



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

**ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ
В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ, ДОРОЖНОЙ И СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛЯХ - 2024**

**ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ
В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ,
ДОРОЖНОЙ И СТРОИТЕЛЬНОЙ
ОТРАСЛЯХ - 2024**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

(Белгород, 26-28 сентября 2024 г.)



**Белгород
2024**



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова

**ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ
В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ, ДОРОЖНОЙ
И СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛЯХ - 2024**

**Материалы Международной научно-практической
конференции**

(Белгород, 26 — 28 сентября 2024 г.)

**Белгород
2024**

УДК 621.86

ББК 39.9

Э65

Э65

Энергоресурсосберегающие технологии и оборудование в машиностроительной, дорожной и строительной отраслях - 2024: материалы международной научно-практической конференции. – Белгород: Изд-во. БГТУ, 2024. - 248 с.

ISBN 978-5-361-01399-9

В сборнике материалов международной научно-практической конференции представлены научные исследования и инновационные разработки вузов Российской Федерации и зарубежья в области подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин. Тематика охватывает вопросы совершенствования конструкций, методов расчета, проектирования, исследований и эксплуатации машин и оборудования.

Издание предназначено для научных и инженерно-технических работников, а также для аспирантов и магистров технических вузов.

Публикуется в авторской редакции.

УДК 621.86

ББК 39.9

ISBN 978-5-361-01399-9

© Белгородский государственный технологический университет (БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2024

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова

ОТВЕТСТВЕННЫЕ РЕДАКТОРЫ:

Канд. техн. наук, доц. Н.С. Любимый
Канд. техн. наук, доц. Б.С. Четвериков

СОСТАВ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА:

- С.Н. Глаголев - Председатель, д-р экон. наук, ректор БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород
- А.А. Романович - Заместитель председателя, проф., д-р техн. наук, зав. каф. подъемно-транспортных и дорожных машин БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород

ЧЛЕНЫ КОМИТЕТА:

- В.А. Зорин - зав. каф. производства и ремонта автомобилей и дорожных машин (МАДИ) г. Москва
- В.Ю. Анцев - зав. каф. подъемно-транспортных машин и оборудования, ТГУ, г. Тула
- В.А. Жулай - зав. каф. строительной техники и инженерной механики, д-р техн. наук, ВГАСУ г. Воронеж
- Л.А. Сиваченко - проф., д-р техн. наук, Белорусско-Российский университет, г. Могилев
- Н.Г. Гринчар - проф., д-р техн. наук, МИИТ г. Москва
- К.А. Гончаров - зав. каф. подъемно-транспортных машин и оборудования (БГТУ) г. Брянск
- В.А. Пенчук - проф., д-р техн. наук, академик Академии ПТМ Украины, зав. каф. наземных транспортно-технологических комплексов и средств ГОУ ВПО ДонНАСА, г. Макеевка

ОГЛАВЛЕНИЕ

Боженов Д.А., Шафорост А.Н., Анцев В.Ю., Трушин Н.Н. Роботизация процесса обслуживания клиентов на предприятии общественного питания.	7
Витчук П.В., Баранов К.А. Повышение несущей способности пролетного строения козлового крана.	13
Габдуллин Т.Р., Забродин Н.Ю., Кафиев И.Р. Исследование повышения прочности бетона с применением жидких и сухих добавок.	18
Габдуллин Т.Р., Ченсов Р.Р., Кафиев И.Р. Исследование оптимизации процесса уплотнения дорожного покрытия из асфальтобетонной смеси.	30
Гринчар Н.Г., Хусаинов А.А. Основные проблемы эксплуатации гидрофицированных машин на железнодорожном транспорте.	39
Гринчар Н.Г., Хусаинов А.А. К вопросу об управлении надежностью машин в эксплуатации. . .	44
Гусейнова С. С., Сырых А.А., Синегубова М.М. Классификация катков и направления их совершенствования. . . .	48
Духанин С.А., Толкунов С.Н. Применение модуля инженерного анализа «APM BEAR» при расчете конструкции ударно-вихревой мельницы	53
Жулай В.А., Щенко А.Н., Ирхин М.В., Хлоповских Д.А. О возможности управления энергетическим процессом автогрейдера по параметрам двигателя.	61
Зеньков С.А., Бондалет И.С., Высоцкий Е.С., Медведев С.Н. Определение зависимости угла внешнего трения грунта от влажности и материала поверхности машин.	66
Иванов С.В., Иванова К.А. Оборудование для содержания обочин автомобильных дорог. . . .	69
Иванов С.В., Юдаев И.А., Иванова К.А. Снегоуборочное оборудование с совмещенным фрезерно-роторным рабочим органом.	73
Качаев А.Е., Орехова Т.Н., Сивальнева М.Н., Уральский А.В. Определение производительности роторной мельницы.	79
Качаев А.Е., Орехова Т.Н., Сивальнева М.Н. Математическая модель внутренней классификации готового продукта в дезинтеграторной мельнице.	85
Качаев А.Е., Орехова Т.Н., Шкарпеткин Е.А., Сивальнева М.Н.	

Определение аэродинамических характеристик пневмосмесителей непрерывного действия.	94
Кузьменкова М.С., Сиваченко Л.А., Харитонов Ю.М., Стрельцов В.Н.	
Конструктивное совершенствование волновых цепных грохотов	104
Любимый Н.С., Авдеев Д.И., Быщенко М.В., Грибеников А.Е.	
Анализ конкурентоспособности инструмента, изготовленного по металлокомпозитной технологии.	109
Любимый Н.С., Авдеев Д.И., Быщенко М.В., Грибеников А.Е.	
Вовлечение школьников в инженерное дело путем решения производственных кейсов.	117
Маслов Н.А., Толстов М.А.	
Имитационное моделирование процесса торможения насос-гидромотора привода рабочего передвижения путевой машины	124
Орехова Т.Н., Шкарпеткин Е.А., Матвеев М.А., Антоненко Н.А., Алиев Р.А.	
Влияние конструктивно-технологических параметров на мощность привода смесителя с рабочим органом и-образной формы.	131
Пахомов Е.Г., Барабашова К.Д.	
Разработка оптимальной конструкции лопатки двухроторного смесителя с использованием CAD/CAM/CAE систем.	136
Потапов В.А.	
Теоретические и экспериментальные подходы к проектированию приводного механизма цепного агрегата	143
Прокопенко В.С., Романович А.А., Гапич А.А.	
Анализ схемы получения кубовидного щебня из лещадного материала.	150
Прокопенко В.С., Романович А.А., Резанов Д.С.	
Анализ конструкций грануляторов для получения готового продукта.	153
Редькин А.В., Алексеенко А.В.	
Моделирование возникновения дополнительных опрокидывающих возмущений при повороте крана с грузом.	158
Романович А.А., Прокопенко В.С., Лаптева М.А., Сухоруков И.Н.	
Применение пресс-валкового агрегата в технологиях переработки горных пород и техногенных материалов.	165
Романович А.А., Прокопенко В.С., Лаптева М.А., Анненко Д.М.	
Анализ движения мелющих тел в шаровой мельнице при различном расположении энергообменных устройств и определение мощности привода мельниц.	176

Синегубова М.М., Орехова Т.Н.	
Переработка хвостохранилищ для дорожных материалов.	188
Сырых А.А., Орехова Т.Н.	
Глинистые минералы: от горных пород до нанотехнологий.	192
Таволжанский М.Р., Сырых А.А., Орехова Т.Н.	
Технологический комплекс малогабаритного оборудования для приготовления изделий из полистиролбетонной смеси.	198
Таволжанский М.Р., Сырых А.А., Орехова Т.Н.1	
Анализ кинематики смеси в корпусе смесителя с вертикальным шнеком со сменной образующей.	205
Угрюмов И.А., Семенова И.А.	
Защита экскаватора от воздействия гидроударного оборудования	210
Чалова М.Ю., Кирсанов А.Д.	
Анализ российской и шведской путевой снегоборочной техники	215
Чалова М.Ю., Трошко И.В., Красных С.Ю.	
Совершенствование технологии при строительстве и ремонте железнодорожного пути с применением укладочного крана УК-25/25.	223
Четвериков Б.С., Новоселов А.А., Роговая Л.А., Колесников А.А.	
Исследование удельной энергоемкости разрушения грунта рабочими органами динамического действия.	227
Четвериков Б.С., Новоселов А.А., Роговая Л.А., Помельников А.А.	
Анализ силовых и энергетических показателей торцевого рабочего органа траншеескопателя.	232
Лаптева М.А., Пахомов Е.Г., Барабашова К.Д.	
Алгоритм расчета силовых и геометрических характеристик крана в строительстве	236
Лаптева М.А., Пахомов Е.Г., Барабашова К.Д.	
Повышение надежности ходовых элементов крана при эксплуатации в строительстве	242

УДК 621.8

**РОБОТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБСЛУЖИВАНИЯ КЛИЕНТОВ
НА ПРЕДПРИЯТИИ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ**

Боженов Д.А.¹, Шафорост А.Н.¹, Анцев В.Ю.¹, Трушин Н.Н.¹

1. ФГБОУ ВО Тульский государственный университет, г. Тула

В работе описывается процесс роботизации подачи блюд в заведении ресторанной индустрии.

Ключевые слова: робот-официант, BellaBot, среднее время обслуживания, временные затраты, очередь.

**ROBOTIZATION OF THE CUSTOMER SERVICE PROCESS AT
THE CATERING ENTERPRISE**

Bozhenov D.A.¹, Shaforost A.N.¹, Antsev V.Yu.¹, Trushin N.N.¹

1. Tula State University

The paper describes the process of robotization of serving dishes in an establishment in the restaurant industry.

Key words: robot waiter, BellaBot, average service time, time costs, queue.

В современном мире технологии активно внедряются во все сферы жизни, и ресторанная индустрия не является исключением. Одним из актуальных направлений развития ресторанного бизнеса является роботизация процессов, в том числе и подача блюд. Роботизация позволяет оптимизировать рабочие процессы, повысить качество обслуживания и удовлетворить растущие потребности посетителей.

Цель данной работы – роботизация процесса подачи блюд заведения ресторанной индустрии.

Сеть ресторанов быстрого питания была запущена в 2011 году в г. Туле и стремительно разрослась в крупного игрока на рынке общепита города. В данный момент насчитывает 7 ресторанов.

Вместимость исследуемого ресторана составляет 183 места. Схема заведения изображена на рис. 1. Средний чек на человека (клиента) – 1000 рублей.

К видам деятельности ресторана относятся:

– оказание услуг по изготовлению, реализации и организации потребления широкого ассортимента блюд и изделий сложного изготовления всех основных групп из различных видов сырья, покупных товаров и вино-водочных изделий квалифицированным производственным и обслуживающим персоналом в условиях

повышенного комфорта и уровня материально – технического оснащения в сочетании с организацией досуга;

- оказание услуг бара по изготовлению и реализации широкого ассортимента напитков, закусок, кондитерских изделий, создание условий для их потребления у барной стойки или в зале;

- оказание услуг по изготовлению кулинарной продукции и кондитерских изделий по заказам потребителей, организация и обслуживание торжеств, семейных обедов и других мероприятий, организация питания и обслуживание участников конференций, семинаров, совещаний, культурно-массовых мероприятий;

- оказание услуг организации музыкального обслуживания, проведение концертов, дискотек;

- оказание информационно – консультативных услуг по изготовлению, оформлению кулинарной продукции и сервировке стола;

- оказание услуги «бизнес-ланч» в будние дни с 12-00 до 16-00.

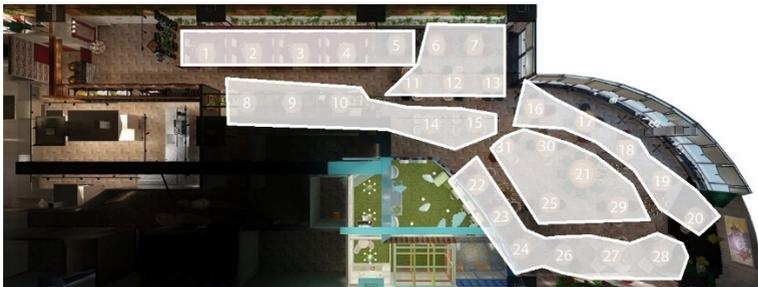


Рис. 1. Схема заведения

Общее число работников 41 человек, из них обслуживающего персонала 12 человек. Большинство персонала, а именно 24 человека (58 %), - женщины, 17 работников – мужчины (42 %). Все сотрудники попадают в возрастную группу до 35 лет.

График работы персонала расписывается на месяц вперед, далее редактируется каждую неделю.

В бар-ресторане используется такой метод обслуживания потребителей как полное обслуживание с официантами. Официант, предложив меню, отходит на некоторое время, чтобы дать возможность гостю ознакомиться с меню. Убедившись, что гость ознакомился с меню, официант подходит к столу и принимает заказ. При необходимости официант помогает в выборе блюда, учитывая при этом возможности производства и пожелания гостей. Далее по мере готовности приносятся заказанные блюда и напитки, происходит

сервировка стола [1-3]. Пища готовится и раскладывается по тарелкам непосредственно на кухне. Официанты разносят и расставляют тарелки гостям. Технология обслуживания гостей представлена на рис. 2.

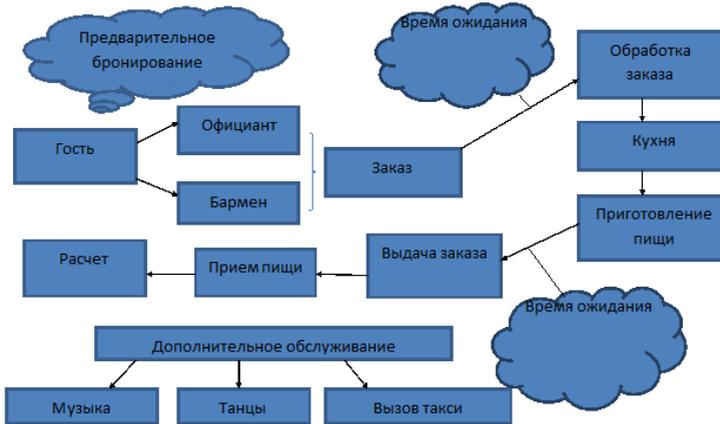


Рис. 2. Технология обслуживания гостей в бар-ресторане

В настоящее время в исследуемом бар-ресторане выявлена проблема существенных временных затрат на обслуживание гостей. Официанты не всегда справляются с потоком гостей, блюда могут подолгу стоять на раздаче [4]. Сами гости отмечают медленную скорость работы официантов и долгое ожидание заказанных блюд. Минимизировать временные затраты было решено с помощью роботизации линейных процессов путем приобретения робота-официанта. Рассмотрев самые популярные решения, был выбран Bella Bot (рис. 3).

Bella Bot — одна из самых популярных в мире моделей роботов-официантов. Она обладает выдающимися характеристиками и высокой степенью интерактивности, отличается по-настоящему инновационным дизайном, наличием голосовых модулей на базе искусственного интеллекта и другими функциями, которые по настоящее время не имеют аналогов в мире.

Робот также оснащен двумя технологиями позиционирования и навигации:

- визуальным;
- лазерным SLAM.

Их сочетание обеспечивает максимальную точность движений робота. Робот может не только обнаруживать препятствия, но и

объезжать их при необходимости. Частота распознавания предметов у Bella Bot – до 5400 раз в минуту.



Рис. 3. Робот-официант Bella Bot

Внедрение робота поможет решить ряд издержек, таких как:

- робот не бьет посуду;
- возможность переносит до 4 подносов, или около 12-15 тарелок (против 2-3 которые способен перенести человек);
- зачистка стола в 1 прием против 2-3 человеком;
- отсутствие человеческого фактора (постоянная производительность, робот не устает);

- увеличение трафика гостей;

- отсутствие очередей;

- сокращение штата официантов (экономия на заработной плате);

- снижение имиджевых рисков;

Из минусов можно выделить следующее:

- Bella bot не может работать в автономном режиме;

- затраты времени на адаптацию персонала (первое время придется контролировать использование робота линейным персоналом);

- величина затрат на внедрение робота (стоимость робота, затраты на прошивку, «обкатка»).

Перемещения робота-официанта в заведении показаны на рис. 4.

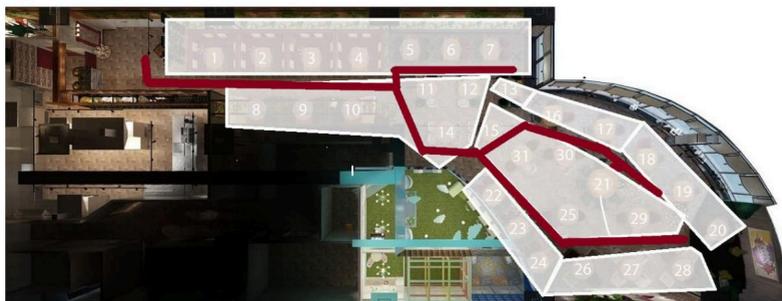


Рис.4. Схема перемещения робота в ресторане

Проведено исследование работы официанта в штатном режиме и тестовая работа официанта с роботом, результаты представлены в таблице 1 [5].

Таблица 1

Сравнение работы официанта и официанта с Bella Bot

Критерии оценки	Официант	Официант+Bella Bot
Количество переносимой посуды	2-3 тарелки	12-14 тарелок
Бой посуды	присутствует	маловероятен
Впечатление	В наше время официант в заведении едва ли может кого-то удивить	Родители отмечают восторг детей роботизированной кошкой. Просят принести им еду, используя ее.
Зачистка стола (когда за столом сидела большая компания)	2-3 подхода, либо привлечение к помощи второго официанта	1 подход в тех же условиях

Необходимо также проанализировать работу штата в полном составе с использованием робота и без (таблица 2) [6].

Как показало исследование, внедрение робота-официанта имеет ряд экономических преимуществ:

- экономия на заработной плате сотрудников;
- увеличение выручки (повышение трафика гостей, за счет сокращения времени обслуживания).

Для расчета эффективности стоит учесть следующие факторы:

- сроки окупаемости (стоимость робота, траты на внедрение);
- повышение производительности официанта;
- увеличение выручки (расчет на основе среднего чека).

Данные для расчета:

- Зарплата сотрудников за смену – 2 тыс. руб.,
- Стоимость робота 900 тыс. руб.,
- Количество людей в смену при наличии робота можно сократить на 2 человека.

Таблица 2

Сравнение работы персонала в штатном режиме и официантов с Bella Bot

Фактор	7 официантов	5 официантов	5 официантов + Bella Bot
Жалобы на долгое обслуживание	Редко	Систематически	Очень редко
Образование очереди у заведения в связи с долгой зачисткой пустых столов	Редко	Очередь образуется в связи с долгой зачисткой столов	Нет

Ожидаемый эффект.

Использование робота-официанта Bella bot позволит повысить эффективность работы официантов скорость отдачи блюд, и уровень обслуживания гостей.

На данный момент среднее количество посетителей ресторана составляет 573 человек за 14-часовую смену, исходя из 6 человек в смену выработка составляет 7 человек за час рабочего времени.

Результаты предварительных расчетов показывают увеличение выручки примерно на 28000 руб., исходя из среднего чека 1700 руб. на посетителя.

Внедрение в производство пакета Bella bot позволит увеличить количество посетителей заведения, повысить качество обслуживания, сократить время на обслуживание одного гостя, избежать простоя блюд и напитков.

Список литературы

1. Аносова М.М. Организация производства на предприятиях общественного питания / М.М. Аносова, Л.С. Кучер. – Москва: Экономика, 2005. – 24 с.
2. Кристофер Э.Т. Ресторанный бизнес / Э.Т. Кристофер. – Москва: Росконсульт, 2006. – 23 с.
3. Николаева Т.И. Формирование услуг предприятий общественного питания в условиях развития рыночной экономики / Т.И. Николаева, З.О. Фадеева. – Москва: Вестник, 2007. – С. 64-69.
4. Портер М.Е. Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей и конкурентов / М.Е. Портер. – Москва: Альпина Бизнес Букс, 2010. – 454 с.
5. Повышение эффективности и качества бизнес-процессов проектно-строительной организации на основе внедрения механизмов параллельного

инжиниринга / С.Ю. Шафорост, А.Н. Шафорост, В.Ю. Анцев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 9. – С. 480-484.

6. Анцев В.Ю. Повышение качества управления маркетингом на основе концепции моделирования бизнес-процессов / В.Ю. Анцев, Н.В. Анцева, А.В. Анцев // От качества инструментов к инструментам качества: Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции, Тула, 19–20 октября 2023 года. – Тула: Тульский государственный университет, 2023. – С. 249-253.

УДК 621.86

ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ КОЗЛОВОГО КРАНА

Витчук П.В.¹, Баранов К.А.¹

1. Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Рассмотрена возможность повышения грузоподъемности козлового крана путем на основе усиления пролетного строения оттяжками. Проведена конструкторская проработка предложенного варианта усиления пролетного строения. Произведён выбор элементов привода козлового крана с повышенной грузоподъемностью. Подтверждена несущая способность металлической конструкции на основе пересчета коэффициента запаса сечения.

Ключевые слова. Грузоподъемность, козловой кран, металлическая конструкция, механизмы крана.

INCREASING THE LOAD-BEARING CAPACITY OF THE GANTRY CRANE SUPERSTRUCTURE

Vitshuk P.V.¹, Baranov K.A.

1. Bauman Moscow State Technical University Kaluga branch

Considered the possibility of increasing the lifting capacity of a gantry crane by strengthening the superstructure with guy ropes. Carried out the design study of the proposed option for strengthening the superstructure. The choice of elements of the gantry crane drive with increased load capacity has been made. The bearing capacity of the metal structure has been confirmed based on the recalculation of the cross-section margin coefficient

Keywords. Lifting capacity, gantry crane, metal structure, crane mechanisms.

