau_p = \frac{x}{h^2 a} \quad (2)$$

where  $x$  – the current coordinate;

$h$  – the characteristic size;

$a$  – the thermal conductivity coefficient,

and the thickness of the separating layer is the expression

$$\Delta = \frac{1}{h(U-1)} \quad (3)$$

where  $U = \frac{\theta}{T_p}$ .

High-temperature gas jet (temperature up to 2000...3000°C) with supersonic speed (over 2500 m/s) affects the surface of rocks. Under the influence of high temperature in rocks, there is a sharp increase in the volume of individual mineral grains, which leads to the formation of internal stresses in the surface layer of the rock, followed by its destruction, which usually occurs in the peeling mode.

The speed of rock destruction under the action of a high-temperature gas jet depends on the thermophysical properties of the rock, its mineralogical composition, structure, texture, degree of weathering, fracturing, rational use of gas jet energy, etc.

The highest performance of thermal cutters is usually achieved on monolithic coarse-grained granites with a high quartz content (30... 40%) and a minimum biotite content (up to 10%) - up to 1.2 m<sup>2</sup>/h with a gap width of up to 0.10 m, a depth of up to 5 m. The most important

factor affecting the performance of thermosets is the rational use of the energy of the gas jet, determined by the distance from the bottom of the slit to the cut of the burner nozzle (optimal – 70 mm) and the angle of attack of the gas jet (optimal – 60 °) [12].

It is established that the performance of fire-blasting destruction is proportional to the power of the heat flow going into the rock, the heat power, in turn, depends on the temperature of the gas jet, its velocity and the geometric dimensions of the contact spot. These factors are the operating parameters of thermal tools. The study of their influence on the performance of fire-blasting destruction is necessary for the design of burners for the intended purpose.

Conclusions:

1. The analysis of the current state of development of extraction and processing of natural stone from granite with the use of flame burners is carried out;
2. The processes of extraction and processing of block stone from strong rocks are considered;
3. The stages of development of structures of fire-blasting burners for the destruction of rocks during the extraction and processing of block stone from strong rocks according to patent materials are considered;
4. The analysis of the fire-blasting method of rock destruction used in the extraction and processing of block stone and the prospects for its development is carried out.

**References:** **1.** Chirkov A.S. Dobycha i pererabotka stroitel'nyh gornyh porod: Uchebnik dlja vuzov. - M.: Izd-vo MGTU, 2001. - 623 s. **2.** Mendekeev R.A. Nauchno-prikladnye osnovy sozdaniya tehniki i tehnologij dlja kamnedobyvajushhej promyshlennosti: avtoref. ... d-ra tehn. nauk: 05.05.06. – Bishkek: Kyrgyzsko-Uzbekskij universitet, 2008. – 46 s. **3.** Povetkin V.V. Processy i tehnologija ognestrujnoj obrabotki blokov krepkih gornyh porod: avtoref. ... d-ra tehn. nauk: 05.15.11. – Almaty: KazNTU, 2001. – 42 s. **4.** Pat. 2381897 RF. Ustrojstvo dlja raspilovki kamnja almaznym kanatom / Makarev G.G.; opubl. 20.02.2010, Bjul. №5. - 11 s. **5.** Gurov M.Ju. Obosnovanie tehnologicheskikh parametrov dobychi i razdelki granitnyh blokov kanatno-almaznymi pilami: avtoref. ... kand. tehn. nauk: 25.00.22, 25.00.20. - M.: Magnitog. gos. tehn. un-t im. G.I. Nosova, 2002. - 16 s. **6.** A.s. 724720. SSSR. Ognestrujnaja gorelka dlja termicheskogo razrusheniya mineral'nyh sred / Arhipkin V.I., Povetkin V.V., Seitov A.S., Spasenov M.I., Shaparev S.V.; opubl. 30.03.80, Bjul. №12. - 2 s. **7.** A.s. 1209855. SSSR. Ustrojstvo dlja termicheskogo razrusheniya tverdyh porod / Povetkin V.V., Sejtbatolov S.M., Tleuov M.G.; opubl. 07.02.86, Bjul. №5. - 3 s. **8.** A.s. 1221346. SSSR. Ustrojstvo dlja termicheskogo razrusheniya gornyh porod / Tleuov M.G., Povetkin V.V.; opubl. 30.03.86, Bjul. №12. - 3 s. **9.** Pat. 15191 RK. Gorelka termoinstrumenta / Genbach A.A., Berkinbaev G.D., Abitov K.A., Alshymbaeva R.T.; opubl. 16.07.2007, Bjul. №7. – 5 s. **10.** Pershin G.D., Goljak S.A., Uljakov M.S., Karaulov N.G., Sorokin I.S., Domnin V.Ju., Ishtakbaev R.F. Sovremennye tehnologii dobychi blochnogo granita // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. – Moskva, 2014. - №12, - S.163-167. **11.** Dmitriev A.P., Goncharov S.A., Germanovich L.N. Termicheskoe razrushenie gornyh porod. - M.: Nedra, 1990, - 255 s. **12.** Povetkin V.V., Khandozhko A.V., Bukayeva A.Z., Nurymov Y.K. Study of the application high velocity thermal spraying tools used in technological processes and production // News of the academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. - Almaty, 2017. - №5. - P.190-201.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Аксёнов А. А., Цокур В. П.</b> САМОДВИЖУЩАЯСЯ РАДИОУПРАВЛЯЕМАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ УБОРКИ СНЕГА	<b>Стр.;</b>  <b>3</b>
<b>Атауллин А. С., Буленков Е. А.</b> ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЕРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	<b>8</b>
<b>Бараниченко В.В., Бедоидзе М.В., Ермаков А.С., Рахманов А.И., Сулимен- ко А.С.</b> МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ВЕРТИКАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННОМ СЕПАРАЦИОННОМ ДИФФУЗОРЕ	<b>11</b>
<b>Бедоидзе М.В., Рахманов А.И., Сулименко А.С., Харахашьян А.М.</b> ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ ФАЗО-АМПЛИТУДНО-ЧАСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИ- КИ ШУМА НА ЛЕСОПИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРИ ПОМОЩИ ПК	<b>17</b>
<b>Бутенко В.И., Рубан Н.Н.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АБРАЗИВНЫХ ЗЁРЕН СУСПЕНЗИИ С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЕТАЛИ ПРИ ЕЁ ДОВОДКЕ	<b>23</b>
<b>Горбань В.В., Горобец И.А.</b> ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕ- НИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕ- ТАЛИ «ВАЛ»	<b>29</b>
<b>Горобец И.А., Мелешко Э.Г., Черноус В.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНЫХ УСТРОЙСТВ УПРАВ- ЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ С ЧПУ	<b>33</b>
<b>Журавлев Д.Г., Чернышев Е.А.</b> АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОТОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	<b>36</b>
<b>Кулинкович Н.Д., Михайлов А.Н.</b> ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ВЕРТОЛЕТНОГО ГТД ТВ3-117	<b>38</b>
<b>Лахин А.М., Мороз О.В., Горобец И.А.,</b> ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТИ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫХ СТАНКОВ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДАЧИ	<b>43</b>