Колоссальный масштаб технического развития в мире требует непрерывного улучшения орудий механизации строительных и грузотранспортных работ, из числа которых существенную роль занимают крановые краны. Немаловажным является решение задачи по повышению несущей способности металлической конструкции крана. При повышении грузоподъемной характеристики крана основной является задача повышения несущей способности его металлической конструкции.

Исследованиям вопросов прочности, надежности и живучести крановых металлоконструкций традиционно придавали огромное значение, учитывая потенциальную опасность ПТМ в эксплуатации, уникальность конструктивных решений и сложные режимы нагружения в интенсивных технологических процессах разных производств.

На основе работы [1] было установлено, что наилучшим вариантом усиления пролетной конструкции является применение оттяжек, работающих на растяжение (рис. 1а). Схема составлена по уже освоенной в производстве конструкции пролетной балки 1 и ригеля 2. Нововведением являются канатные оттяжки 3.

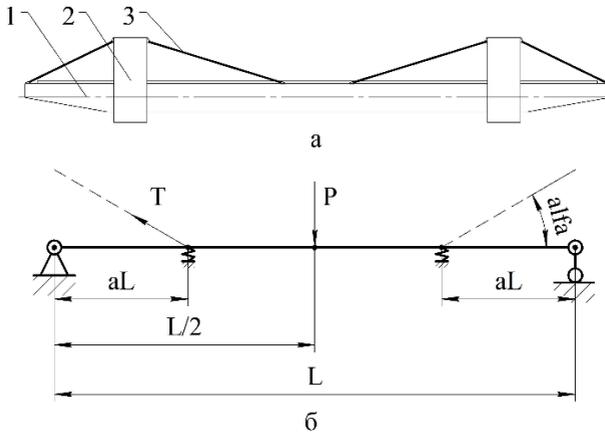


Рис.1. Выбранная схема усиления: а - эскизное представление, б - расчетная схема

Также в работе [1] было установлено, что наилучшее расстояние aL (м) от оси ригеля до точки крепления оттяжки к балке должно соответствовать диапазону $a=0,2...0,3$ (рис. 1б):

$$0,2 \cdot 16 \leq aL, (м) \leq 0,3 \cdot 16;$$

$$3,2 \leq aL, (м) \leq 4,8.$$

Результаты расчетов.

Р, кН	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
М _{кр} , кН·м	61,7	68,6	75,4	82,3	89,1	96	103	110	117	123	130
Т, кН	19,8	39,6	59,3	79,1	98,9	118	139	158	178	198	218

На примере крана грузоподъемностью 8 тонн с использованием методик и программ [1–4], были получены необходимые исходные данные для конструкторской проработки пролетного строения (табл. 1), где Р (кН) – половина веса груза, М_{кр} (кН·м) – критический изгибающий момент, Т (кН) – разрывное усилие в оттяжке. В результате было установлено, что использование оттяжек позволяет повысить грузоподъемность более чем в 2,5 раза. Но для исключения значительных перегрузок остальных элементов металлоконструкции было принято максимальное усилие Р = 80 кН, соответствующее грузоподъемности Q = 16 т.

После определения рабочих нагрузок, был произведен подбор элементов оттяжки, в которую входят: канат, талреп, клиновья втулка с клином, канатные зажимы и прочие крепежные изделия. Разработанная конструкция представлена на рис. 2

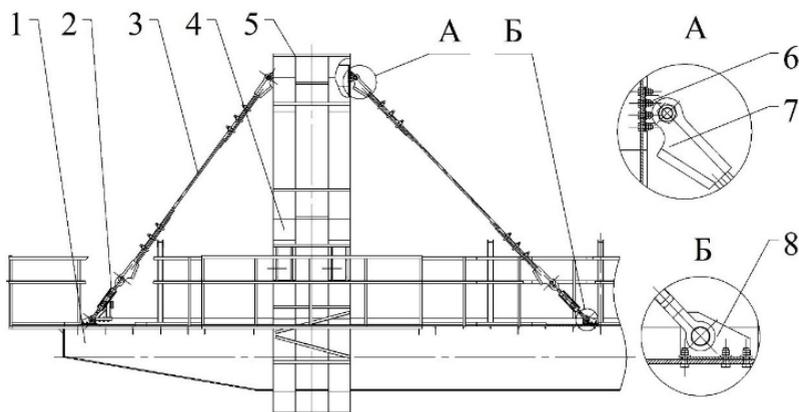


Рис. 2. Конструкция усиленного пролетного строения: 1– пролетная балка, 2– талреп, 3– канат, 4– ригель, 5– надригельная арка, 6,8– кронштейны, 7– втулка клиновья.

Так как исполнение козлового крана с усиленным пролетным строением позволяет поднимать груз с большей массой, то необходимо заменить механизмы крана. Стоит отметить, что некоторые элементы механизмов имели избыточный запас по прочности, из-за чего они не были заменены. В табл. 2 приведено сравнение характеристик элементов механизма подъема, применяемых в конструкции крана исходного и модернизированного исполнений.

Таблица 2

Сравнение исполнений крана

Элемент	Параметр	Серийное исполнение	Модернизированное исполнение
<i>Механизм подъема</i>			
Канат	Диаметр, мм	12	16,5
	Разрывное усилие, кН	76,2	152
Электродвигатель	Тип (серия)	АИР132М6	АИР180М8
	Мощность, кВт	7,5	15
	Число оборотов, об/мин	1000 (940)	750 (730)
Редуктор	Тип (серия)	Ц2-400-25	Ц2У-315Н-25
	Передаточное отношение	25	25
	Крутящий момент, Н·м	3350	8000
Тормоз	Тип (серия)	ТКП-200	ТКГ-200
	Диаметр шкива, мм	200	200
	Тормозной момент, Н·м	157	300
Муфта	Тип (серия)	МУВПТ-250	МУВПТ-500
	Передаваемый момент, Н·м	250	500

Неизменность металлической конструкции объясняется избыточным коэффициентом запаса, заложенным при проектировании изначальных конструкций. Продемонстрируем на примере расчета концевой балки крановой тележки и стойки опоры. За исходное взято сечение, представленное на рис. 3.

Сечение рассчитывалось с использованием метода предельных состояний [5]:

$$W_X = \frac{M}{\gamma_0 R_y},$$

где W_X – момент сопротивления сечения; $M = G \cdot b$ – наибольший изгибающий момент от нагрузки; b – половина базы тележки; γ_0 – коэффициент неполноты расчѐта; R_y – допустимое напряжение.

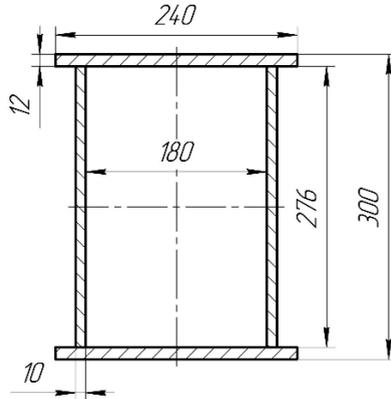


Рис.3. Сечение концевой балки грузовой тележки

Пересчитаем несущую способность конструкции с использованием метода допускаемых напряжений [7] в обратном виде:

$$\sigma = M/W_x,$$

где σ – фактическое напряжение.

Момент сопротивления:

$$W_x = \frac{1}{3} h^2 t_w + b_f h t_f,$$

где h – высота стенки; t_w – толщина стенки; b_f – длина пояса; t_f – толщина пояса.

Подставим параметры сечения в формулы и получим:

$$W_x = \frac{1}{3} 0,276^2 \cdot 0,0010 + 0,24 \cdot 0,276 \cdot 0,012 = 1,12 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \rightarrow$$

$$\rightarrow \sigma = \frac{16 \cdot 9,81 \cdot 10^3 \cdot 1,8 / 2}{1,12 \cdot 10^{-3}} = 117 \text{ МПа}.$$

Определим коэффициент запаса конструкции в опасном сечении с учетом коэффициента неполноты расчета:

$$n = \frac{[\sigma]}{\gamma_0 \sigma} = \frac{245}{0,55 \cdot 117} = 2,51,$$

где $[\sigma] = 245$ МПа – допустимое напряжение для стали Ст3Сп; $\gamma_0 = 0,55$ [7].

Как видно, металлическая конструкция выдерживает заданную нагрузку, но при этом понижается коэффициент запаса до 2,5. Для остальных элементов металлической конструкции крана коэффициент

запаса составит не менее 3. Таким образом, была доказана эффективность усиления пролетного строения оттяжками, а также выполнена конструкторская проработка крана с увеличенной с 8 до 16 тонн грузоподъемностью.

Список литературы

1. Витчук П.В., Витчук Н.А., Славкина Е.В., Баранов К.А., Шафорост А.Н. Анализ вариантов повышения несущей способности пролетного строения козлового крана // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2024. № 1. С. 440–450.
2. Ермоленко В. А., Витчук П. В. Особенности расчета показателей надежности грузоподъемных машин // Надежность. 2016. № 2 (57). С. 20–25.
3. Александров М.П. Грузоподъемные машины. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана - Высшая школа, 2000. 552с.
4. Расчеты крановых механизмов и их деталей: в 2 т., Т.1 / Под общ. ред. Р.А. Лалаянца. М.: ВНИИПТМАШ, 1993. 187 с.
5. Жегульский, В. П. Проектирование и расчет крановых металлических конструкций: учебное пособие; Мин-во науки и высш. образования РФ. Екатеринбург: Изд.-во Урал. ун-та, 2019. 184 с.
6. Соколов С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин: Учебное пособие. СПб.: Политехника, 2005. 423 с.
7. ОСТ 24.090.72-83 Нормы расчета стальных конструкций мостовых и козловых кранов.

УДК 691.32

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЖИДКИХ И СУХИХ ДОБАВОК

Габдуллин Т.Р.¹, Забродин Н.Ю.¹, Кафиев И.Р.²

1. ФГБОУ ВО Казанский государственный архитектурно-строительный университет г. Казань
2. ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа

В статье приводятся результаты экспериментального определения эффективности применения жидких и сухих добавок для повышения прочности бетона. Известны различные методы упрочнения бетона. Применяются способы армирования бетонной смеси, добавляются различные добавки для повышения одного или нескольких показателей качества бетона (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, вязкость и многие другие показатели). Исследования практических способов повышения прочности бетона путем добавления в его состав специальных добавок

на фоне возрастающей доли строительства цементобетонных автомобильных дорог в России является важным и актуальным.

Ключевые слова: бетон, добавки, суперпластификатор, испытание, прочность, изгиб, сжатие.

STUDY OF INCREASING THE STRENGTH OF CONCRETE USING LIQUID AND DRY ADDITIVES

Gabdullin T.R.¹, Zabrodin N. U.¹, Kafiev I.R.²

1. Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan

2. Bashkir State Agrarian University, Ufa

The article presents the results of an experimental determination of the effectiveness of using liquid and dry additives to increase the strength of concrete. Various methods for strengthening concrete are known. Methods for reinforcing the concrete mixture are used, various additives are added to increase one or more quality indicators of concrete (strength, frost resistance, water resistance, viscosity and many other indicators). Research into practical ways to increase the strength of concrete by adding special additives to its composition against the backdrop of an increasing share of the construction of cement concrete roads in Russia is important and relevant.

Keywords: concrete, additives, superplasticizer, testing, strength, bending, compression.

Автомобильные дороги играют очень важную экономическую роль и являются одним из показателей уровня развития любой страны. По ним перевозиться огромное количество различных товаров, ведутся путешествия, экскурсии осуществляются иные логистические задачи. Технологии строительства автомобильных дорог постоянно совершенствуются: применяются различные новейшие материалы, появляются более современные методы возведения слоев дорожного полотна и многие другие вещи. Решаются задачи увеличения сроков безремонтной эксплуатации дорог. Именно это и инициировало появлению автомобильных дорог с применением бетона [1, 2].

Бетонные дороги используются во всем мире уже не один десяток лет. Более 50 стран с разным климатом, географическими условиями и экономической ситуацией строят дороги из бетона. В России бетон как решение для дорожного строительства сегодня применяется не достаточно широко. В СССР бетонные дороги строились – в частности, существовали дороги военного значения и грузовые маршруты. Но в последние 20 лет доля строительства бетонных дорог имел тенденцию

снижения. Однако указ президента РФ об улучшении качества автомобильных дорог (назначенные им в прошлом году сроки реконструкции основных российских дорог: к 2018 году – дороги в крупных агломерациях и к 2025-му – все остальные) стимулировал обсуждение темы инновационного и, в частности, бетонного дорожного строительства в отрасли.

Соответственно спрос на бетон постоянно повышается. В связи, с чем становится актуальным вопросы повышения прочности бетонных смесей, сокращение времени затвердевания, адаптация затвердевания различным климатическим и погодным условиям. Ученые многих стран, в том числе российские, пытаются решить перечисленные задачи самыми различными способами. Так авторы работ [3...8] исследовали влияние на рабочие характеристики бетона различных добавок, в работах [9...11] предлагались инновационные способы улучшения качеств бетона, исследователи изучали влияние минеральных добавок, методы моделирования процесса образования бетонных смесей и проверки достоверности показателей прочности бетона [12...13].

Материалы и методы

Использование бетонной смеси в строительстве обеспечивает долговечную и надежную эксплуатацию сооружения, но для обеспечения нужных условий эксплуатации объекта необходимо получить бетонную смесь, обладающую нужными характеристиками [13].

Существует три основных метода по повышению прочности бетона, а именно:

грамотный подбор состава бетонной смеси (применение цемента и его заполнителей и соблюдение точных пропорций);

армирование;

использование различных видов добавок для повышения характеристик смеси.

Добавки вводятся в состав бетона и раствора, с целью улучшения его характеристик. Использование подобных добавок способствует получению смеси с требуемой подвижностью для повышения удобоукладываемости и качества выполняемых работ.

Их использование особенно актуально в следующих случаях:

- строительство монолитных зданий;
- создание мелкозернистого бетона или смеси с заполнителем из нестандартных фракций;
- применение при возведении конструкций здания материала с улучшенными свойствами (устойчивость к воде или морозу) и др.
- высокопрочные и самоуплотняющиеся бетоны;

- полы с повышенной несущей способностью;
- бетоны высоких классов, густоармированные и особо ответственные конструкции;
- дорожный, гидротехнический бетон, мелкоштучные изделия;
- ремонтные растворы;
- бетоны на пористых заполнителях;
- тротуарная плитка, шлакоблоки;
- тонкостенные конструкции (в т.ч. плиты ограждений «еврозаборов»).

Для проведения испытания были созданы образцы бетона из цементной смеси. В состав данной смеси входили следующие виды материалов (рис. 1):

- цемент 1 доля;
- песок 4 доли;
- вода 0,5 доли;

С целью обеспечения более точного количества материала в замесе используются специальные граммовые электронные весы и тара для засыпки материала (рис. 1 а, б, в).

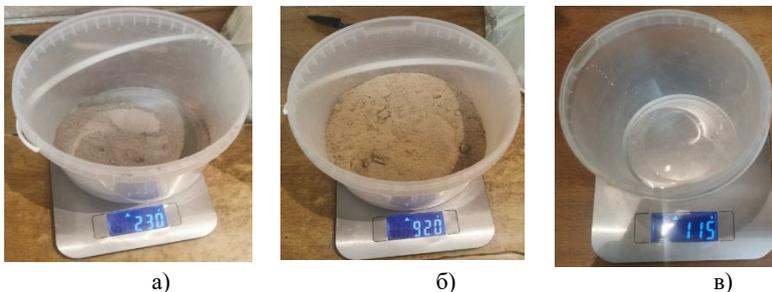


Рис. 1. Взвешивание порций на один замес: а - цемента; б - песка; в - воды

После того как все порции были взвешены начинается подготовка к приготовлению смеси. Процесс приготовления смеси проходит в несколько этапов. Так как в процессе исследования происходит сравнение обычной бетонной смеси без каких-либо добавок и бетонной смеси с добавкой, число замесов будет равно числу испытываемых добавок.

Первый замес проводится без добавления пластификатора. Для начала насыпается в специально подготовленную тару песок и бетон. Потом это все заливается водой и тщательно размешивается до придания смеси однородной консистенции. После размешивания даем смеси настояться, после чего выкладываем ее по формам (рис. 2).



Рис. 2. Формы для образцов и их заполнение бетонной смесью:
а - формы; б - заполнение форм

Перед тем как начать распределение смеси по формам стенки этих форм для предотвращения прилипания смеси к поверхности стенок необходимо смазать машинным маслом. Слой машинного масла должен быть очень тонким, чтобы не испортить состав смеси.

После того как весь приготовленный раствор был распределен по формам (рис. 2) оставляем их храниться в наиболее благоприятных для бетона условиях - это температура от +5 до +25 градусов Цельсия, влажность воздуха в пределах 60...80 % и отсутствие осадков. При таких условиях бетон набирает максимальную прочность и устойчивость к воздействию окружающей среды.

Далее следующим этапом проводится замешивание бетонной смеси с первой добавкой в виде суперпластификатора для бетона Sika ViscoCrete-602.

Суперпластификатор для бетона Sika ViscoCrete-602 представляют собой бесцветную жидкость.

Для получения однородной бетонной смеси время перемешивания должно составлять не менее 60 секунд при наладке выпуска производственной партии бетонной смеси. После наладки время перемешивания в стационарном смесителе может быть сокращено при условии, что дальнейшее перемешивание будет осуществляться в ходе доставки в автобетоносмесителе.

Дозировка - 0,1...0,7 % жидкой добавки от массы цемента. Дозировка добавки может варьироваться как в большую, так и в меньшую сторону в зависимости от предъявляемых требований к бетонной смеси, при этом оптимальная дозировка устанавливается на основании лабораторных испытаний. Проведенные расчеты показали, что в данном случае потребуется 2,5 грамма суперпластификатора на замес.

Второй добавкой для упрочнения бетонной смеси был выбран интенсификатор помола цемента Sika ViscoCrete-3020.

Интенсификатор помола цемента Sika ViscoCrete-3020 производится в виде коричневой жидкости.

Применение интенсификатора помола цемента Sika ViscoCrete-3020 дозируется с помощью точной системы дозирования в шаровую мельницу или непосредственно на транспортёр для подачи клинкера.

Рекомендуемая дозировка составляет 0,025...0,07 % от массы цемента. Дозировка добавки может варьироваться как в большую, так и в меньшую сторону в зависимости от предъявляемых требований. Расчетами было установлено, что на замес необходимо 2,5 грамма интенсификатора.

После добавления в раствор пластификатора из смеси начинает выделяться очень много воды, вследствие чего смесь становится более жидкой. После тщательного перемешивания в смесь добавляется щебень и снова тщательно перемешивается. Затем смесь, плотно утрамбовывая, выкладывается в формы.

Заключительной добавкой для эксперимента по упрочнению бетонной смеси был выбран высокоэффективный суперпластификатор Sika ViscoCrete-226 P.

Высокоэффективный суперпластификатор Sika ViscoCrete-226 P представляет собой порошок от белого до светло-жёлтого цвета.

Дозировка зависит от вида применения основного материала и от состава сухой смеси. Обычно дозировка продукта составляет 0,05...0,5 % от массы вяжущего. Превышение дозировки может привести к отделению воды и / или расслоению смеси, а также может замедлить схватывание.

Было установлено, что на замес необходимо 2,5 грамма суперпластификатора.

Как только все смеси были распределены по формам, их следует поместить в наиболее благоприятную среду для более качественного процесса затвердевания, где будут соблюдены следующие условия:

1. температура должна быть примерно равна +20 °С;
2. формы должны содержаться во влажной среде (влажность должны составлять 95 %).

Для обеспечения оптимального температурного режима формы были размещены в комнате с примерно постоянной температурой равной +20 °С.

Вопрос обеспечения необходимой влажности был решен следующим образом. В первый день эксперимента заготовки

находились в частично заполненных водой и накрытых сверху крышкой тарах.

На второй день эксперимента было принято решение погрузить полностью заготовки под воду на 48 часов для укрепления (рис. 3).



Рис. 3. Образцы, погруженные в воду

Ниже представлены готовые к испытаниям образцы:

- 1) 1.1...1.3 – образцы бетона без добавок;
- 2) 2.1...2.3 – образцы с добавлением суперпластификатора Sika ViscoCrete-602;
- 3) 3.1...3.3 – образцы с добавлением интенсификатора Sika ViscoCrete-3020;
- 4) 4.1...4.3 – образцы с добавлением суперпластификатора Sika ViscoCrete-226 P (рис. 4).



Рис. 4. Испытуемые образцы слева направо – без добавки, с добавлением Sika ViscoCrete-602, Sika ViscoCrete-3020 и Sika ViscoCrete-226

Проведение испытаний

Метод изгиба является одним из основных методов определения прочности бетона. Он основан на измерении деформации изгибаемого образца бетона при заданной нагрузке и сравнении ее с эталонным образцом, имеющим известную прочность.

Для проведения испытания используется специальное оборудование, такое как испытательная машина или гидравлический пресс (рис. 5, а). Образец бетона помещается между двумя опорами, и на него прикладывается нагрузка, которая постепенно увеличивается до достижения предела прочности.

При достижении предела прочности образец начинает изгибаться, и его деформация измеряется с помощью специальных датчиков.

Полученные данные сравниваются с эталонными значениями, полученными для известного образца бетона с известной прочностью. Разница между этими значениями показывает, насколько прочен испытываемый образец бетона.

Метод определения прочности бетона на сжатие заключается в сжатии образца бетона под действием силы и измерении величины деформации, возникающей при сжатии. Прочность бетона определяется как отношение приложенной силы к площади поперечного сечения образца.

Машины для испытания на сжатие бетона работают по принципу приложения нагрузки к образцу бетона (рис. 5, б)

Для проведения испытания на прочность бетона методом сжатия испытуемый образец помещается в специальную камеру, где его сжимают до определенной величины давления. После этого измеряется величина деформации образца, которая пропорциональна приложенной силе и площади поперечного сечения.



а)



б)

Рис. 5. Машины для испытания прочности бетона:
а - на изгиб; б - на сжатие

Какой эффект ожидается при применении Sika ViscoCrete-602:

- 1) интенсивный набор прочности бетона при нормальном времени сохранения подвижности бетонной смеси (70 мин.);
- 2) высокое водоредуцирование (до 40 %);
- 3) повышение ранней и конечной прочности, водонепроницаемости и долговечности бетона или снижение расхода цемента при неизменных характеристиках бетона, за счет очень высокого водоредуцирования;
- 4) возможность изготовления высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей;
- 5) получение бетонов с высокой стойкостью по отношению к химическим и механическим воздействиям;
- 6) возможность производства бетонов с низкими деформациями усадки и ползучести.

Ожидаемый эффект при применении Sika ViscoCrete-3020:

- 1) повышение ранней и конечной прочности цемента;
- 2) улучшение работы сепаратора за счёт снижения количества агломератов;
- 3) снижение потребления энергии на тонну цемента за счёт увеличения производительности мельниц;
- 4) улучшение текучести цементного порошка, облегчённое опорожнение цементных силосов и транспортных ёмкостей;
- 5) оптимизация затрат благодаря возможности применения материалов, заменяющих клинкер.

Ожидаемый эффект при применении Sika ViscoCrete-226P:

- 1) значительное повышению плотности и прочности;
- 2) очень высокое водоредуцирование;
- 3) высокая текучесть смеси (снижение затрат на укладку и вибрацию);
- 4) высокая ранняя и конечная прочность;
- 5) снижение усадки и ползучести Низкое время смешивания за счёт быстрой адсорбции полимера;
- 6) высокая стабильность и длительная сохраняемость подвижности смеси;
- 7) не оказывает сильного влияния на гидратацию, что обеспечивает малый расход активатора / ускорителя твердения;
- 8) высокая эффективность в широком диапазоне значений pH;
- 9) можно использовать вместе с другими добавками, например, с лимонной кислотой;
- 10) продукт не содержит формальдегидов и аммиака.

Результаты и обсуждение

Испытание на изгиб проводится до разрушения образца на две половины.

Таблица 1

Результаты проведенных испытаний образцов бетона на изгиб

Образцы	Прочность образцов на изгиб, МПа			
	без добавок	с добавлением Sika ViscoCrete – 602	с добавлением Sika ViscoCrete - 3020	с добавлением Sika ViscoCrete - 226 P
1	49,6	58,4	63,8	51,2
2	54,8	52,5	58,0	55,6
3	53,2	60,4	60,8	57,0

Ход проведения испытаний образцов бетона на изгиб (рисунки б а, б, в, г)

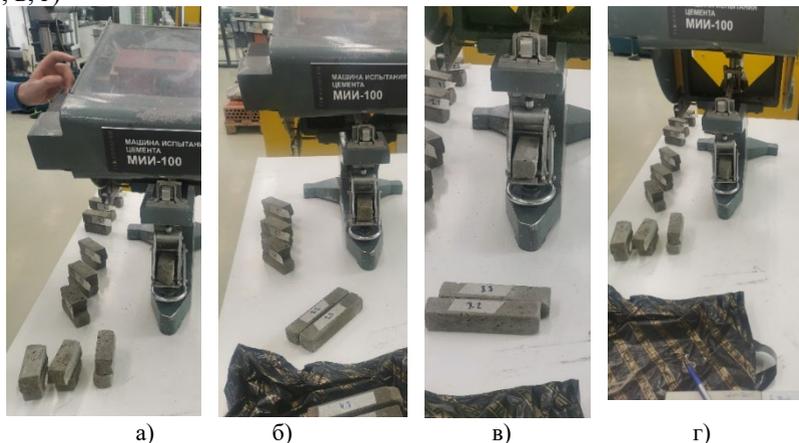


Рис. 6. Проведение испытаний на изгиб: а – образцы без добавок; б, в, г – образцы с добавками

В результате испытаний методом определения прочности на изгиб наилучшие результаты оказались у образцов, при создании которых был добавлен интенсификатор помола цемента Sika ViscoCrete-3020. Применение Sika ViscoCrete-3020 позволило увеличить прочность бетона на 15,8 %. Суперпластификатора для бетона Sika ViscoCrete-602 увеличил прочность бетона на 9 %. Суперпластификатор Sika ViscoCrete-226 P увеличил прочность бетона на 5 %.

Результаты проведенных испытаний образцов бетона на сжатие

Образцы	Прочность образцов на сжатие, МПа			
	без добавок	с добавлением Sika ViscoCrete-602	с добавлением Sika ViscoCrete-3020	с добавлением Sika ViscoCrete-226 P
1	37,53	42,55	45,75	41,25
2	38,75	47,56	51,25	40,65
3	42,94	46,66	47,85	46,55

Испытания на сжатие проводятся с постепенным нарастанием нагрузки до разрушения образца.

Сущность метода заключается в определении величины разрушающей силы при сжатии образца между двумя рабочими поверхностями пресса.

Ход проведения испытаний образцов бетона на сжатие (рис. 7 а, б)



а)



б)

Рис. 6. Проведение испытаний на сжатие:
а – начало испытания; б – конец испытания

В результате испытаний методом определения прочности на сжатие наилучшие результаты оказались у образцов, при создании которых был добавлен интенсификатор помола цемента Sika ViscoCrete-3020. Применение Sika ViscoCrete-3020 позволило увеличить прочность бетона на 18 %. Суперпластификатор для бетона Sika ViscoCrete-602 увеличил прочность бетона на 8 %. Суперпластификатор Sika ViscoCrete-226 P увеличил прочность бетона на 4,5 %.

Заключение

В статье были приведены ход подготовки и проведения экспериментальных исследований с целью с целью подтверждения эффективности применения сухих и жидких добавок для повышения прочности бетона.

В ходе испытаний были получены следующие результаты:

1) повышения показателей прочности бетонных смесей по сравнению с бетоном, изготовленным без добавки, составили:

с применением специальной добавки Sika ViscoCrete-3020 более 15,8 % на изгиб и более 18 % на сжатие;

с применением специальной добавки Sika ViscoCrete-602 более 9 % на изгиб и более 8 % на сжатие;

с применением специальной добавки Sika ViscoCrete-226 P более 5 % на изгиб и более 4,5 % на сжатие.

2) По результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод, что наиболее эффективной среди выбранных добавок является Sika ViscoCrete-3020.

3) При применении данной добавки можно достичь экономии цементного порошка до 20 %.

4) Стоимость бетона при этом увеличивается незначительно, которая легко окупается преимуществами, повышающими рабочие качество бетона, так как добавка составляет всего от 0,3 до 0,5 % от общей массы смеси.

Список литературы

1. Габдуллин Т.Р. Новые технологии строительства дорог в России. В сборнике: Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова. 2013. С. 109-113.
2. Миролубов Д.И., Габдуллин Т.Р. Использование новейших разработок в дорожном строительстве. Техника и технология транспорта. 2019. № 4 (15). С. 1.
3. Олзвойбаатар Л., Дорлигсүрэн Ч. Исследование влияния добавок на прочность бетона с заполнителями бетонных отходов. В сборнике: Природные условия, история и культура Западной Монголии и сопредельных регионов. Материалы XII международной научной конференции. 2015. С. 96-99.
4. Король Е.А., Харькин Ю.А., Быков Е.Н. Экспериментальные исследования влияния климатических воздействий на монолитную связь бетонных слоев различной прочности в многослойных конструкциях // Вестник МГСУ. 2010. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-vliyaniya-klimaticheskikh-vozddeystviy-na-monolitnuyu-svyaz-betonnyh-sloev-razlichnoy-prochnosti-v-1> (дата обращения: 30.11.2023).
5. Сердокова А. А., Рахимбаев И. Ш. О механизме действия ускорителей схватывания и твердения цементной матрицы бетона // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2013. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-mehanizme>

deystviya-uskoriteley-shvatyvaniya-i-tverdeniya-tsementnoy-matritsy-betona (дата обращения: 30.11.2023).

6. Котов В.А. Исследование влияния суперпластификатора С-3 и углеродного наноматериала «Таунит» вводимых в портландцемент на прочность незаполненного бетона. Наука и устойчивое развитие общества. Наследие В.И. Вернадского. 2012. № 9. С. 55-56.

УДК 625.08

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА
УПЛОТНЕНИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ
ИЗ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ**

Габдуллин Т.Р.¹, Ченсов Р.Р.¹, Кафиев И.Р.²

1. ФГБОУ ВО Казанский государственный архитектурно-строительный университет г. Казань

2. ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа

В статье приводятся результаты экспериментального определения эффективности применения асфальтовых дорожных катков НАММ HD 90 и Vomag BW-151. Данные катки имеют примерно равные технические характеристики и достаточно хорошо показали себя в процессе эксплуатации. Они являются наиболее распространенными в Российской Федерации, в том числе основные дорожно-строительные организации Республики Татарстан в своем автопарке имеют данные модели и их модификации.

Задачами исследования были - определение влияния метода уплотнения на характеристики асфальтобетона; определение оптимального количества проходов катков в зависимости от типа уплотняемого материала дорожного покрытия и анализ результатов об уплотняющей способности и эффективности использования выбранных выше катков.

Ключевые слова: каток, дорожное покрытие, уплотнение, испытание, количество проходов.

**STUDY OF OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF
COMPACTING ROAD SURFACES FROM ASPHALT CONCRETE
MIXTURES**

Gabdullin T.R.¹, Chensov R.R.¹, Kafiev I.R.²

1. Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan

2. Bashkir State Agrarian University, Ufa

The article presents the results of an experimental determination of the effectiveness of using HAMM HD 90 and Bomag BW-151 asphalt road rollers. These rollers have approximately equal technical characteristics and showed themselves quite well during operation. They are the most common in the Russian Federation, including the main road construction organizations of the Republic of Tatarstan that have these models and their modifications in their fleet.

The objectives of the study were to determine the influence of the compaction method on the characteristics of asphalt concrete; determining the optimal number of roller passes depending on the type of road surface material being compacted and analyzing the results on the compaction ability and efficiency of using the rollers selected above.

Keywords: roller, road surface, compaction, testing, number of passes.

В дорожном строительстве, наряду с подготовкой основания и подбором состава асфальтобетонной смеси для покрытия, очень важную роль играет процесс ее уплотнения [1, 2]. Если изменения и модернизация первых этапов происходят за счет внедрения новых технологий и разработок, таких как использование 3D-моделирования и планировки, лазерного нивелирования, GPS-ГЛОНАСС навигации и т.д., то завершающий процесс дорожной одежды – процесс уплотнения дорожного покрытия остается недостаточно изученным, требует оптимизации и совершенствования. В настоящее время в этом направлении наблюдается лишь некоторая модернизация и расширение модельного ряда парка асфальтовых катков.

Уплотнение является одним из ключевых факторов создания высококачественного дорожного покрытия [3]. Технологическая точность исполнения данной операции влияет на качество дороги, ее безопасность и увеличение сроков безремонтной эксплуатации. Надо отметить, что качество уплотнения земляного полотна закладывает ресурс твердого дорожного покрытия. Определяются сроки запланированных ремонтных работ, которые требуют привлечения большого количества персонала, дорожно-строительных и ремонтных машин, и как следствие, повышается конечная стоимость строительства, обслуживания и содержания автомобильных дорог.

Несмотря на наличие огромного предложения уплотняющей техники от производителей, качество готовой продукции – уплотнение твердых дорожных покрытий, не всегда получается надлежащего качества даже при полном соблюдении всех норм и технологических рекомендаций.

Одной из причин подобных явлений, может быть, недоуплотненность укладываемого материала ввиду различий в нормативах и методиках испытаний в разных странах, исходя из которых, применяемая техника не всегда может гарантировать максимальную результативность в ходе ее эксплуатации в отдельной конкретно взятой стране.

Задачи совершенствования или оптимизации процесса уплотнения, как заключительного этапа строительства дорожного покрытия, находится в зоне особого внимания многих ученых-исследователей и инженеров-практиков в области дорожного строительства. В трудах [4...7] авторы изучали выбор оптимальных режимов уплотняющих машин в зависимости от типа, состояния и толщины уплотняемого слоя дорожного покрытия. Выявляли зависимость качества уплотнения от скорости катка, давления катка на асфальтобетонную смесь и коэффициента уплотнения. Другие исследователи в работах [8] рассматривали влияние на качество уплотнения рабочих параметров уплотняемой смеси. Авторы работ исследовали взаимосвязь состава асфальтобетонных смесей с их удобоукладываемостью.

Для проведения исследования были выбраны 2 дорожных катка: каток тандемный HAMM HD 90 (рис. 1, а) и Bomag BW151 (рис. 1, б).

Сущность эксперимента заключалась в сравнении показателей уплотняющих характеристик двух видов катков и в определении влияния каждого метода уплотнения на основные характеристики асфальтобетона.

Эксперимент проводился выбранными катками на участке в территории Пригородного филиала АО Татавтодор шириной 4 м и длиной 70 м, уплотнялся уложенный материал четырьмя режимами укатки в отдельности и фиксировались основные показания.



а)



б)

Рис. 1. Дорожные катки:

а - каток тандемный HAMM HD 90; б - комбинированный каток Bomag BW-151

Так как в среднем, при уплотнении материала, количество проходов среднего катка, согласно нормам, определяется в интервале 4...8 проходов и в экспериментальном случае количество проходов составило 8. Степень уплотнения измерялась после 2, 4, 6 и 8 проходов неразрушающим методом с помощью электронного инструмента - плотномер асфальта (Troxler 2701-B) (рис. 2).



Рис. 2. Плотномер асфальта Troxler 2701-B

2) Для проведения эксперимента были выбраны 2 вида асфальтобетона: ЩМА-20 и ЩМА-15 – асфальтобетонная смесь с номинальным максимальным размером применяемого минерального заполнителя, равным 19,0 мм.

Для проектирования горячей плотной асфальтобетонной смеси по методологии «Superpave» применяются следующие исходные материалы:

- крупнозернистый заполнитель;
- мелкозернистый заполнитель;
- минеральный порошок (в случае необходимости);
- битумное вяжущее.

Крупнозернистый заполнитель по методологии «Superpave» - это каменный материал с крупностью зерен более 4,75 мм. В соответствии с отечественной терминологией данный заполнитель является щебнем различных фракций.

Мелкозернистый заполнитель по методологии «Superpave» - это каменный материал с крупностью зерен менее 4,75 мм. В соответствии с отечественной терминологией данный заполнитель является песком, в том числе и из отсева дробления.

Таблица 1

**Результаты замеров плотности для щебенистого
асфальтобетона при проходки катка HAMM HD 90 (mun Б2)**

Технология укладки	темпер. °С	толщ. мм	Результат проб толщины с прибора Troxler 2701, кг/м ³				Сред. знач.
1 цикл статика к укладчику, вибрация на обратном ходу	t = 149	43	220 9	222 6	223 5	220 5	2219
2 цикла статика к укладчику, вибрация на обратном ходу	t = 145	40	230 9	232 4	234 2	230 3	2320
3 цикла статика, вибрация на обратном ходу	t = 140	38	231 4	229 4	228 0	231 2	2300
3 цикла вибрация к укладчику, 2 статических прохода	t = 136	33	231 8	233 8	230 2	231 4	2318

Таблица 2

**Результаты замеров плотности для щебенистого
асфальтобетона при проходки катка Bomag BW-151 (mun Б2)**

Технология укладки	темпер. °С	толщ. мм	Результат проб толщины с прибора Troxler 2701, кг/м ³				Сред. знач.
1 цикл статика к укладчику, вибрация на обратном ходу	t = 130	40	2295	223 2	230 2	228 3	2278
2 цикла статика к укладчику, вибрация на обратном ходу	t = 138	36	2359	233 6	235 5	235 3	2351
3 цикла статика, вибрация на обратном ходу	t = 135	35	2349	234 8	233 3	233 0	2340
3 цикла вибрация к укладчику, 2 статика	t = 140	38	2329	232 1	229 9	233 4	2321

Таблица 3

**Результаты замеров плотности для гравийного
асфальтобетона при проходки катка НАММ HD 90 (sp 19)**

Технология укладки	темпер. °С	толщ. мм	Результат проб толщины с прибора Troxler 2701, кг/м ³				Сред. знач.
1 цикл статика к укладчику, вибрация на обратном ходу + статика	t = 126	4.5	2157	2187	2204	2154	2176
2 цикл статика к укладчику, вибрация на обратном ходу + статика	t = 21	4.8	2280	2256	2239	2235	2253
3 цикл статика, вибрация на обратном ходу + статика	t = 123	4.4	2332	2311	2320	2323	2322
4 цикл статика 3 статических прохода	t = 116	4.0	2268	2204	2208	2171	2213

Таблица 4

**Результаты замеров плотности для гравийного
асфальтобетона при проходки катка Bomag BW-151(sp 19)**

Технология укладки	темпер. °С	толщ. мм	Результат проб толщины с прибора Troxler 2701, кг/м ³				Сред. знач.
1 цикл статика к укладчику, вибрация на обратном ходу	t = 140	4.6	228 8	228 5	2326	230 3	2301
2 цикла статика к укладчику, вибрация на обратном ходу	t = 136	4.2	221 4	221 5	2202	222 7	2215
3 цикла статика, вибрация на обратном ходу + статика	t = 138	3.8	230 2	232 1	2318	228 0	2305
4 цикла статика 3 статических прохода	t = 135	3.6	229 0	228 5	2295	225 1	2280

Сравнивая табличные значения, можно сделать вывод, что оба катка уплотняют практически в одинаковом диапазоне плотности.

После проведения измерений на плотность, были выполнены работы по изъятию проб для дальнейшего проведения лабораторных испытаний на прочность сжатия (рис. 3).



Рис. 3. Процесс изъятия образцов (керны) с помощью буровой установки

Обсуждение результатов

Уплотнение катком НАММ HD 90 щебеночного асфальтобетона дает весьма хорошие результаты, превышающие минимальные допустимые значения плотности по требованиям СНиП и ГОСТ, чем катком Bomag BW-151.

Плотность уплотнения смеси при статическом методе уплотнения также находится в пределах допустимых значений, однако эти показатели ниже, чем показания песчаного асфальтобетона.

Щебенистый асфальтобетон, ввиду крупных размеров наполнителя и большего его процентного содержания в смеси, имел пониженные значения от минимально требуемых, однако этот показатель возможно улучшить путем увеличения числа проходов катка.

При уплотнении щебеночного асфальтобетона катком НАММ HD 90 поверхность материала не деформируется. Данный вид уплотнения эффективно применять для песчаных асфальтобетонных смесей. В ряде случаев, уплотнения таким катком в статическом режиме может быть достаточно.

Уплотнение песчаного асфальтобетона катком Bomag BW-151 показало большую скорость набора плотности материала, чем при использовании другого катка в статическом режиме, однако, ввиду содержания в смеси наполнителей преимущественно малых размеров, наблюдался некоторый сдвиг, сдавливание материала, что свидетельствует о том, что, используя только вибрационный метод

укатки невозможно получить идеально ровное и соответствующее нормам по плотности дорожное покрытие.

Уплотнение катком Bomag BW-151 значительно эффективнее статического благодаря нагружению «статика + динамическое сжатие», однако при уплотнении песчаных смесей возможны появление неровностей и сдвиг материала. Поэтому использование только вибрационных катков при уплотнении недопустимо. Также негативные последствия вибрационного уплотнения отслеживались и на щебенистом асфальтобетоне. Это последствие выразилось в увеличении динамической составляющей, а именно контактного давления ввиду увеличения амплитуды колебаний, катка с увеличением плотности материала. Увеличение контактного давления в процессе уплотнения, согласно инструментальным замерам, может достигать до 2...2,5 раз, что чревато разуплотнением уложенной смеси. Стоит отметить, что рост этих давлений почти всегда опережают рост прочности асфальтобетона.

Осцилляционное воздействие показал промежуточный результат между статическим и вибрационным уплотнением, то есть данная смесь была уплотнена выше минимальной нормы, и серьезных дефектов на поверхности покрытия не было выявлено, при этом скорость уплотнения была выше двух предыдущих методов. Это обусловлено тем, что выбранный средний каток имеет только один валец с осцилляционным вибровозбудителем, то есть второй валец работал в статическом режиме и при проходе катка сглаживал возникающие дефекты на поверхности материала.

Результаты уплотнения гравийного и щебенистого асфальтобетона осцилляционным методом также находились на промежуточном уровне по сравнению со статическим и вибрационным методами.

Значения коэффициента уплотнения были выше минимума, однако по скорости уплотнения осцилляционный вид немного уступал вибрационному – это объясняется тем, что в последнем случае каток воздействовал на поверхность сразу двумя вибрационными вальцами, а при осцилляционном методе – всего одним, ввиду конструктивных особенностей выбранной машины. Однако, несмотря на незначительное отставание в скорости, значения уплотнения на щебенистом асфальтобетоне были выше показателей вибрационного типа, к тому же, ввиду особенностей воздействия осцилляционного вальца создаваемое нагружение материала по принципу «сжатие + реверсивный сдвиг», позволило избежать негативных последствий в процессе уплотнения смесей с крупным наполнителем.

Заключение

В статье были приведены ход подготовки и проведения экспериментального определения эффективности применения асфальтовых дорожных катков HAMM HD 90 и Bomag BW-151.