<b>Михайлов А.Н., Анастасьев А.В., Горбань В.В.</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ ЛОПАТОК ТУРБИН ГТД	47
<b>Папкова В.С., Грешникова В.В., Петряева И.А.</b> АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЧУГУНА ИНСТРУМЕНТАМИ ИЗ СТМ	50
<b>Приходченко Е.И., Григорьев С.А.</b> ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПРИ ОБУЧЕНИИ ПЕРСОНАЛА ДЛЯ РАБОТЫ С ШАХТНЫМ СПЕЦОБОРУДОВАНИЕМ	55
<b>Приходченко Е.И., Сидоров В.А., Пичахчи А.В.</b> РОЛЬ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО МАСТЕРСТВА В ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ	58
<b>Синельцев Ю.П., Дидиченко И.О.</b> УСТРАНЕНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕММЫ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА, ВОЗНИКАЮЩЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЗАШТЫБОВЫВАНИЯ НИЖНИХ РОЛИКОВ, ПУТЁМ МОРДЕНИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ КОНВЕЙЕРА	61
<b>Федотов М.С., Лахин А.М.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ 3Д ПЕЧАТИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ	64
<b>Лысенко Н.М., Чегиринов А.Д.</b> К ВОПРОСУ УСТАНОВЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРО-ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА, ВСТРАИВАЕМОГО В РЕГУЛИРУЕМЫЕ ОПО-РЫ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА ТИПА 1ГШ68	70
<b>Ghazaryan S.D., Harutyunyan M.G.</b> TO THE DESIGN OF RECONFIGURABLE AND BALANCED MULTIPURPOSE ASSISTIVE DEVICES	74
<b>Povetkin V.V., Bukayeva A.Z., Nurmukhanova A.Z. Kerimzhanova M.F.</b> PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF EXTRACTION AND PROCESSING OF BLOCK STONE FROM STRONG ROCKS	79

**НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ**

**Студенческий  
научно-технический журнал**

**«ИНЖЕНЕР»**

**№ 1 (35)' 2023**

**ISSN 2073-5804**

Главный редактор  
*д-р техн. наук, проф. А.Н. Михайлов*  
E-mail: [tm@fimm.donntu.ru](mailto:tm@fimm.donntu.ru)  
*Технический редактор Д. О. Киселица*

*Учредитель и издатель – ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ*

Адрес издателя: ДНР, 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ФГБОУ ВО «ДонНТУ»,  
тел. +7 (856) 337-17-33, 335-75-62

Адрес редакции: ДНР, 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, тел.+ 7 949 306-08-79,  
+7 (856) 301-08-05. E-mail: [tm@fimm.donntu.ru](mailto:tm@fimm.donntu.ru) . Сайт: <http://engineer.donntu.ru>