В ходе испытаний были получены следующие результаты:

1) Наиболее эффективным способом уплотнения выбранных марок ЩМА явилось вибрационное уплотнение. Это является результатом двойного нагружения «статика + вибрация на обратном ходу». Оба испытуемых катка имеют возможность вибрационного уплотнения. Однако каток HAMM HD 90 показал результаты уплотнения выше, чем каток Bomag BW-151. Это объясняется лучшей конструктивной способностью катка HAMM HD 90 передавать нагрузки на валец.

2) Достаточным числом проходов катка для обеспечения нормативных значений коэффициента уплотнения в режиме вибрационного уплотнения во всех случаях стало шесть проходов. Было замечено, что дальнейшее увеличение числа проходов приводит к разрушению щебня в составе ЩМА по причине чрезмерного уплотнения. Каток Bomag BW-151 из-за меньшей массы конструкции достаточную степень уплотнения смог достичь только за восемь проходов, что делает использование данного катка менее экономичным.

3) Результаты замеров коэффициента уплотнения ЩМА ассимиляционным методом оказались промежуточными в сравнении с результатами уплотнения статическим и вибрационными методами.

4) Практическое внедрение в дорожно-строительную отрасль предложенных подходов к процессу уплотнения повысит качество уплотнения верхних слоев дорожного покрытия из ЩМА и оптимизирует количество проходов уплотняющей техники в зависимости от применяемых видов уплотнения и повышает эффективность работы катков.

5) Сокращение (оптимизация) числа проходов до шести раз сокращает время технологического процесса уплотнения и повышает эффективность работы катков на 25 %, а эксплуатационные расходы снижаются также на 25 %.

Список литературы

1. Габдуллин Т.Р. Новые технологии строительства дорог в России. В сборнике: Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова. 2013. С. 109-113.
2. Миролубов Д.И., Габдуллин Т.Р. Использование новейших разработок в дорожном строительстве. Техника и технология транспорта. 2019. № 4 (15). С. 1.

3. Габдуллин Т.Р., Фазлеев И.А. Оптимизация процесса уплотнения щебеночно-мастичного асфальтобетона в покрытиях дорожных одежд. // Известия КГАСУ, 2019, № 2(48). С. 280-289.
4. Костельов М. П., Перевалов В. П. Новая усовершенствованная технология устойчиво обеспечивает высокое качество уплотнения асфальтобетона. Каталог-справочник «Дорожная техника и технологии», 2005. С. 120...132.
5. Костельов М. П., Пахаренко Д. В. Вероятностно-статистические помощники в оценке и повышении качества автомобильных дорог. Каталог-справочник «Дорожная техника и технологии (ДТТ)», 2008. С. 82...88.
6. Костельов М. П., Пахаренко Д. В. Чем и как уплотнять асфальтобетон в покрытиях при смене его типа, состояния и толщины слоя. Каталог-справочник «Дорожная техника и технологии (ДТТ)», 2007, С. 70...85.
7. Локшин Е. С. Исследование и выбор рациональных режимов работы самоходных катков при строительстве покрытий из горячих асфальтобетонных смесей: автореф. дис. канд. техн. наук / Е. С. Локшин; МАДИ. М. : 1982. 19 с.
8. Зубков А. Ф. Анализ методов разработки технологических процессов уплотнения дорожных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей / А. Ф. Зубков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2006. – Т. 12, № 4-2. – С. 1158-1161. – EDN KARYAD.

УДК 621.22

**ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ МАШИН НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ
ТРАНСПОРТЕ**

Гринчар Н.Г.¹, Хусаинов А.А.¹

*1. ФГАОУ ВО Российский университет транспорта (МИИТ), г.
Москва*

На сегодняшний день объемный гидравлический привод является основным типом привода в путевых машинах, благодаря известным его преимуществам. Однако надежность функционирования гидросистем пока не полностью отвечает требованиям эксплуатации машин, режимы эксплуатации которых в основном относятся к средним, тяжелым, и сверхтяжелым. Преодоление этого противоречия возможно в значительной мере за счет совершенствования методов и средств эксплуатации.

Ключевые слова: гидропривод, надежность, путевые машины, эксплуатация.

**THE MAIN PROBLEMS OF OPERATION OF HYDROFECTED
MACHINES IN RAILWAY TRANSPORT**

Grinchar N.G.¹, Khusainov A.A.¹

1. Federal State Budgetary Educational Institution of the Russian University of Transport (MIIT), Moscow

Today, the volumetric hydraulic drive is the main type of drive in track machines, due to its well-known advantages. However, the reliability of hydraulic systems does not yet fully meet the requirements of the operation of machines, the operating modes of which are mainly medium, heavy, and superheavy. Overcoming this contradiction is possible to a large extent due to the improvement of methods and means of operation.

Keywords: hydraulic drive, reliability, track machines, operation.

Главной особенностью эксплуатации гидрофицированных машин на железнодорожном транспорте является то обстоятельство, что практически все работы по ремонту и содержанию земляного полотна, поездов, рельсошпальной решетки и т.д. выполняются в «окно». Иначе говоря, в сжатые сроки необходимо выполнить определенный, весьма значительный объем работ. Невыполнение или невыполнение работ ведет к необходимости ограничения скорости движения поездов на данном участке, и, как следствие, к большим экономическим потерям. Так, например, срыв трехчасового «окна» на участке средней грузонапряженности может нанести экономический ущерб в сотни тысяч рублей. Поэтому необходимо добиваться полной исправности всех функциональных подсистем машины перед выходом в «окно». С другой стороны, так как использование машин по времени сравнительно небольшое (например, по сравнению с машинами, работающими в строительстве), то имеются значительные резервы времени, позволяющие проводить наладочные, ремонтные, диагностические и другие работы перед выходом машин на перегон.

Таким образом, технология работ на железнодорожном транспорте определяет высокие требования к надежности путевых, строительных и подъемно-транспортных машин в целом и их приводов в частности. Надежность гидроприводов зависит, в основном, от режима эксплуатации с одной стороны и от того, насколько качественно и правильно организованы техническое обслуживание и ремонт.

Для гидроприводов строительных, путевых и подъемно-транспортных машин режимы эксплуатации обычно принято разделять на легкий, средний, тяжелый и весьма тяжелый.

Как показали исследования ряда авторов, режимы эксплуатации гидрофицированных машин, применяемых для работ по строительству, ремонту и содержанию железнодорожного пути, в основном относятся к средним и тяжелым.

В эксплуатационных условиях задачи обеспечения надежности мобильных гидрофицированных машин на железнодорожном транспорте решаются в основном посредством их ремонта и технического обслуживания.

Система планово-предупредительных ремонтов, разработанная по аналогии с другими отраслями, не дает полностью удовлетворительного результата. Фактически техника ремонтируется по потребности, после отказов. Количество внезапных отказов по гидроприводу составляет около половины. Проведение ремонтных работ, таким образом, является вынужденным.

Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта наряду с работами по повышению уровня конструктивной надежности гидроприводов занимает важное место в исследованиях по обеспечению надежности машин в эксплуатации (рис. 1).

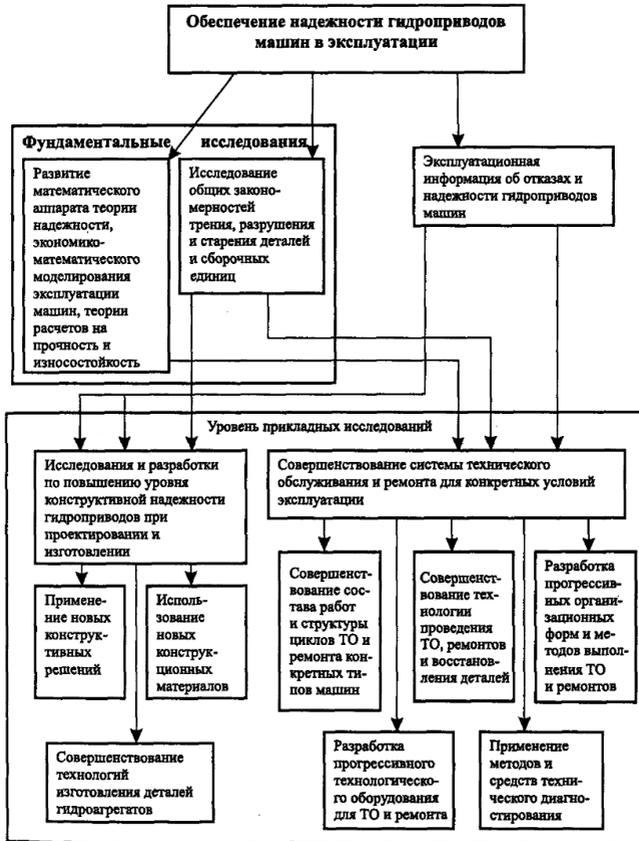


Рис. 1 Структура мероприятий по обеспечению надежности гидропривода.

Элементы гидропривода, отказы которых носят постепенный (прогнозируемый) характер, имеют довольно большие резервы по увеличению наработки, а распределение наработки на отказ имеет значительное поле рассеивания и возрастающую с увеличением наработки интенсивность потока отказов (рис.2).

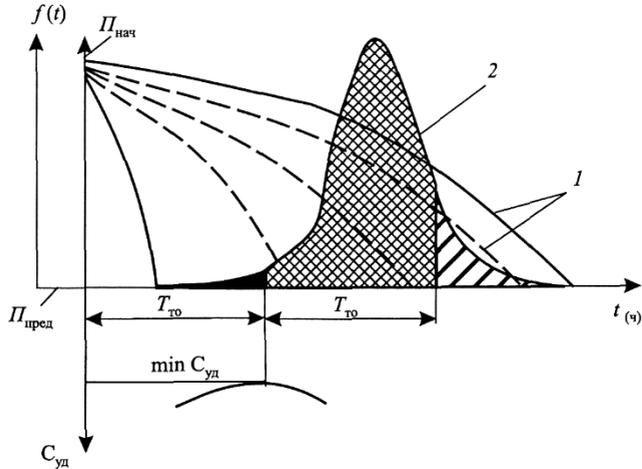


Рис 2. Резервы системы ТО и ППР: 1—изменение параметра (объемного КПД) состояния привода или его аппаратов; 2 — $f(t)$ — плотность вероятности распределения наработки машины до предельного состояния; 3—приведенные удельные затраты ($C_{уд}$) на эксплуатацию машины, $\min C_{уд}$ — уровень минимальных удельных затрат



— часть парка машин, у которых состояние отказа должно наступить до первого планового ТО или ремонта;



— часть парка машин, у которых состояние отказа должно наступить в период после 2-го планового ТО или ремонта — резерв по улучшению использования ресурса при наличии системы диагностики;



— часть парка машин, у которых состояние отказа должно наступить в период между 1-м и 2-м плановым ТО — при жесткой системе ТО эти машины имеют потребность в проведении профилактических замен при первом ТО — резерв при переходе к гибкой системе планирования ТО при наличии системы диагностики

В нормативных документах системы планово-предупредительных ремонтов работы по контролю технического состояния включены в соответствующие виды технического обслуживания (ТО).

Контроль технического состояния предшествует выполнению ТО, а его результаты служат для определения перечня и объема предстоящих операций.

Контроль технического состояния машины в целом и поиск неисправностей проводятся обычно в виде совокупности операций, выполняемых в определенной последовательности — от обобщенной проверки работоспособности на уровне основных агрегатов и систем (для определения вида технического состояния) к углубленной оценке состояния отдельных сборочных единиц и деталей.

Анализ имеющегося опыта показывает, что при сложившейся организации работ по обеспечению надежности между процессами ТО и контроля состояния гидроприводов существует противоречие, обусловленное недостаточной их организационной и технологической взаимосвязью. С одной стороны, выделение контрольных и проверочных операций в специализированный вид работ (диагностирование), создание соответствующих организационных структур для их выполнения и сосредоточение в них диагностического оборудования и специализированных средств приводят к дублированию части проверочных работ, выполняемых как при диагностировании, так и при ТО, а также к увеличению потребного количества диагностических средств и обслуживающего персонала. С другой стороны, выполнение диагностирования силами служб ТО и ремонта увеличивает нагрузку на их звенья и требует высококвалифицированного персонала, умеющего работать с контрольно-измерительной аппаратурой, обрабатывать полученные результаты и проводить расчеты остаточного ресурса.

Совмещение работ по техническому обслуживанию, ремонту и диагностированию в пунктах ТО и ремонта в передвижных мастерских также требует большого количества диагностических средств, приводит к их распылению, недостаточно эффективному использованию, вызывает дополнительные затраты труда, времени и средств и снижает эффективность диагностирования.

Ещё одним важным фактором, сдерживающим широкое применение диагностики гидроприводов, являются отсутствие серийно выпускаемых современных средств диагностики, как стационарных, так и переносных, мобильных, а также нехватка кадров соответствующей подготовки.

Таким образом, для широкого внедрения в практику эксплуатации технического диагностирования необходим системный подход к проблеме, включающий как решение организационных вопросов, так и соответствующие конструктивные разработки, обеспечивающий их

технологическую взаимосвязь и исключая дублирование контрольно-диагностических операций.

Такой подход позволит перейти от жесткой системы технического обслуживания и ремонтов к гибкой, когда время проведения каждого вида работ определяется по результатам диагностики и контроля параметров гидропривода.

Список литературы

1. Гринчар Н.Г., Гринчар Н.Н. Основы надежности машин. М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. – 504 с.
2. Гринчар Н.Г. Надежность гидроприводов строительных, путевых и подъемно-транспортных машин. М.: ООО «Издательский дом «Автограф», 2016. - 368 с.
3. Волков Д.П., Николаев С.Н. Надежность строительных машин и оборудования. М.: Высшая школа, 1979. - 400 с.

УДК 621.22

К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ НАДЕЖНОСТЬЮ МАШИН В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Гринчар Н.Г.¹, Хусаинов А.А.¹

1. ФГАОУ ВО Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Рассматриваются основные факторы, влияющие на надежность машин в эксплуатации. Ими являются своевременное техническое обслуживание, анализ отказов и условий работы данных агрегатов. Всего можно выделить два вида отказов: внезапные и постепенные.

Ключевые слова. запасы, эксплуатация, снабжение, спрос, неисправность, запасные элементы, отказ.

ON THE ISSUE OF MANAGING THE RELIABILITY OF MACHINES IN OPERATION

Grinchar N.G.¹, Khusainov A.A.¹

1. Federal State Budgetary Educational Institution of the Russian University of Transport (MIIT), Moscow

The main factors affecting the reliability of machines in operation are considered. They are timely maintenance, failure analysis and operating

Key words. inventories, operation, supply, demand, fault tolerance, spare elements, failure.

Надежность машин в эксплуатации определяется выполнением ряда условий, таких как степень квалификации обслуживающего

персонала, регламента технического обслуживания (далее ТО), наличия резерва элементов (запасных частей), применение контрольно-измерительной и также испытательной техники, а кроме того, наличием качественного руководства по эксплуатации машины.

Результативность рабочих событий находится в непосредственной зависимости от квалификации обслуживающего персонала. Но воздействие данного фактора может быть неоднозначным. Так, например, при выполнении в процессе обслуживания простейших операций влияние высокой квалификации работника сказывается мало, и наоборот, квалификация обслуживающего персонала играет большую роль при выполнении сложных операций, связанных с принятием субъективных решений.

В процессах эксплуатации машин отказы общепринято подразделять на две основные группы — внезапные отказы и прогнозируемые, связанные с постепенным изменением ключевых эксплуатационных характеристик объекта. Внезапные отказы сопряжены с присутствием в продукте скрытых производственных повреждений, факторами конструктивных просчетов, погрешностями в работе обслуживающего персонала. Постепенные отказы концепции обусловлены градационными преобразованиями характеристик. Подобная перемена характеристик в основном обусловлена устареванием элементной основы системы. В первом приближении возможно принять, то что все без исключения отказы, образующиеся в ходе эксплуатации, являются независимыми.

Одной из возможностей предотвращения отказов считается высококачественное техническое обслуживание (далее ТО), которое ориентировано на предотвращение и устранение ожидаемых непредвиденных неисправностей. Смена компонентов и агрегатов в период роста интенсивности отказов, как основной метод обеспечения эксплуатационной надежности, применяется абсолютно во всех промышленных концепциях ТО и ремонтов. Такой подход дает возможность стабилизировать поток отказов системы (машины), который возможно рассматривать как пуассоновский нестационарный поток.

Это ординарный поток без последействия, для которого в любой момент времени существует конечный параметр потока $\lambda(t)$.

Пусть $P_i(t_0, \tau)$ – вероятность поступления i -требований (заявок на замену агрегатов и деталей) за интервал $[t_0, t_0 + \tau]$, которая определяется формулой:

$$P(t_0, \tau) = \frac{[\lambda(t_0, \tau)]^i}{i!} \cdot e^{-\lambda(t_0, \tau)}$$

где

$$\lambda(t_0, \tau) = \int_0^{\tau} \lambda(x) dx$$

Физический смысл этого параметра - среднее число требований (заявок) на промежутке $[t_0, t_0 + \tau]$.

Средняя интенсивность определяется как:
$$\frac{\lambda(t_0, \tau)}{\tau}$$

Выбором закона изменения $\lambda(t)$ можно описать реальные потоки заявок.

В основе характера потока заявок (требований) на запчасти и ремонт лежат два разнонаправленных процесса.

С одной стороны по мере наработки машины в ходе эксплуатации растет интенсивность отказов. С другой стороны, качественное ТО и замена по мере необходимости агрегатов и деталей способствует её сокращению.

Анализируя статистику и характер отказов, в принципе возможно подобрать такой режим и последовательность ТО и ремонтов, которые гарантировали бы стабильную работу системы в межремонтные промежутки. Либо, напротив, задаваясь данными по режимам эксплуатации, возможно установить такие плановые сроки выполнения ТО, которые обеспечивали бы работу системы (машины) с установленной степенью надежности.

С целью увеличения безотказной работы сложных технических систем в условиях эксплуатации можно выделить 4 группы мероприятий:

- 1) разработку научных способов эксплуатации;
- 2) получение, исследование, а также обобщения опыта эксплуатации;
- 3) взаимосвязь проектирования вместе с созданием объектов машиностроения;
- 4) увеличение квалификации обслуживающего персонала.

Научные способы эксплуатации содержат в себе научно аргументированные способы подготовки продукта к эксплуатации, выполнение технологического сервиса, ремонтных работ а также иных событий согласно повышению прочности сложных промышленных концепций в ходе их эксплуатации. Последовательность, а также технологию выполнения данных работ представляют в определенных руководствах а также инструкциях по эксплуатации определенных продуктов. Наиболее высококачественное осуществление рабочих событий согласно обеспечению прочности продуктов машиностроения гарантируется итогами статистического изучения прочности данных

продуктов. При эксплуатации систем значительную роль представляет собранный опыт. Существенную долю опыта эксплуатации применяют с целью постановления индивидуальных организационно-технических событий. Однако собранные сведения следует применять не только лишь с целью постановления вопросов нынешнего дня, а также с целью создания машин и агрегатов на перспективу, с учетом тенденций развития ашиностроения в рассматриваемой области.

Огромную роль содержит достоверный и точный сбор данных о отказах. Данные об отказах, полченные в ходе контрольных проверок либо из сферы эксплуатации, переоформляют в форму карточек учета отказов либо рекламационных действий. В карточке учета вносят последующие данные:

- 1) номер карточки либо рекламационного действия;
- 2) название а также фабричный номер продукта;
- 3) продолжительность деятельность вплоть до возникновения неполадки;
- 4) условия работы при которых возник отказ;
- 5) внешние признаки отказа;
- 6) фабричной номер отказавшего компонента;
- 7) возможную первопричину возникновения отказа;
- 8) методы ликвидации отказа (замена, восстановление);
- 9) период возобновления работы;
- 10) дату, а также подписи заполняющих карточку.
- 11) адрес организации, которой направлена рекламация или претензия. претензионный документ

Помимо упомянутых данных в карточку отказов зможно фиксировать и иные данные, характеризующие эксплуатацию исследуемого объекта. Карточки учета как правило используют в период проверок объекта. Рекламационные акты, обычно оформляют для объектов., пребывающих в эксплуатации в промежутки их гарантийного срока, если обязанность за отказы, а также восстановление продукта несет предприятие-изготовитель. С целью исследования событий по увеличению надежности сложных промышленных машин в ходе их проектирования, а также изготовления нужны сведения о действии элементов либо единичных конструкций в ходе их эксплуатации. Синтез информации согласно эксплуатации какого-либо продукта в полном не постоянно имеет значимость, т.к. в следствии стремительного технологического прогресса данный продукт замещают иным, наиболее идеальным.

Составляющие и узлы, в особенности стандартизированные, а также имеющие большой запас прочности, заменяют существенно

реже. Исследование отличительных черт узлов и деталей и их взаимодействия предоставляет шанс применять собранные сведения с целью проектирования предстоящих агрегатов. Таким образом, получение, а также синтез информации об отказах машин — одна из важнейших задач, требующая постоянного внимания инженеров и конструкторов.

Список литературы

1. Гринчар Н.Г., Гринчар Н.Н. Основы надежности машин. М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. – 504 с.
2. Керимов Ф.Ю. Теоретические основы сбора и обработки информации о надежности машин. Учебное пособие. М.: Мади, 1979. —135 с.

УДК 621.01

КЛАССИФИКАЦИЯ КАТКОВ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Гусейнова С.С.¹, Сырых А.А.¹, Синегубова М.М.¹

1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Классификация катков позволяет оптимизировать выбор техники в зависимости от требований конкретного дорожно-строительного проекта.

Важным аспектом в строительстве дорожно-строительного полотна или возведении зданий и сооружений являются вибрационные машины. Совершенствование катков включает в себя как усовершенствование их конструкции, так и внедрение новых технологий, что способствует повышению эффективности и безопасности работы. В результате современные катки становятся более универсальными и производительными, что положительно сказывается на качестве дорожных и земляных работ.

Ключевые слова: классификация катков, типы катков, совершенствование конструкции, уплотнительная техника, дорожное строительство.

DEVELOPMENT OF THE STRUCTURE OF THE METAL-METAL- POLYMER MOLD FOR CASTING REPAIR PARTS

Guseynova S.S.¹, Srykh A.A.¹, Sinegubova M.M.¹

*1. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov,
Belgorod*

The classification of rollers is an important aspect in the construction industry, which allows you to optimize the choice of equipment depending on the requirements of a specific project. Improving rollers includes both improving their design and introducing new technologies, which helps improve operational efficiency and safety. As a result, modern rollers are becoming more versatile and productive, which has a positive effect on the quality of road and earthworks.

Key words: classification of rollers, types of rollers, improvement of design, compaction technology, road construction.

Катки в строительстве и дорожных работах, обеспечивают высокое качество уплотнения. Их применение является неотъемлемой частью процессов укладки асфальта, бетона и подготовки грунтовых поверхностей. На фоне роста городского строительства и необходимости поддержания инфраструктуры такие устройства продолжают приобретать значительное распространение [1].

Катки классифицируются по типу привода, числу барабанов, массе, типу рабочей поверхности и типу источника энергии.

В таблице 1 представлена классификация, отражающая типы катков, область их применения и особенности.

В зависимости от массы обычно выделяют следующие типы катков:

- тротуарные (0,5–2 т) — ручные модели для ямочного ремонта и уплотнения тротуарного покрытия;
- легкие (2–5 т) — компактные машины для работы на пешеходных дорожках, обустройства полов в производственных помещениях;
- средние (5–10 т) — автомобили для выполнения предварительного этапа работ по уплотнению дорожных покрытий;
- тяжелые (10–14 т) — мощные машины для уплотнения асфальта и асфальтобетона;
- сверхтяжелые (10–14 т) — большие дорожные катки для работы с каменными основаниями и дорогами, рассчитанными на высокие нагрузки.

Применение малогабаритных одновальных вибрационных катков позволяет, уплотнить там, где большие машины проехать не могут. Вибрационные катки укомплектованы вращающимся грузом, создающим сильную вибрацию. Вибрационная система состоит из основной оси, оснащённой одним или несколькими вибрационными механизмами, которые обеспечивают высокие частоты колебаний

(обычно от 40 до 75 Гц). Система управления вибрацией позволяет выбрать режимы работы в зависимости от типа материала.

Таблица 1

Классификация катков

Категория	Тип катка	Применение	Особенности
1. По типу привода	Вибрационные катки	Уплотнение асфальта и грунта	Эффективны для глубокого уплотнения, имеют вибрацию.
	Статические катки	Уплотнение мелких слоев и тротуарных покрытий	Работают без вибрации, эффективны для поверхностного уплотнения.
2. По числу барабанов	Однокомпонентные катки	Уплотнение на небольших площадях	Легкие, маневренные, хорошо подходят для мелких работ.
	Тандемные катки	Уплотнение асфальта на дорогах и площадках	Два барабана, обеспечивают равномерное уплотнение.
3. По массе	Легкие катки	Работа на мелких и средних участках	Обычно вес до 2 т, используются для уплотнения щебня и асфальта.
	Средние катки	Уплотнение оснований и асфальтовых покрытий	Масса в диапазоне 2-8 т, подходят для большинства дорожных работ.
	Тяжелые катки	Интенсивное уплотнение и крупномасштабные проекты	Вес более 8 т, используются для плотного уплотнения грунтов.
4. По типу рабочей поверхности	С гладкими барабанами	Уплотнение асфальта и гравия	Обеспечивают высокое качество уплотнения, особенно на гладких поверхностях.
	С ребристыми барабанами	Уплотнение грунтов и щебня	Более агрессивное уплотнение, предотвращает скольжение.
5. По типу источника энергии	Дизельные катки	Массовое строительство и дорожные работы	Высокая мощность и производительность, автономная работа.
	Электрические катки	Работы в закрытых помещениях	Бесшумные и экологически чистые, идеально подходят для городских работ.

Компактные и маневренные модели вибрационных катков способны оказывать высокое удельное давление на основание. С

помощью такой техники можно быстро уплотнить основу. Они обеспечивают уплотнение слоев толщиной до 30 см. Глубина уплотнения зависит от типа материала и состояния основания. Скорость работы зависит от состояния материала и его характеристик. Вибрационные катки способны уплотнять сечениями со скоростью до 10-15 см за проход при условии выполнения необходимых режимов работы.

Энергетическая эффективность	<ul style="list-style-type: none"> • Гибридные и электрические модели. Разработка катков с гибридными или полностью электрическими двигателями снижает потребление топлива и уменьшает выбросы вредных веществ, что делает работу более экологичной. • Системы рекуперации энергии. Некоторые современные катки оснащены системами, которые позволяют восстанавливать часть энергии, что снижает затраты на топливо.
Технологические инновации	<ul style="list-style-type: none"> • Интеграция с системами GPS и электронными датчиками. Современные катки могут быть оснащены системой мониторинга, которая позволяет отслеживать параметры уплотнения в реальном времени. Это обеспечивает более точный контроль за качеством работы. • Автоматизация процессов. Внедрение автоматизированных систем управления позволяет оптимизировать рабочие процессы, снижая риски ошибок со стороны оператора и повышая производительность.
Безопасность	<ul style="list-style-type: none"> • Улучшенные системы видимости. Совершенствование дизайна кабины и обширные окна для лучшей видимости помогают оператору лучше видеть рабочую зону, что уменьшает риск несчастных случаев. • Современные системы безопасности. Внедрение технологий, таких как системы предотвращения опрокидывания или автоматические тормоза, способствует повышению безопасности как оператора, так и работников на площадке.

Рис. 2. Направления совершенствования катков

Малогобаритные одновальные вибрационные катки обладают рядом преимуществ: высокая производительность, маневренность, долговечность и небольшие затраты на обслуживание, что делает их применение эффективным и экономически целесообразным.

Одним из ключевых направлений совершенствования катков является внедрение современных технологий, таких как автоматизация и использование систем управления, что позволяет оптимизировать процесс уплотнения. Современные катки оснащаются сенсорами, которые отслеживают параметры уплотнения, делая процесс более точным и контролируемым, что также способствует улучшению качества работы, устраняя проблемы, связанные с недостаточным или избыточным уплотнением.

Направления совершенствования катков представлены на рисунке 2.

Виброкаток является надежным и эффективным решением для строительных проектов, требующих качественного уплотнения. Они

сочетает в себе отличные эксплуатационные характеристики, удобство и высокую производительность. [10-12]

Экологические аспекты также играют немаловажную роль в совершенствовании катков. Создание более экологически чистых моделей с низким уровнем выбросов и низким уровнем шума отвечает современным требованиям и стандартам.

Работа выполнена при поддержке комплексного проекта (Постановление Правительства Российской Федерации № 218) «Создание высокотехнологичной системы подготовки оборотной воды обогатительной фабрики АО «Севералмаз» с переработкой отходов в товарную продукцию» (Соглашение № 075-11-2023-013 от 15.02.2023).

Список использованных источников

1. Баловнев, В. И. Определение параметров и выбор землеройных машин / В. И. Баловнев. – М. – Омск: ЗАО «Полиграф», 2010. – 224 с.
2. Виброкаток Impulse VR300H - [электронный ресурс] <https://www.tradicia-k.ru/product/vibrokatok-impulse-vr300h/> - Дата просмотра 03.09.2024
3. Дорожные катки: развитие, конструкция, расчет: учеб. пособие / В. И. Баловнев, С. Н. Иванченко, Р. Г. Данилов, А. В. Лешинский; под общ. ред. В. И. Баловнева и С. Н. Иванченко. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2016. – 216 с.
4. Дорожно-строительные машины и комплексы: учебник для вузов / В. И. Баловнев [и др.]; под общей ред. В. И. Баловнева. – М. – Омск: СибАДИ, 2001. – 425 с.: ил.
5. Курьянов В.К., Допперт В.А. Основные параметры катков при уплотнении дорожных одежд нежесткого типа // Лесной вестник. 2009. № 3. С. 100-102.
6. Кустарев, Г. В. Дорожные катки. Устройство, основы расчета: учеб. пособие / Г. В. Кустарев, Р. Г. Данилов, В. И. Баловнев; под ред. Г. В. Кустарева. – М.: МАДИ, 2012. – 160 с.
7. Машины для содержания городских и автомобильных дорог: в 2 кн. Кн: учеб. пособие для вузов / В. И. Баловнев, Р. Г. Данилов, А. Г. Савельев; под общ. ред. В. И. Баловнева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Техполиграфцентр, 2013. – 343 с.
8. Машины для земляных работ. Конструкция, расчет, потребительские свойства: в 2 кн. Кн. 2. Погрузочно-разгрузочные и уплотняющие машины: учебное пособие для вузов / В. И. Баловнев [и др.]; под общ. ред. В. И. Баловнева. – 2-е изд., стереотип. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 464 с.
9. Определение параметров и режимов уплотнения дорожных катков [электронный ресурс] - <https://lib.madi.ru/fel/fel1/fel22E610.pdf> - Дата просмотра 04.09.2024
10. Одноковшовые фронтальные погрузчики. Устройство, основы расчета: учеб. пособие / В. И. Баловнев [и др.]. – М.: МАДИ, 2012. – 160 с.
11. Уваров В.А. Теория и расчет пневмосмесителей непрерывного действия [Текст] / Т.Н. Орехова, В.А. Уваров – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – 114 с.

12. The rotating layer mechanics of polydisperse particles in the continuous action pneumatic mixers / T. N. Orekhova, V. S. Prokopenko, V. V. Okushko, A. E. Kachaev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Kislovodsk, 01–05 октября 2019 года. Vol. 698(2). – Kislovodsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 022023. – DOI 10.1088/1757-899X/698/2/022023.

УДК 621.01

ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА «АРМ BEAR» ПРИ РАСЧЕТЕ КОНСТРУКЦИИ УДАРНО-ВИХРЕВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Духанин С.А.¹, Толкунов С.Н.¹

1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Компьютерные технологии проектирования оборудования или отдельных деталей машин играют ключевую роль во всех сферах производства, однако не все современные программные продукты предлагают функции для проведения инженерного анализа. В области машиностроения активно применяется специализированное программное обеспечение российского разработчика и поставщика программного обеспечения «АРМ WinMachine». Эта программа включает в себя разнообразные модули для инженерных расчетов. Одним из таких модулей является «АРМ Bear», предназначенный для расчета неидеальных подшипников качения, а также позволяющий провести комплексный анализ опор качения всех известных типов.

Ключевые слова: шариковый радиально-упорный подшипник, долговечность, максимальное контактное напряжение, жесткость, момент трения, потери мощности, силы, действующие на тела качения.

APPLICATION OF THE ENGINEERING ANALYSIS MODULE "ARM BEAR" IN THE CALCULATION OF THE STRUCTURE OF A SHOCK-VORTEX MILL

Dukhanin S.A.¹, Tolkunov S.N.¹

1. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov, Belgorod

Computer technologies for designing equipment or individual machine parts play a key role in all areas of production, but not all modern software products offer functions for conducting engineering analysis. In the field of mechanical engineering, specialized software from the Russian developer and supplier of software "ARM WinMachine" is actively used. This program

includes various modules for engineering calculations. One of these modules is "ARM Bear", designed to calculate non-ideal rolling bearings, and also allows for a comprehensive analysis of rolling supports of all known types.

Key words: angular contact ball bearing, durability, maximum contact stress, rigidity, friction moment, power loss, forces acting on rolling elements.

Инженерный модуль «АРМ Bear» представляет собой систему расчета параметров неидеальных подшипников качения, разработанную в НТЦ «Автоматизированное проектирование машин». Название системы происходит от англ. «bearing» (подшипник) [1].

Тип	Схема	Определение
Радиальный шариковый подшипник		Шариковый подшипник для работы в условиях радиальной нагрузки.
Сферический шариковый подшипник		Шариковый подшипник с двумя рядами тел качения для работы в условиях радиальной нагрузки.
Радиальный роликовый подшипник		Роликовый подшипник для работы в условиях радиальной нагрузки.
Сферический роликовый подшипник		Роликовый подшипник с двумя рядами тел качения для работы в условиях радиальной нагрузки.
Радиально-упорный шариковый подшипник		Шариковый подшипник, работающий в условиях комбинированной нагрузки, включающей осевую и радиальную силу
Радиально-упорный роликовый подшипник		Роликовый подшипник, работающий в условиях комбинированной нагрузки, включающей осевую и радиальную силу
Упорный шариковый подшипник		Шариковый подшипник, работающий в условиях чисто осевой нагрузки.
Упорный роликовый подшипник		Роликовый подшипник, работающий в условиях чисто осевой нагрузки.

Рис. 1. Типы и схемы подшипников модуля «АРМ Bear»

В современном машиностроении присутствует большое количество конструктивных элементов, что заставляет производителей искать способы снизить свои трудозатраты. Для этого они все чаще прибегают к использованию программных продуктов, работающих на современных компьютерах.

Система «АРМ Bear» рассчитывает восемь наиболее распространенных типов подшипников, которые представлены на рис. 1 далее [2,3].

С помощью «АРМ Bear» могут быть рассчитаны следующие характеристики подшипника: перемещения в подшипниках качения, наибольшие контактные напряжения, долговечность, силы, действующие на тела качения, моменты трения, потери мощности.

В качестве примера применения модуля инженерного анализа «АРМ Bear» при расчете конструкции ударно-вихревой мельницы выполним расчет шарикового радиально-упорного подшипника, который предназначен для ротора мельницы [4].

Общий порядок расчета выглядит следующим образом: выбор типа подшипника, задание геометрии подшипника, задание точности изготовления подшипника, задание условий работы подшипника, выполнение расчета, просмотр результатов расчета, а также возможность задания дополнительных параметров.

В конструкции ударно-вихревой мельницы применяется типовой подшипник легкой серии с учетом количества тел качения 46213 ГОСТ 831-75, параметры которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Геометрия подшипника 46213 ГОСТ 831-75

Внешний диаметр	120.0	мм
Внутренний диаметр	65.0	мм
Диаметр тела качения	16.67	мм
Число тел качения	15.0	
Угол контакта	26.0	град

После выбора подшипника входим в модуль «АРМ Bear» в меню Данные/Условия работы и в открывшемся диалоговом окне «Шариковый радиально-упорный подшипник» задаем параметры нагрузки, приведённые в табл. 2

Условия работы подшипника 46213 ГОСТ 831-75 были выбраны с учетом основной частоты вращения роторов мельницы.

После ввода всех данных можно преступать к запуску расчета, нужно нажать кнопку «Расчет» на панели инструментов «Главная» (меню Расчет/Расчет!).

Таблица 2

Условия работы подшипника 46213 ГОСТ 831-75

Осевая сила	15000.0	Н
Скорость вращения	3000.0	об/мин
Коэффициент динамичности	1.0	-
Тип нагрузки	Постоянная	-
Тип установки	Схема "О"	-

После окончания расчета становится активной кнопка «Результаты» (меню «Результаты»).

В открывающемся диалоговом окне «Результаты» (рис.2) можно ознакомиться с общими результатами расчета по нагруженному или ненагруженному подшипнику (группа параметров Резюме).

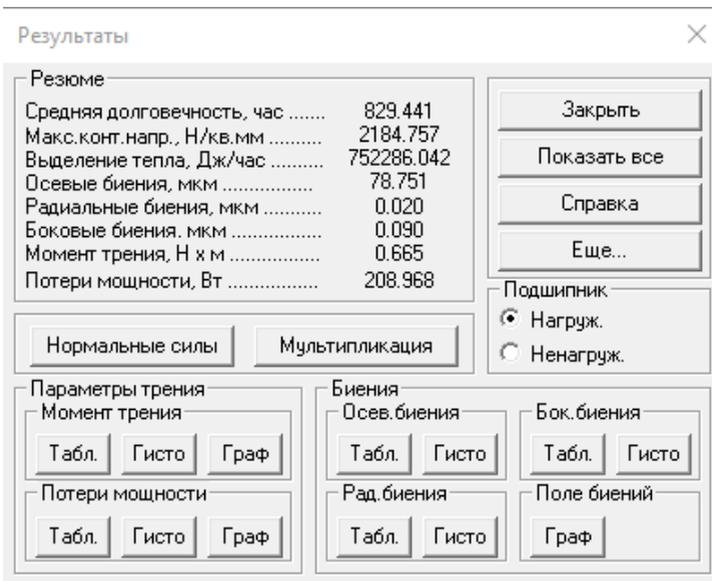


Рис. 2. Результаты расчета

Нажатием соответствующих кнопок вызываем диалоговые окна просмотра отдельных параметров подшипника, таких как момент трения, потери мощности, различные биения и т.д., которые представлены на рис. 3-7 соответственно.

Результаты расчета сил, действующих на тела качения на примере 8 итерации показаны на рис. 3.

Силы, действующие на тела качения (нагруженный подшипник)

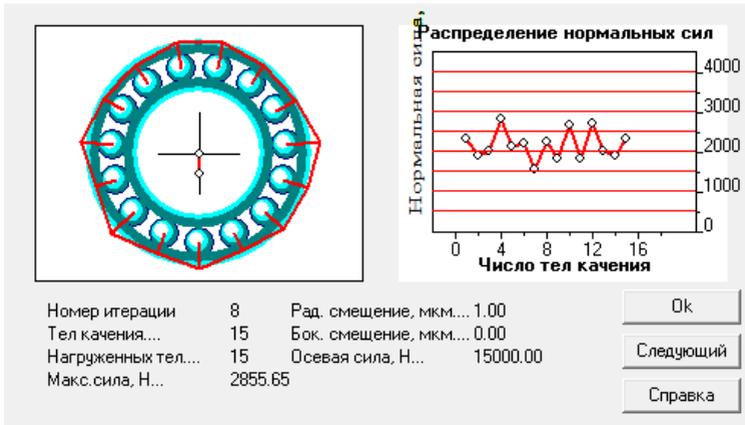


Рис. 3. Результаты расчета сил, действующих на тела качения (8 итерация)

Результаты расчета момента трения, на примере нагруженного подшипника показаны на рис. 4а в виде гистограммы и 4б в виде графика соответственно.

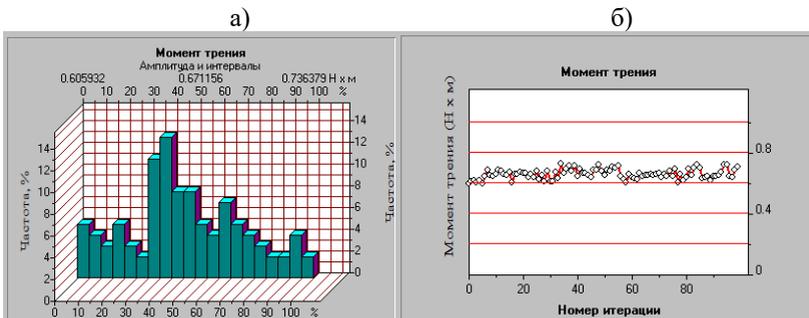


Рис. 4. Результаты расчета момента трения

Результаты расчета потери мощности, на примере нагруженного подшипника показаны на рис. 5а в виде гистограммы и 5б в виде графика соответственно.

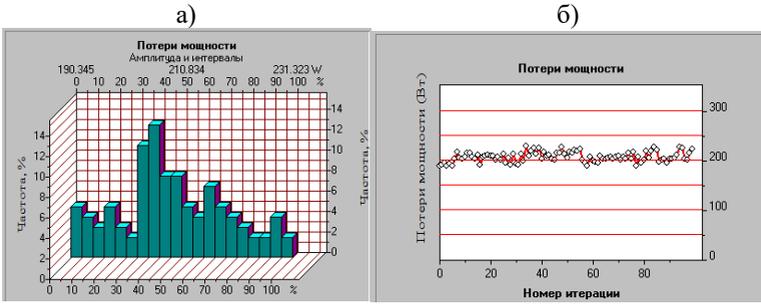


Рис. 5. Результаты расчета потери мощности

Гистограммы осевых, радиальных и боковых биений нагруженного подшипника показаны на рис. 6 соответственно.

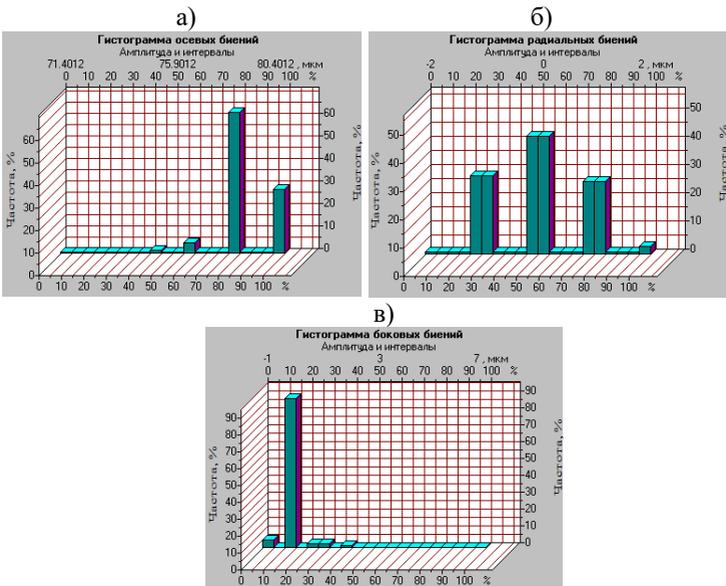


Рис. 6. Гистограммы биений: а – осевые биения; б – радиальные биения; в – боковые биения

Распределение биений подшипника представляет собой относительное перемещение центра подшипника, связанное с его вращением, и зависит от геометрии и точности подшипника, а также от

внешней нагрузки. Трехмерная диаграмма положений центра подшипника показана на рис. 7 далее.

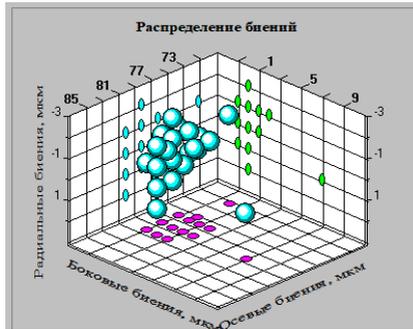


Рис. 7. Распределение биений подшипника

Анализируя результаты расчетов, мы получаем основную информацию о долговечности нашего подшипника. Так, например долговечность по теории неидеального контакта составляет 1027,325 часов, а по стандартным методам 829,441 часов. Результат расчета долговечности может быть представлен в виде графика зависимости ресурса работы подшипника от надежности для долговечности, посчитанной стандартными методами (рис. 8).

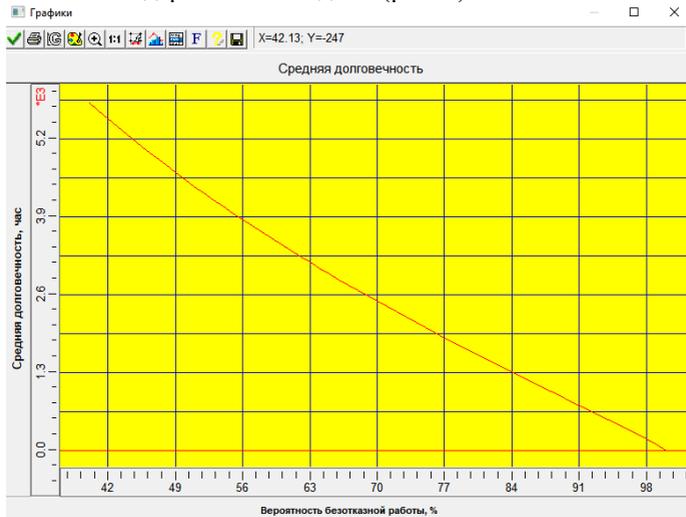


Рис. 8. График зависимости ресурса работы подшипника от надежности для долговечности

Учитывая вышеизложенные расчеты, можно говорить о том, что применение инженерного модуля «APM Bear» программного продукта «APM WinMachine» значительно упрощает расчет неидеальных подшипников качения, а также позволяет провести комплексный анализ опор качения всех известных типов [5].

Список литературы

1. Шелофаст, В.В. Основы Проектирования Машин [Текст] / В.В. Шелофаст – М. : Издательство АПМ, 2005. – 472 с.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020660057 Российская Федерация. APM WinMachine 18 Прочностной расчет и проектирование конструкций, деталей машин и механизмов (APM WinMachine 18): № 2020618263 : заявл. 31.07.2020 : опубли. 26.08.2020; заявитель Общество с ограниченной ответственностью Научно-технический центр «АПМ» (ООО НТЦ «АПМ»). – EDN LNMTTV.

3. Модуль расчета и проектирования соединений элементов машин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://apm.ru/apm> - bear. – (дата обращения: 19.09.2024).

4. Духанин, С. А. Технические параметры роторно-вихревых мельниц / С. А. Духанин // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова : Сборник докладов, Белгород, 16–17 мая 2023 года. Том Часть 8. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 15-20. – EDN PVMOMM.

5. Духанин, С. А. Расчет болтового соединения крышки корпуса роторно-вихревой мельницы с применением модуля «APM Joint» программного продукта «APM Winmachine» / С. А. Духанин, С. Н. Толкунов // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в машиностроительной, дорожной и строительной отраслях - 2023 : Материалы международной научно-практической конференции, Белгород, 21–23 сентября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 56-63. – EDN FZVZUI.

УДК 625.76.08-52

О ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ АВТОГРЕЙДЕРА ПО ПАРАМЕТРАМ ДВИГАТЕЛЯ

Жулай В.А.¹, Щиенко А.Н.¹, Ирхин М.В.¹, Хлоповских Д.А.¹

1. ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж

В статье рассмотрена возможность получения косвенных характеристик процесса копания и перемещения грунта автогрейдером по величинам непосредственно измеренных параметров. Предложено использование экспериментальных

зависимостей, полученных при тяговых испытаниях автогрейдеров для связи характеристик двигателя и параметров, определяющих производительность этих машин при резании и перемещении грунта. Полученные уравнения могут быть использованы для управления энергетическим процессом автогрейдера при резании и перемещении грунта для удержания энергетического процесса в заданной области при достижении максимума производительности.

Ключевые слова: автогрейдер, система автоматического управления.

ABOUT THE POSSIBILITY OF CONTROLLING THE ENERGY PROCESS OF A MOTOR GRADER BY ENGINE PARAMETERS

Zhulai V.A.¹, Shchienko A.N.¹, Irkhin M.V.¹, Khlopovskikh D.A.¹

1. Voronezh State Technical University, Voronezh

The article discusses the possibility of obtaining indirect characteristics of the process of digging and moving soil with a motor grader based on the values of directly measured parameters. It is proposed to use experimental dependencies obtained during traction tests of motor graders to connect engine characteristics and parameters that determine the performance of these machines when cutting and moving soil. The resulting equations can be used to control the energy process of a motor grader when cutting and moving soil to maintain the energy process in a given area while achieving maximum productivity.

Key words: motor grader, automatic control system.

Автоматизация управления землеройно-транспортных машин является актуальной задачей. Применение современной микропроцессорной техники позволяет значительно расширить область ее использования в системах контроля и управления, но требует научно обоснованного подхода к этой проблеме.

Важной частью любого процесса управления является получение информации о различных параметрах исследуемого явления и наличие алгоритма принятия решения о соответствующем управляющем воздействии. Рабочий процесс землеройно-транспортных машин (ЗТМ) включает в себя копание грунта и его транспортировку к месту назначения. Эти составляющие рабочего процесса могут происходить как одновременно, так и последовательно или в каком-либо сочетании. Измерение параметров машины в ходе ее работы может дать следующую информацию: действительной и теоретической скоростях движения машины; величине силы сопротивления грунта копанию;

воздействиях управляемого гидропривода, а также некоторых косвенных характеристик процесса по величинам непосредственно измеренных тех или иных параметров, например, определение мощности двигателя по эмпирической зависимости в функции оборотов вала двигателя или крутящего момента, то же в функции оборотов вала двигателя.

Рассмотрим возможность использования информации об этих косвенных характеристиках процесса для целей управления такой широко распространенной ЗТМ как автогрейдер.

Максимальная эффективность любой технологической машины будет достигать при условии полной загрузки ее двигателя. Для автогрейдера максимальная производительность при резании и перемещении грунта косо поставленным отвалом будет достигаться на режиме максимальной тяговой мощности [1], представляющей собой произведение действительной скорости движения V_d и силы тяги на отвале T_k .

Для дизельного двигателя можно построить эмпирические зависимости его мощности и крутящего момента в функции оборотов вала двигателя на соответствующей передаче при различных нагрузках на отвале [2].

Назначая необходимые ограничения на такие параметры процесса как мощность N_e , крутящий момент M_e и частота вращения вала двигателя n_e , позволяющие удерживать процесс в заданной оптимальной области изменения параметров. При этом желательно чтобы управление осуществлялось автоматическим устройством по командам микроконтроллеров.

Количество наблюдаемых и измеряемых параметров, количество параметров, по изменению которых принимается решение о воздействии на процесс, играют существенную роль при создании и функционировании системы управления.

Эмпирическая зависимость «мощность - частота вращения вала двигателя» характеризует поступление энергии в трансмиссию в единицу времени ($N_e = f(n_e)$), а эмпирическая зависимость крутящего момента от частоты вращения вала двигателя отражает нагрузку на агрегат со стороны среды ($M_e = f(n_e)$).

При оптимизации работы автогрейдера стремятся достичь наибольшей производительности, используя энергетические возможности установленного двигателя [3-7]. На величину производительности существенное влияние оказывают величина тягового усилия, расходуемого на резание и перемещение грунта, и поступательная скорость машины. Максимальное значение

произведения этих параметров в заданных условиях является оптимальным и служит целью автоматизации всякого рабочего процесса, направленного на резание и перемещение грунта.

Рассмотрим возможность применения критерия связывающего полезную мощность двигателя, расходуемую на рабочий процесс, с действительной скоростью машины и объемом разработанного грунта.

Назовем этот критерий фактором производительности Φ_{Π} .

$$\Phi_{\Pi} = \frac{N_e}{\Pi_T},$$

где N_e – эффективная мощность двигателя, передаваемая в трансмиссию, кВт;

Π_T – техническая производительность автогрейдера, т/ч.

Таким образом, этот критерий характеризует эффективность использования мощности установленного на машине двигателя.

Эффективность использования любой машины будет тем выше, чем меньшая мощность ее двигателя будет израсходована для производства единицы продукции, т.е. Φ_{Π} должно стремиться к минимуму. Таким образом, целевой функцией оптимизации работы автогрейдера при копании и перемещении и грунта будет $\Pi_T \rightarrow \max$ при постоянстве мощности установленного двигателя.

В работах [3, 4, 7] приведена взаимосвязь технической производительности автогрейдера и тяговой мощности на отвале

$$\Pi_T = \frac{N_T}{k_T},$$

где k_T – удельное сопротивление грунта копанию;

N_T – тяговая мощность на рабочем органе, кВт.

В свою очередь действительная скорость движения V_d и силы тяги на отвале T_k связаны следующими зависимостями с параметрами двигателя:

$$V_d = (1 - \delta) r_c \cdot i_{\text{тр}} \cdot \omega_e,$$

$$T_k = \eta_{\text{тк}} \cdot r_c \cdot i_{\text{тр}} \cdot M_e,$$

где δ – коэффициент буксования колесного движителя;

r_c – силовой радиус ведущих колес, м;

$i_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии;

ω_e – угловая скорость вала двигателя, с^{-1} ;

$\eta_{\text{тк}}$ – КПД трансмиссии и колесного движителя.

Учитывая, что нам известна эмпирическая зависимость

$$M_e = f(n_e), \quad (1)$$

перепишем уравнение для T_k в следующем виде

$$T_k = \eta_{TK} \cdot r_c \cdot i_{TP} \cdot f(n_c),$$

С другой стороны, сопротивление грунта копанию равно

$$T_k = F_c \cdot k_G,$$

где F_c – площадь сечения стружки вырезаемого грунта.

Среди этих параметров управляемыми являются частота вращения вала двигателя, изменяемая посредством изменения положения педали подачи топлива, и величина усилия сопротивления грунта копанию, изменяемая площадью сечения стружки вырезаемого грунта.

Примем, что подача топлива во время процесса резания и перемещения грунта максимальна. Поэтому кривая мощности, представленная эмпирической зависимостью в функции частоты вращения вала двигателя, показывает величину мощности при полной подаче топлива в двигатель. Величина же усилия сопротивления копанию должна соответствовать тягово-сцепным качествам машины и является зависимой от других физических факторов.

Для принятия верного решения об изменении протекающего процесса необходима информация о величинах трех параметров и сравнение полученного значения их с заданными граничными условиями или сравнение какого-либо аналитического условия с критерием оценки процесса. Желательно иметь возможность производить оба сравнения при определенном количестве информации.

Рассмотрим управления процессом копания грунта автогрейдером по одному параметру с одним источником энергии.

У нас имеется один источник информации – величина поступательной скорости машины. Алгоритм управления состоит в удержании значения скорости в оптимальном интервале при условии полной загрузки машины, что относится к компетенции человека-оператора.

Мы можем задействовать только один источник информации – частоту вращения вала двигателя. Алгоритм управления состоит в определении величины поступательной скорости машины, где используется эмпирическая зависимость (1) в функции частоты вращения n_c .

Для каждого вида грунта существует своя эмпирическая зависимость

$$P_T = f(N_T), \quad (2)$$

получаемая при проведении тяговых испытаний автогрейдеров [1, 3, 4, 5, 7].

Таким образом для автогрейдера с механической трансмиссией

можно для каждого вида грунта получить эмпирическую зависимость $p_e = f(N_T)$

Полученное уравнение может быть использовано для управления энергетическим процессом автогрейдера при резании и перемещении грунта. Задачей управления в этом случае будет удержание p_e в заданной области при достижении максимума N_T .

Алгоритм управления состоит в том, чтобы удержать значение усилия T_k в области $\approx N_{T_{\max}}$.

Значение p_e сравнивается с допустимым диапазоном $/n_{e1} \dots n_{e2}/$.

В случае отклонения от этой оптимальной зоны готовится решение об управлении рабочим органом.

Выводы

1. На основе классического уравнения энергетического состояния мобильного агрегата с одним источником энергии предложен критерий, связывающий полезную мощность, расходуемую на разработку грунта в конкретных условиях с факторами производительности. Этот критерий назван фактором производительности.

2. Предложено использование экспериментальных зависимостей, полученных при тяговых испытаниях автогрейдеров для связи характеристик двигателя и параметров, определяющих производительность этих машин при резании и перемещении грунта.

3. Полученные уравнения могут быть использованы для управления энергетическим процессом автогрейдера при резании и перемещении грунта для удержания энергетического процесса в заданной области при достижении максимума N_T .

Список литературы

1. Шарипов Л.Х., Бузин Ю.М., Жулай В.А. Исследование тяговых и эксплуатационных показателей автогрейдера ДЗ-146 // Строительные и дорожные машины. – 1986. №10. – С. 4-5.

2. Жулай В.А., Енин В.И. Аналитическое описание регуляторной характеристики дизеля // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. № 10. – С. 26-28.

3. Никулин П.И., Бузин Ю.М., Жулай В.А. К вопросу оценки тяговых качеств землеройно-транспортных машин // Строительные и дорожные машины. – 1993. № 2. – С. 22-23.

4. Жулай В.А., Тюнин В.Л. Мощностной и топливный балансы колёсных землеройно-транспортных машин // Строительные и дорожные машины. – 2014. № 9. – С. 42-45.

5. Жулай В.А., Тюнин В.Л., Кожакин Е.В., Онищенко В.Л., Харченко П.М. Определение оценочных показателей работы автогрейдера // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2023. № 2. – С. 55-59.

6. Мещеряков, В.А., Вебер В.В. Методика обработки результатов

экспериментальных исследований тягового режима автогрейдера // Вестник СибАДИ. – 2012. №4 (26). – С. 14-19.

7. Мещеряков, В.А., Вебер В.В. Оптимизация задающего воздействия для системы управления тяговым режимом автогрейдера // Вестник СибАДИ. – 2018. Том 15, № 4. – С. 502-513.

УДК 624.05

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УГЛА ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ
ГРУНТА ОТ ВЛАЖНОСТИ И МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТИ
МАШИН

Зеньков С.А.¹, Бондалет И.С.¹, Высоцкий Е.С.¹, Медведев С.Н.¹.

1. ФГБОУ ВО Братский государственный университет, г. Братск

В данной статье представлены результаты исследований по определению влияния влажности грунта и материала покрытия рабочих органов машин на угол внешнего трения грунта. Получены зависимости угла трения для различных типов грунтов от весовой влажности для различных материалов. Сделан вывод о рациональности применения покрытий из полимерных противоналипающих пластин.

Ключевые слова: угол внешнего трения грунта, противоналипающие покрытия, весовая влажность грунта.

DETERMINATION OF THE DEPENDENCE OF THE ANGLE OF
EXTERNAL FRICTION OF SOIL ON THE HUMIDITY AND
MATERIAL OF THE SURFACE OF MACHINES

Bondalet I.S.¹, Vysotsky E.S.¹, Medvedev S.N.¹, Zenkov S.A.¹

1. Bratsk State University, Bratsk

This article presents the results of studies to determine the influence of soil moisture and the coating material of the working parts of machines on the angle of external friction of the soil. Dependences of the friction angle for different types of soil on the gravimetric moisture content for different materials are obtained. A conclusion is made on the rationality of using coatings made of polymer anti-stick plates.

Key words: angle of external friction of the soil, anti-stick coatings, gravimetric moisture content of the soil.

Явления, возникающие при движении вырезанной из массива стружки грунта, значительно влияют на сопротивление копанью и энергоёмкость процесса разработки грунта землеройными машинами. Благодаря замене материалов рабочих поверхностей можно достичь

оптимальных параметров: угла атаки, толщины срезаемой стружки, скорости разработки и т.д.[1-4].



Рис.1. Стенд для определения угла трения

Одним из составляющих усилий, обуславливающих сопротивление копанию грунта, является сила трения грунта по поверхности рабочего органа землеройной машины [1]. Значение силы нормального давления зависит от угла резания, толщины стружки и рабочей скорости. С целью определения влияния материала покрытия на угол внешнего трения грунта были проведены опыты, показывающие зависимость угла трения от материала покрытия. Эксперименты проводили на лабораторном стенде (рис.1) [2], используя шесть различных поверхностей: фторопласт, полимерные противоналипающие листы (ППЛ-ЭИ и ППЛ-УИ), черный пластик, сталь 3, алюминий.

Эксперименты проводились при температуре внешней среды $17\text{ }^{\circ}\text{C}$, дисперсности грунта, выраженной через эффективный диаметр частиц $D = 1 \cdot 10^{-3}\text{ мм}$ и $D = 3 \cdot 10^{-3}\text{ мм}$ и в зависимости от весовой влажности грунта.

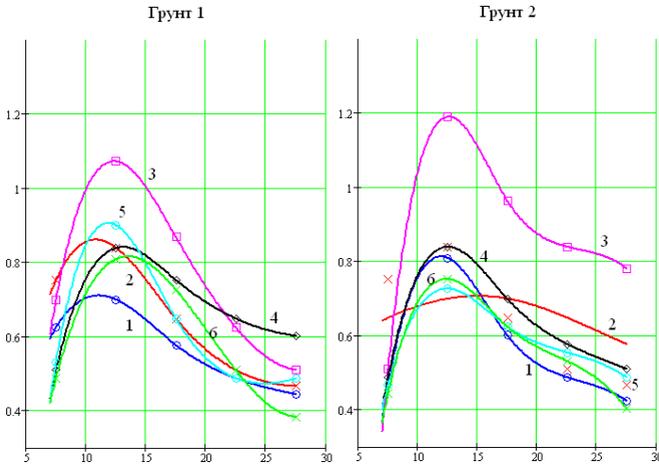


Рис.2. Зависимости угла трения от влажности для грунта 1 с $D = 1 \cdot 10^{-3}$ мм и грунта 2 с $D = 3 \cdot 10^{-3}$ мм (материалы покрытий: 1 - ППЛ-УИ, 2 - ППЛ-ЭИ, 3 – сталь, 4 – фторопласт, 5 – черный пластик, 6 – алюминий)

Исследования с перемещением разных соприкасающихся материалов с различным состоянием поверхностей скольжения показывают, что силы трения проявляются при относительном движении соприкасающихся материалов, а их направление противоположно вектору относительной скорости тангенциально к поверхности скольжения [3,4].

На рис. 2 представлены графики зависимости угла внешнего трения грунта θ (через $\operatorname{tg}\theta$) от весовой влажности: по оси ординат приведены значения тангенса угла трения, а по оси абсцисс приведена весовая влажность грунтов в процентном соотношении от 7,5% до 27,5%.

Выводы. Из графиков видно, что материалом, обладающим наибольшим углом трения является сталь 3, но так как сталь обладает хорошими износостойкими, ударопрочными характеристиками и недорога в изготовлении, она на сегодняшний день является самой распространенной поверхностью для рабочих органов машин.

Хорошие результаты показали полимерные противоналипающие покрытия. Они в отличие от стали, фторопласта, пластика, алюминия имеют ряд преимуществ: высокую износостойкость, низкий коэффициент трения скольжения, высокую ударную вязкость, большую стойкость к кислотам, щелочам, солям и другим агрессивным средам, широкий эксплуатационный интервал температур от -50°C до $+90^{\circ}\text{C}$,

высокую прочность при указанных температурах, водоотталкивающие свойства (гидрофобность), не позволяющие влагосодержащим материалам налипать или намерзать на поверхности полимерного покрытия.

Список литературы

1. Заднепровский Р.П. Теория трения скольжения. Волгоград: Offset. 2005. 51 с.
2. Патент №1310696 СССР. Сдвиговой стенд / В.И. Баловнев, Ю.П. Бакатин, С.А. Зеньков, С.В. Журавчук – Заявка №3992052 от 12.12.1985; опубл. 15.05.1987, Бюл. №18.
3. Зеньков С.А., Елохин А.В., Курмашев Е.В. К вопросу о применении ремонтно-восстановительных составов для снижения адгезии грунтов к рабочим органам СДМ // Механики XXI века. 2009. № 8. С. 159-161.
4. Zenkov S.A., Kirichenko O.P., Mineev D.A. Reducing adhesion of soil to the earth-moving machines using piezoceramic transducers // Journal of Advanced Research in Technical Science . 2017. № 4. С. 56-58.

УДК 625.768.5

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ОБОЧИН АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Иванов С.В.^{1,2} Иванова К.А.¹

1. ФГБОУ ВО Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. Россия, г.Саратов
2. ООО Спецдортехника Россия, г.Саратов

Существует значительное количество видов оборудования для содержания придорожной полосы, рабочими органами которых являются отвал или фреза. В данной статье приведены конструкции, область применения и достоинства оборудования для содержания обочин автомобильных дорог в летнее и зимнее время.

Ключевые слова: фреза, снедно-ледовая масса, грунтовая насыпь, придорожная зона, обочина.

ROADSIDE MAINTENANCE EQUIPMENT

Ivanov S.V.^{1,2} Ivanova K.A.¹

1. Saratov state technical University named after Y. A. Gagarin»
Russia, Saratov
2. ООО Specdortekhnika Russia, Saratov

There are a significant number of types of equipment for roadside maintenance, the working parts of which are a blade or a milling cutter. This article presents the designs, scope of application and advantages of equipment for maintaining the shoulders of highways in summer and winter.

Key words: milling cutter, snow-ice mass, soil embankment, roadside zone, shoulder.

В настоящее время все больше уделяется внимание к качеству содержания автомобильных дорог, а именно придорожной полосы – обочин и откосов. В летнее время, содержание придорожной полосы заключается в удалении с обочин дорог грунтовых насыпей и нежелательной растительности с корневой базой, также производство планировочных работ на откосах для лучшего водоотведения. Зимнее содержание заключается в удалении с обочин дорог снежно-ледовой массы, в том числе в труднодоступных местах, например под дорожным ограждением [1].



Рис 1. Фрезеровщик дорожных обочин HYDROG SP-1200

Существует значительное количество модификаций оборудования для производства данных видов работ, рабочими органами которых являются отвал или фреза. Некоторые фрезеровщики имеют значительные габаритные размеры и осуществляют погрузку отфрезерованного материала в транспортное средство (рис.1.), но при этом они фрезеруют только обочину [2].

Другие фрезеровщики являются менее габаритными и устанавливаются на манипуляторном оборудовании [3], фрезерование может осуществляться, как на обочине, так и на откосах дорог в зависимости от изменения вылета оборудования. Рабочий процесс направлен на фрезерование и отбрасывание материала в сторону от рабочего органа (рис.2.). Помимо этого данные фрезы можно использовать в зимнее время для удаления уплотненного снега и наледи с обочин дорог.



Рис. 2. Фрезеровщик дорожных обочин: а – фреза BF 600;
б - фреза для обочины дороги ROLMEX SP

Наиболее сложным и трудоемким процессом является очистка около барьерной зоны от снега и грунтовых насыпей, поскольку является менее механизированным. Данные работы выполняются либо ручным способом, или с использованием отвалов ОТ-4 и ОТ-5 при работе со свежесвыпавшим снегом [5], или фрезерного оборудования для уборки более уплотненного снега или грунта

Одним из востребованных оборудований является фреза, которая может использоваться как в зимнее, так и в летнее время для содержания обочин дорог, в том числе и под дорожным ограждением. Преимущество винтовой фрезы «Крот» [4] является то, что она устанавливается с боку базовой машины, что облегчается условия работы оператора.

На рис 3 представлено устройство дородной фрезы.

Фреза для дорожных обочин работает следующим образом. Фреза находится в транспортном положении, при котором винтовой рабочий орган поднят вертикально над землей. За счет гидроцилиндра транспортного положения 3, который поворачивает корпус с фрезой в шарнирном соединении, фреза устанавливается в рабочее положение, при котором она расположена параллельно поверхности обочины или под заданным уклоном.

Поворот винтового рабочего органа производят до того момента, когда его рабочая поверхность будет повторять угол наклона обочины к поверхности дороги. Гидравлический мотор находящийся в корпусе приводит во вращательное движение фрезу, а гидроцилиндр б перемещает фрезу в вертикальном направлении, обеспечивая прижимное усилие и максимальное соединения с поверхностью обочины. Базовая машина движется вдоль дорожной обочины и осуществляет фрезерование обочины и ее очистку. Снятый с

поверхности обочины грунт, грязь, снег и наледь отбрасывается фрезой на расстояние до 5 м в направлении оси фрезы.

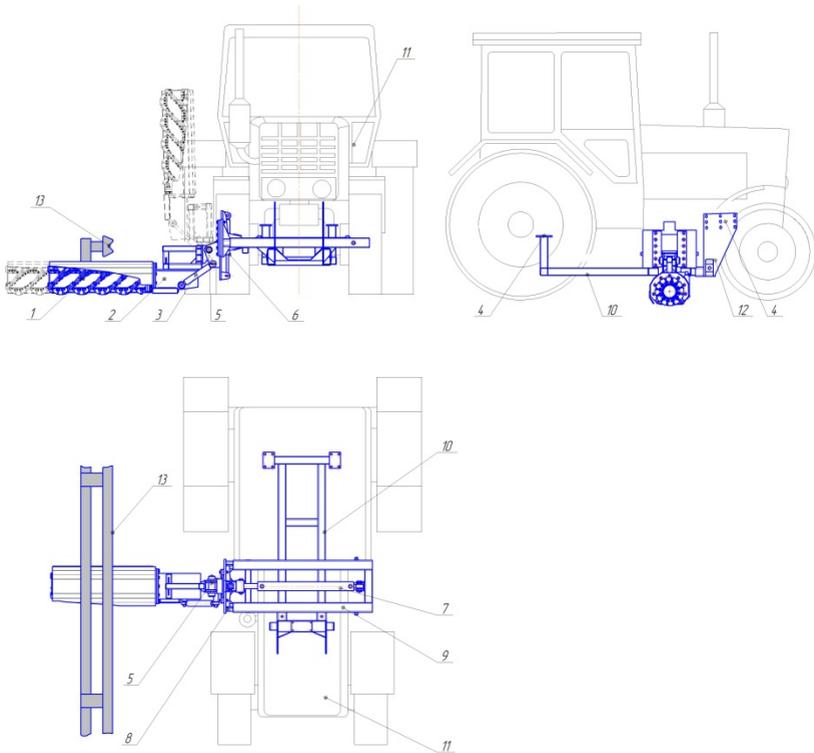


Рис. 3. Фреза винтовая «Крот»: 1 – фреза; 2 – корпус фрезы; 3 – гидроцилиндр транспортного положения; 4 – место крепления рамы к базовой машине; 5 – шарнирное соединение; 6, 7 – гидроцилиндр; 8 – подвижная секция рамы; 9 – неподвижная секция рамы; 10 – рама; 11 – базовая машина МТЗ; 12 – подрамник; 13 – дорожное ограждение.

При наличии на обочине барьерных дорожных ограждений фреза выдвигается под ограждение за счет гидроцилиндра 7, который выдвигает подвижную секцию рамы с фрезой. Гидроцилиндр 7 перемещает подвижную секцию, телескопически соединенную с неподвижной секцией вдоль обочины. Неподвижная секция остается жестко закрепленной на раме к базовой машине. За счет перемещения выдвигной секции рамы фреза перемещается поперек обочины под дорожное ограждение на расстояние до 1 метра, что позволяет производить очистку пространства под ограждениями и около стоек, а

также производить очистку других препятствий, установленных на дорожной обочине.

Благодаря использованию представленного оборудования обеспечивается очистка и планировка обочин в труднодоступных местах, что позволяет расширить эксплуатационные возможности устройства, при обеспечении тщательной очистки дорожной обочины в зимнее и летнее время.

Список литературы

1. Баловнев В.И., Данилов Р.Г., Савельев А.Г. Машины для содержания городских и автомобильных дорог – Кн. 2: Содержание дорог в зимний период: учеб. пособие для вузов / под общ. ред. В.И. Баловнева. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Техполиграфцентр, 2013. – 343 с.

2. Фрезеровщик дорожных обочин HYDROG SP-1200 [Электронный ресурс]. – URL: <https://hydrog-vostok.ru/production/frezеровschik-obochin.html?ysclid=lu815oq2w5636339110> (дата обращения 18.09.2024).

3. Фреза для обочины дороги ROLMEX SP [Электронный ресурс]. – URL: <https://rolmex.com.ru/product/golova-dlya-kosheniya-sp/?ysclid=lu7zz8bkx8925584164> (дата обращения 18.09.2024).

4. Пат. 2756033 Российская Федерация, МПК E01C 23/088, E02F 3/78, E01H 5/09 Фреза для дорожных обочин/ С.В. Иванов, Н.В.Орлов, А.В.Тупиков, С.Н. Жилин ; заявитель и патентообладатель ООО "Спецдортехника" - № 2021108754; заявл. 30.03.2021; опубл. 24.09.2021, Бюл. № 27.- 14с.:ил.

5.Иванова, К.А. Проблемы содержания дорог в зимнее время / И.Г. Мартюченко, С.В. Иванов // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы (Молодой инженер): Материалы конф. XXVIII междунар. межв. научно-тех. конф./ МГТУ им. Н. Э. Баумана - Москва.- 2024., С.387-391.

УДК 625.768.5

СНЕГОУБОРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ С СОВМЕЩЕННЫМ ФРЕЗЕРНО-РОТОРНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Иванов С.В.^{1,2} Юдаев И.А.^{1,2} Иванова К.А.¹

1. ФГБОУ ВО Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. Россия, г.Саратов

2.ООО Спецдортехника Россия, г.Саратов

Наиболее эффективным процессом уборки снега является одновременная его погрузка или контролируемое отбрасывание в сторону, что возможно при использовании фрезерно-роторных снегоуборщиков. В данной статье приведена конструкция, фрезерно-роторного снегоуборщика с совмещенным рабочим органом.

Ключевые слова: фрезерно-роторный барабан, снег, фрезерные лопатки, отбрасывающие лопатки.

SNOW-REMOVAL EQUIPMENT WITH A COMBINED MILLING-ROTOR WORKING BODY

Ivanov S.V.^{1,2} Yudaev I.A.^{1,2} Ivanova K.A.¹

*1. Saratov state technical University named after Y. A. Gagarin»
Russia, Saratov*

2. OOO Specdortekhnika Russia, Saratov

The most effective process of snow removal is its simultaneous loading or controlled throwing to the side, which is possible when using milling-rotor snow blowers. This article presents the design of a milling-rotor snow blower with a combined working element.

Keywords: milling-rotor drum, snow, milling blades, throwing blades.

Уборка от снежно-ледовой массы, придомовых территорий, городских и пригородных дорог имеет важное значение с точки зрения безопасности дорожного движения и удобства передвижения транспорта. На сегодняшний момент уборка происходит в основном оборудованием отвального типа, смещая его к обочине городской или пригородной дороги или к тротуарам, что приводит к неудобству пешеходам и невозможности парковать транспорт вдоль дорог. Более эффективным процессом уборки является уборка снега с одновременной его погрузкой или отбрасыванием в сторону, что возможно при использовании фрезерно-роторных снегоуборщиков [1,2]. В связи с этим поиск эффективных научно-обоснованных технических решений для выполнения качества данного вида работ является важной задачей.

В рабочий процесс фрезерно-роторного снегоуборочного оборудования входит: фрезерование снежно-ледовой массы от воздействия фрезерных лопаток; перемещение снега к центру врезки в зону отбрасывающих лопаток; отбрасывание снега в сторону или в транспортное средство через направляющий патрубок. На рисунке 1 представлено 3D модель снегоуборочного оборудования с совмещенным фрезерно-роторным барабаном [3], которое состоит из совмещенного фрезерно-роторного барабана, установленного в усиленный корпус. На корпусе установлено поворотное устройство с раскладным отбрасывающим патрубком. Привод рабочего органа снегоуборщика осуществляется от вала отбора мощности (ВОМ)

трактора, через цепную и карданную передачи, а также конический редуктор.

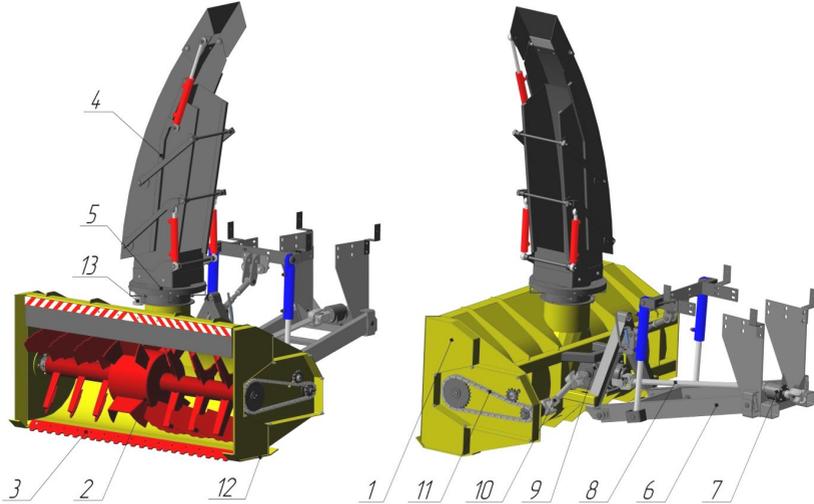


Рис. 1. Снегоуборочное оборудование с совмещенным фрезерно-роторным рабочим органом: 1 – корпус; 2 – фрезерно-роторный барабан; 3 – комплект съемных ножей; 4 – раскладной отбрасывающий патрубков; 5 – поворотное устройство; 6 – универсальная навеска; 7 – промежуточная подшипниковая опора; 8 – карданная передача; 9 – конический редуктор; 10 – карданная передача; 11 – цепная передача; 12 – опорные лыжи; 13 – гидромотор поворотного устройства

Оборудование устанавливается на базовую машину с помощью универсальной навески с нижним подрамником, который позволяет устанавливать сбоку машины дополнительное оборудование, например винтовую фрезу.

Эффективность рабочего процесса снегоуборочного оборудования определяется размерно-геометрическими и конструктивными параметрами фрезерного рабочего органа, а также режимными параметрами, влияющими на производительность оборудования, а именно скорость передвижения машины, частота вращения фрезы.

Были разработаны три конструкции фрезерно-роторных барабанов, которые состоят из фрезерных и отбрасывающих лопаток, установленных на валу (рис.2.).

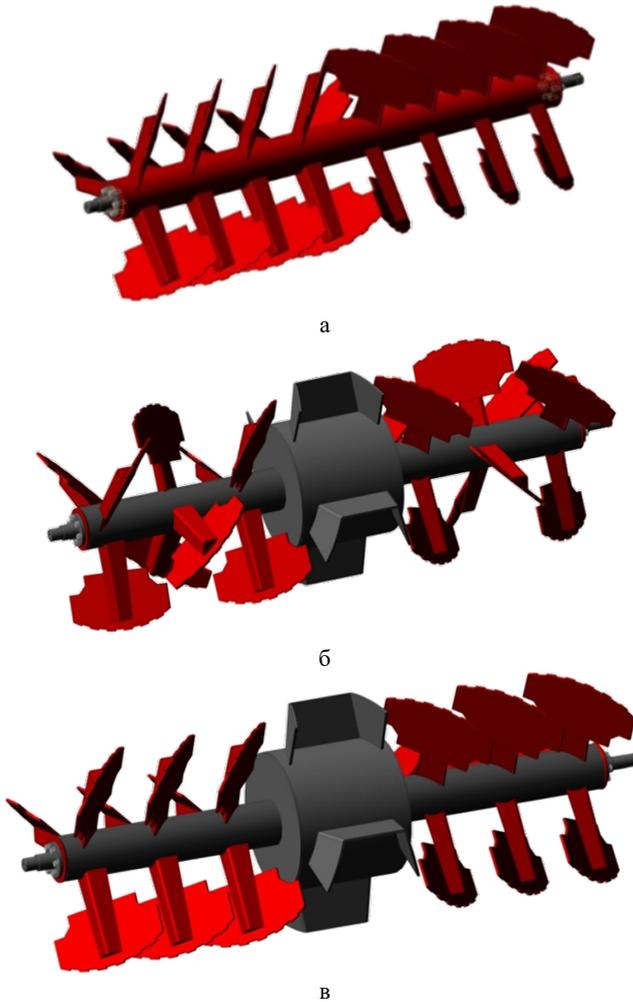


Рис. 2. Конструкции фрезерно-роторных барабанов

Снегоуборочные фрезы (рис.2.) устроены таким образом, что один рабочий орган, выполняет несколько рабочих функций это фрезерование снежно-ледовой масса, перемещение к центру фрезы к отбрасывающим лопаткам и отбрасывание снега в сторону. Первая конструкция более простая (рис.2,а), имеющая гладкий вал с зеркально расположенными кронштейнами с фрезерными лопатками и тремя заходами на валу. Две центральные зеркальные лопатки совмещены, что позволяет им

где: Π – техническая производительность снегоочистителя, т/ч; κ_n – коэффициент наполнения фрезерно-роторного барабана 0,5; κ_r – коэффициент, зависящий от угла внешнего трения снега по стали и угла разгрузки, 0,80...0,85; H_2 – ширина отбрасывающей лопатки, м; $v_{рот}$ – окружная скорость ротора, м/с; $\rho_{сн}$ – плотность снега, кг/м³.

Ширина и длина отбрасывающей лопатки определяется исходя из диаметра фрезерно-роторного барабана:

$$L_2 = D_{\phi} \cdot (0,38 \dots 0,43)$$

$$H_2 = D_{\phi} \cdot (0,18 \dots 0,2)$$

Количество отбрасывающих лопаток исходя из производительности фрезерного питателя, составляет z_2 – 4шт.

Ширина и длина фрезерных лопаток определяется исходя из радиуса фрезерно-роторного барабана:

$$L = D_{\phi} \cdot (0,25 \dots 0,28)$$

$$H = D_{\phi} \cdot (0,46 \dots 0,5)$$

Количество фрезерных лопаток, угол наклона и шаг установки определяется исходя из оптимальной мощности оборудования и осуществления транспортирующей функции к центру фрезы, составляет z_2 – 6 шт с тремя заходами на валу, α – 26...32°, t_n – 230мм.

Диаметр D и ширина b_1 трубы, на которой установлены отбрасывающие лопатки по приведенным зависимостям:

$$D = (D_{\phi} - 2H_2)$$

$$b_1 = (L_2 \cdot 1,15 \dots 1,18)$$

Диаметр вала фрезерно-роторного барабана равен:

$$d = (D_{\phi} \cdot 0,18 \dots 0,2)$$

На основе проведенных исследований были предложены рациональные конструктивные параметры фрезерно-роторного барабана, позволяющие производить эффективный рабочий процесс в снегоуборочном оборудовании.

Список литературы

1. Баловнев, В. И. Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог / В. И. Баловнев, В. И. Мещеряков, М. А. Беляев. – Москва – Омск : ОАО «Омский дом печати», 2005. – 768 с.
2. Довгяло, В. А. Машины и оборудование для содержания автомобильных дорог: учеб. пособие / В. А. Довгяло; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 288 с. ISBN 978-985-468-741-4

3. Фрезерно-роторный снегоуборщик Буран (модификация 3) СДТ 1095.01.00.000 РЭ: руководство по эксплуатации. – Саратов: ООО «Спецдортехника», 2021. – 26с.

УДК 621.926.54

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОТОРНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Качаев А.Е.¹, Орехова Т.Н.², Сивальнева М.Н.², Уральский А.В.²

1. Коломенский институт (филиал) Московского политехнического университета, г. Коломна

2. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Рассмотрен расчет теоретической производительности роторной мельницы оригинальной конструкции с комбинированным воздействием на измельчаемый материал. Представлена методика определения технологических параметров в зависимости от конструктивных и энергетических параметров работы оборудования. Произведен расчет показателя производительности в виде численного его расчета.

Ключевые слова: ротор, мельницы, производительность, частицы, измельчаемый материал.

DETERMINING THE PERFORMANCE OF A ROTARY MILL

Kachaev A.E.¹, Orekhova T.N.², Sivalneva M. N.², Uralsky A.V.²

1. Kolomna Institute (branch) of Moscow Polytechnic University, Kolomna

2. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod

The calculation of the theoretical productivity of a rotary mill of an original design with a combined effect on the crushed material is considered. A methodology for determining technological parameters depending on the design and energy parameters of the equipment is presented. The performance indicator was calculated in the form of its numerical calculation.

Key words: rotor, mills, productivity, particles, crushed material.

Определение производительности роторной мельницы теоретическим путем является вероятностной задачей, процесс измельчения носит стохастический характер, поэтому для получения

реальной производительности требуется проведение экспериментальных исследований, которые позволяют установить закономерности процесса измельчения и параметры, влияющие на гранулометрический состав измельчаемого материала [1].

Тонкость измельчения мельницы определяется рядом факторов, основные из которых: объем помольной камеры мельницы; количество ступеней ротора; угол наклона образующей конуса нижней роторной насадки; угол наклона образующей конуса внутренней гарнитуры; частоты вращения ротора мельницы [2-4].

Изменение количества ударных пластин на ступенях ротора, изменение их относительного угла поворота, частоты вращения ротора мельницы приводит к изменению времени нахождения измельчаемого материала в рабочей камере мельницы, что изменяет скорость движения материала через рабочие сечения мельницы. Таким образом, при минимальном количестве ударных пластин на ступени ротора и нулевым углом относительного поворота их друг от друга и частоте вращения – уменьшается количество зон активного воздействия на измельчаемый материал, что ведет к снижению тонины помола.

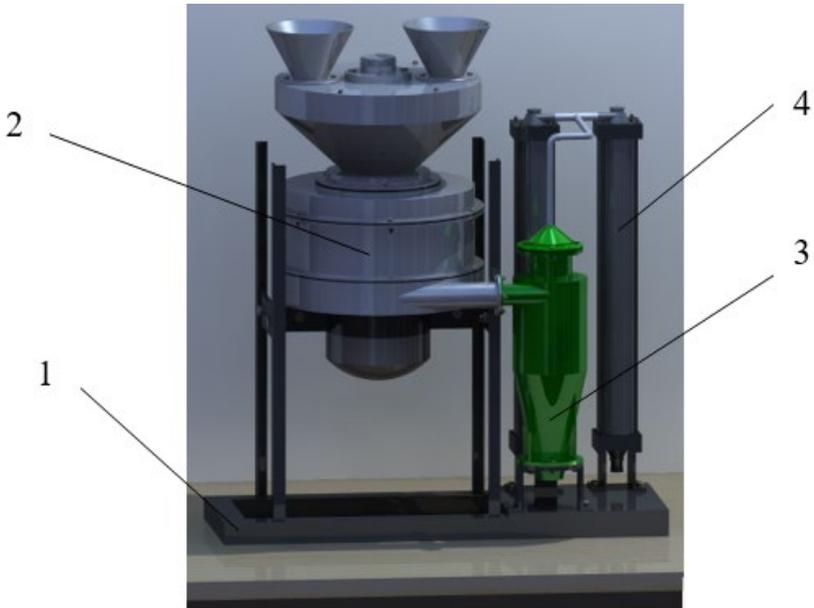


Рис. 1. Помольный комплекс на основе роторной мельницы:
1 – рама; 2 – роторная мельница; 3 – циклон; 4 – батарея рукавных фильтров

Ввиду сложности процессов происходящих в помольной камере, при определении производительности мельницы, были сделаны следующие допущения:

- ударные пластины равномерно расположены по высоте помольной камеры;
- скорости и направления движения всех измельчаемых частиц одинаковы;
- материал совершает равномерное винтовое движение;
- плотность материала по всему объему одинакова;
- аэродинамические процессы, протекающие в мельнице, не учитываются.

Одной из особенностей мельницы является сравнительно большое число переменных параметров, необходимых для настройки на рациональный режим работы: линейная скорость ударных элементов, количество ступеней измельчения, относительного угла поворота пластин друг от друга. Выбор линейной скорости ударных элементов заключается в том, что энергия удара по частице размером d_{\max} должна быть достаточно для его разрушения [5].

На рис. 1 показан опытно-промышленный образец роторной мельницы [1] в составе комплекса с циклоном и рукавными фильтрами. Такой технологический комплекс создан в качестве физической модели агрегата, подтверждающего основные принципы разрушения материалов, заложенные в его конструкции.

При измельчении кварца под действием ударных элементов совершает вращательное движение, т.е. движется по конусообразной винтовой линии к выгрузочному отверстию. Запишем уравнение определяющие шаг винтовой линии [6].

$$H = k \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_H + d_6}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad , \quad (1)$$

где α – угол наклона винтовой линии движения материала, град; k – количество оборотов совершаемых материалом за время нахождения его в рабочей камере; D_H, d_6 – диаметр нижнего и верхнего основания соответственно, м.

Выполнив преобразования, с учетом равномерного движения материала в рабочей камере, запишем уравнение (1) в виде:

$$V = V_M \cdot \operatorname{tg} \alpha = \sqrt{v^2 + \omega^2 \cdot R_{cp}^2} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad , \quad (2)$$

где V_M – линейная скорость материала, м/с; v – скорость, поступательного движения в направлении оси ротора, м/с; ω – угловая скорость вращения вокруг оси вала ротора, рад/с; R_{cp} – средний радиус начала и окончания винтовой линии, м.

Скорость материала V_M и угла наклона винтовой линии α зависят от количества ударных элементов расположенных в поперечном сечении мельницы и линейной скорости ударных элементов, т.к. с изменением количества ударных элементов и линейной скорости ударных элементов изменяются количество и сила ударов на измельчаемые частицы кварца [7]. Количество ударов на частицу материала, зависящие от количества ударных элементов и площади поперечного сечения мельницы, обозначим как количество зон активного воздействия, которое равно отношению общего количества ударных элементов к площади поперечного сечения мельницы.

$$K_Z = \frac{Z \cdot Y}{S} \quad , \quad (3)$$

где Z - количество ударных элементов на ступени ротора, *шт*; Y – количество ступеней измельчения ротора, *шт*; S – площадь поперечного сечения мельницы, m^2 .

$$K_Z = \frac{1 \cdot 5}{0.025} = 200 \quad . \quad (4)$$

Тогда крупность измельчаемого материала (кварца) R , производительность по проходу кварца и энергоёмкость процесса измельчения E будут зависеть от линейной скорости ударных элементов и количества зон активного воздействия [8]:

$$Q, R, E = f(V_n, K_Z) \quad . \quad (5)$$

В зависимости от необходимой энергии удара определяется линейная скорость ударных элементов, что позволяет определить количество зон активного воздействия на обрабатываемый материал. Скорость движения материала через вертикальную ось рабочей камеры мельницы через производительность Q можно определить по формуле (5) [9]:

$$V = \frac{Q}{S \cdot \gamma} \quad , \quad (6)$$

где γ – насыпная плотность материала, $\gamma=1,150 \text{ т/м}^3$; S – площадь сечения мельницы, $S=0.025 \text{ м}^2$.

$$V = \frac{0,023}{0,025 \cdot 1,15} = 0.8 \text{ м/ч} = 2,23 \cdot 10^{-4} \text{ м/с} \quad (7)$$

Анализ конструкции Р-ЦМ с вертикальным расположением ротора, показывает, что при увеличении количество зон активного воздействия и линейной скорости ударных элементов возрастает количество и сила ударов на материал, что увеличивает время нахождения материала в рабочей зоне, а скорость движения материала

через вертикальную ось мельницы уменьшится. Тогда для скорости движения материала через вертикальную ось мельницы при запишем зависимость [10]:

$$V = \frac{K_P}{V_L \cdot K_Z}, \quad (8)$$

где K_P – коэффициент связывающий скорость движения материала с линейной скоростью ударных элементов количество зон активного воздействия на обрабатываемый материал.

Подставив значение скорости движения материала через вертикальную ось мельницы в (7) и выполнив преобразования, определим значение K_P .

$$K_P = V \cdot v_L \cdot K_Z \quad (9)$$

$$K_P = 2,23 \cdot 10^{-4} \cdot 310,25 \cdot 200 = 11,78$$

Подставив значения, $K_P = 11,78 \text{ с}^{-2}$.

Подставив выражение (3) в (7) и выполнив преобразования, получаем формулу для определения скорости движения материала через вертикальную ось Р-ЦМ, м/ч.

$$V = 900 \cdot \frac{K_P \cdot \pi \cdot D_{cp}^2}{V_L \cdot Z \cdot Y}, \quad (10)$$

где D_{cp} – средний диаметр окружности, описываемой ударным элементом, м.

При известной скорости движения материала через вертикальную ось Р-ЦМ при измельчении кварца и объемного веса измельчаемого материала можно определить производительность мельницы. Выразив из (3) Q получаем [9]:

$$Q = V \cdot S \cdot \gamma. \quad (11)$$

Выражение (9) подставляем в (10) и выполнив преобразования получаем формулу для определения производительности при измельчении кварца с в Р-ЦМ.

$$Q = 3,33 \cdot \frac{\pi^2 \cdot D_{cp}^4 \cdot K_P}{V_L \cdot Z \cdot Y} \cdot \gamma, \quad (12)$$

$$Q = 3,33 \cdot \frac{3,14^2 \cdot 0,066^4 \cdot 11,78}{264,17 \cdot 1 \cdot 5} \cdot 1150 = 0,006389 \text{ кг/с} = 23 \text{ кг/ч}$$

Представлена оригинальная конструкция роторной мельницы с комплексным воздействием на измельчаемый материал. Предложена методика расчета производительности роторной мельницы с учетом физико-механических характеристик измельчаемого материала и

конструктивных параметром работы агрегата. Получены численные значения параметров расчета производительности в соответствии с методикой ее определения.

Работа выполнена при поддержке комплексного проекта (Постановление Правительства Российской Федерации № 218) «Создание высокотехнологичной системы подготовки оборотной воды обогатительной фабрики АО «Севералмаз» с переработкой отходов в товарную продукцию» (Соглашение № 075-11-2023-013 от 15.02.2023).

Список литературы

1. Глаголев С.Н., Севостьянов В.С., Гридчин А.М., Лесовик В.С., Королев И.Г., Качаев А.Е., Шенцева М.Е., Орехова Т.Н. Роторная мельница. № RU 2444407 С1. МПК7 В02С 18/08. Заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова". № 2010138884/13. Заявл. 21.09.2010. Оpubл. 10.03.2012.
2. Качанов Л. М. Основы механики разрушения. - М.: Наука, 1974. 312 с.
3. Качаев А. Е. К определению времени удара и мощности дезинтегратора, расходуемой на измельчение при ударном воздействии // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 60-64.
4. Андреев С.Е., Петров В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: Недра.1980. 415 с.
5. Complex modeling of technological processes in pneumatic mixers for production of dry construction mixtures / Т. N. Orekhova, O. A. Nosov, V. S. Prokopenko, A. E. Kachaev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk, 04–06 декабря 2017 года. Vol. 327. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 022084. – DOI 10.1088/1757-899X/327/2/022084.
6. Бонд Ф.С. // Законы дробления. Труды европейского совещания по измельчению. М.: Стройиздат, 1966. С. 195 - 208 с
7. Севостьянов В.С., Качаев А.Е., Бойчук И.П., Кузнецова И.А. /Теоретические исследования процессов в роторной мельнице скombинированным воздействием на измельчаемый материал /Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 9. - С. 122-129.
8. Тейлор Р. Шум / Под ред. М. А. Исаковича. - М.: "Мир", 1978. 308 с.
9. Качаев А. Е., Орехова Т. Н., Севостьянов В. С., Чемеричко Г. И. Исследования производительности дезинтегратора с внутренним рециклом материалов // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях: Материалы международной научно-практической конференции, Белгород, 23–25 сентября 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 151-159.
10. Качаев А.Е. К определению времени удара и мощности дезинтегратора, расходуемой на измельчение при ударном воздействии / Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 60-64.

УДК 621.926.54

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВНУТРЕННЕЙ
КЛАССИФИКАЦИИ ГОТОВОГО ПРОДУКТА
В ДЕЗИНТЕГРАТОРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ**

Качаев А.Е.¹, Орехова Т.Н.², Сивальнева М.Н.²

1. Коломенский институт (филиал) Московского политехнического университета, г. Коломна
2. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

В работе предложен метод оценки процесса классификации тонких частиц в конструкции дезинтегратора с внутренней циркуляцией измельчаемого материала. Качество классификации оценивается с учетом скоростных параметров измельченных частиц в устройстве, встроенном в корпус дезинтегратора. Рассматривается классифицирующее устройство гравитационного типа, которое способствует эффективному возвращению грубых частиц на долом в помольную камеру дезинтегратора. В статье дана методика определения скоростных параметров движения частиц в объеме классифицирующего устройства дезинтегратора.

Ключевые слова: классификация, двухфазный поток, частица, гравитация, степень сепарации.

**MATHEMATICAL MODEL OF INTERNAL CLASSIFICATION OF
FINISHED PRODUCT IN DISINTEGRATOR MILL**

Kachaev A.E.¹, Orekhova T.N.², Sivalneva M. N.²

1. Kolomna Institute (branch) of Moscow Polytechnic University, Kolomna
2. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod

The paper proposes a method for assessing the process of classifying fine particles in a disintegrator design with internal circulation of the crushed material. The quality of classification is assessed taking into account the speed parameters of crushed particles in a device built into the disintegrator body. A gravity-type classifying device is considered, which facilitates the effective return of coarse particles for final grinding in the grinding chamber of the disintegrator. The article provides a method for determining the speed parameters of particle movement in the volume of the disintegrator classifying device.

Key words: classification, two-phase flow, particle, gravity, degree of separation.

Мельницы дезинтеграторного типа широко распространены в промышленности строительных материалов. Однако существует ряд технологических проблем у подобного рода оборудования, одной из которых является наличие недоизмельченных (грубых) частиц в объеме готового продукта заданной фракции. Вместе с тем, необходимо решать проблему получения дисперсных материалов узкого гранулометрического состава без наличия в готовом продукте частиц с диаметром больше критического. Разработанный дезинтегратор с внутренним рециклом измельчаемых материалов [1] позволяет получать дисперсные порошки с узким гранулометрическим составом и отсутствием в их объеме частиц с диаметром больше критического. Рассмотрим конструктивно-технологические особенности классифицирующего устройства гравитационного типа, которым может быть оборудован дезинтегратор любой конструкции.

Принцип работы классификатора дезинтегратора, изображенного на рис. 1, следующий.

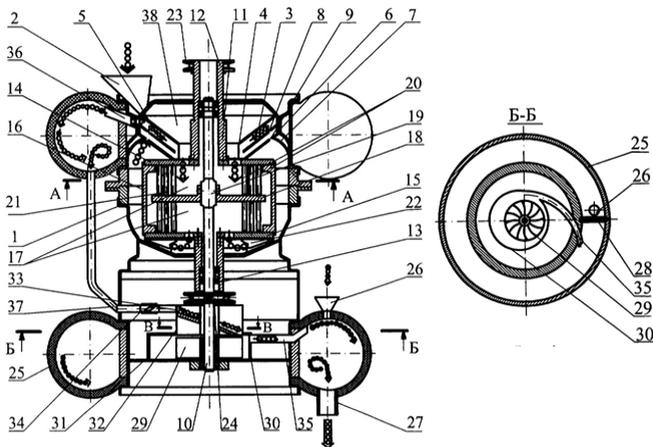


Рис. 1. Дезинтегратор с внутренним рециклом измельчаемых материалов:
 1 - вертикальный корпус; 2 - загрузочная воронка; 3 - верхний загрузочный конус; 4 - направляющее кольцо; 5 - средний конус; 6 - нижний конус; 7 - дугообразный конус; 8, 9 - окна; 10 - внутренний ротор; 11 - наружный ротор; 12 - верхний пустотелый вал; 13 - нижний пустотелый вал; 14 - верхний диск; 15 - нижний диск; 16 - цилиндр; 17 - рабочая зона измельчения (помольная камера); 18 - средний диск; 19 - вал внутреннего ротора;

20 – рабочие элементы, расположенные по концентрическим окружностям;
 21 – рабочие элементы, расположенные по спирали; 22 – крыльчатка
 вентилятора; 23, 24 - шкивы; 25 – торообразная смесительная камера;
 26 – загрузочная воронка; 27 – разгрузочный патрубок; 28 – вертикальная
 перегородка; 28- дугообразная трубка; 29 - вентилятор; 30 – эксцентричный
 корпус; 31 – диск; 32 – приемный стакан; 33 – тангенциальный патрубок;
 34 – шибберная заслонка; 35 – дугообразный патрубок; 36 – патрубок;
 37 – трубопровод; 38– полость.

Твердые частицы, витающие в объеме первой конусной полости классификатора и сползающие по его поверхности после их осаждения, под действием несущего их воздушного потока, образованного крыльчаткой внутреннего ротора, двигаются в фонтанирующем (пульсирующем) потоке: по поверхности конусного классификатора; отрываются от неё и снова переходят в аэрированное состояние. Так происходит процесс разделения частиц в классификаторе по массе (рис. 2).

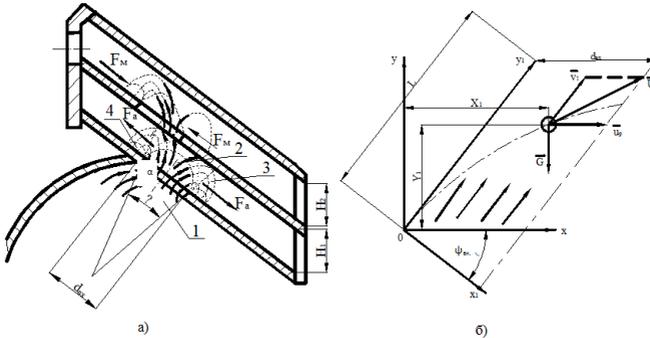


Рис. 2. Расчетная схема для определения параметров классификации частиц в дезинтеграторе: а - схема для определения скоростного режима движения воздушно-материального потока в классификаторе: 1 - ядро фонтанирующего потока; 2 - центральная часть фонтана; 3 – ниспадающая часть фонтана; 4 – зона насыпного кольцевого слоя; б – схема к расчету траекторий перемещения и скоростей частиц в классификаторе.

Частицы двухфазного потока при определенной критической скорости воздуха в объеме конусного классификатора двигаются ускоренно, наиболее тяжелые из них оседают на поверхности классификатора, снова начинают трогаться с его поверхности – витают, а затем, отдаляясь от зоны действия фонтанирующего слоя, скатываются и попадают в загрузочное отверстие с подаваемым в дезинтегратор материалом. Процесс повторяется многократно. При этом, недоизмельченные частицы покидают зону действия фонтанирующего потока, а частицы готового продукта достигают

постоянной скорости $v_k = \text{const}$ и попадают через отверстия во вторую конусную полость классификатора, где процесс по вышеописанной аналогии повторяется [2].

Начальный участок пути 1 при раскрытии фонтана под углом α , где скорость частицы увеличивается в виду уменьшения объема движущегося воздушного потока с v_0 до $v_k = \text{const}$, называется центральным каналом захвата и разгона частиц вертикальным потоком воздуха – ядро фонтанирующего потока. Здесь частицы движутся с ускорением. Далее дисперсные частицы в потоке воздуха попадают в центральную часть фонтана 2, где теряют скорость вертикального перемещения, и переходят в ниспадающую часть фонтана 3. после чего и происходит их оседание на поверхности конуса классификатора – зона кольцевого насыпного слоя 4. На рис. 2,а представлен плоский воздушно-материальный поток, на частицы которого действуют силы тяжести G , аэродинамического сопротивления F_a , подъемная сила $F_{\text{под}}$ и сила межчастичного взаимодействия F_M , равная силе, образованной от градиента давления.

Для нахождения аналитических зависимостей параметров процесса движения, оседания и возможного отрыва частиц от поверхности классификатора допускаем некоторые упрощения. Считаем, что частицы движутся одиночно, имеют шарообразную форму, движение происходит в ограниченном пространстве, а воздушный поток постоянный по скорости и направлению.

Протяженность разгонного участка зависит от аэродинамических свойств частиц, их скорости витания и критической скорости, от параметров воздушного потока, его скорости, плотности и состояния воздуха и материала на поверхности классификатора.

На неподвижную частицу в фонтанирующем слое воздушного потока действует суммарная сила, равная:

$$\sum F = G + F_a + F_{\text{под}} + F_M. \quad (1)$$

Рассмотрим модель классификации частиц в дезинтеграторе (рис. 2,б) в автомоделной области обтекания частицы. Тогда горизонтальная составляющая скорости движения частицы в классификаторе на ось X_1 будет равна:

$$m_p \frac{du_p}{dt} = m_p a - 0,05\pi \cdot \mu \cdot d_{\text{кр}}^2 \cdot \rho_p \cdot u_p^2 + m_p g + V_p \cdot \rho_p \cdot g, \quad (2)$$

где a – ускорение частицы в потоке воздуха, м/с^2 ; m_p – масса частицы материала, кг ; u_p – горизонтальная скорость частицы, м/с ; ρ_p – плотность материала частицы, кг/м^3 ; μ – динамическая вязкость двухфазного потока, $\text{Па}\cdot\text{с}$; V_p – объем частицы, как сферического

целого, m^3 ; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; $d_{кр}$ – критический диаметр частицы, определяемый из выражения [2]:

$$d_{кр} \geq \sqrt{\frac{9\mu \cdot S_{вх} \cdot R_{вх}^2 \cdot j_0}{\pi \cdot R_{вых}^2 \cdot H \cdot \nu_{вх} \cdot (\rho_p - \rho) \cdot \sin^2 \psi_{вх}}}, \quad (3)$$

здесь $S_{вх}$ – площадь входного отверстия классификатора, m^2 ; $R_{вх}$ – радиус входного отверстия классификатора, m ; $R_{вых}$ – радиус выходного отверстия классификатора, m ; H – высота камеры классификатора, m ; $\nu_{вх}$ – скорость воздушно-материального потока на входе в классификатор, m/c ; j_0 – коэффициент геометрического отклонения размеров частицы от сферической формы (коэффициент парусности частицы); ρ – плотность воздуха, $кг/м^3$; $\psi_{вх}$ – угол между осью входного отверстия и направлением движения воздушно-материального потока, град.

Запишем нелинейное уравнение (2) в виде:

$$\frac{du_p}{dt} = A_1^2 - B_1^2 \cdot u_p^2, \quad (4)$$

$$\text{где } A_1^2 = a \cdot (1 - \bar{\rho}); B_1^2 = \frac{0,05\pi \cdot \mu \cdot d_{кр}^2 \cdot P}{m_p}, \quad (5)$$

здесь P – абсолютное статическое давление, $Па$; $\bar{\rho}$ – отношение плотности частицы к плотности потока воздуха.

Интегрируем (4) при начальном условии $u_p(0) = 0$:

$$\int_0^{u_p} \frac{du_p}{A_1^2 - B_1^2 \cdot u_p^2} = \int_0^t dt. \quad (6)$$

Откуда выражение для горизонтальной составляющей скорости примет вид:

$$u_p = \frac{A_1}{B_1} \frac{\exp(2A_1 B_1 t) - 1}{\exp(2A_1 B_1 t) + 1}. \quad (7)$$

Используя подстановку (5) в (7), получим выражение для определения горизонтальной составляющей скорости перемещения частицы в классификаторе дезинтегратора:

$$u_p = \frac{m_p \cdot a \cdot (1 - \bar{\rho})}{0,05\pi \cdot \mu \cdot d_{кр}^2 \cdot P} \cdot \frac{\exp\left(2t \sqrt{a \cdot (1 - \bar{\rho}) \frac{0,05\pi \cdot \mu \cdot d_{кр}^2 \cdot P}{m_p}}\right) - 1}{\exp\left(2t \sqrt{a \cdot (1 - \bar{\rho}) \frac{0,05\pi \cdot \mu \cdot d_{кр}^2 \cdot P}{m_p}}\right) + 1}. \quad (8)$$

Для определения перемещения частицы от центра воздушно-материального потока к периферии по оси X проинтегрируем выражение (8) еще раз. Получим с подстановками (5) при начальном условии $X_1(t) = 0$ при $t = 0$:

$$X_1 = \frac{m_p}{0,05\pi \cdot \mu \cdot d_{кр, P}^2} \cdot \left[\ln \left(1 + \exp 2d_{кр} \cdot t \sqrt{a \cdot (1 - \bar{\rho}) \frac{0,05\pi \cdot \mu \cdot P}{m_p}} \right) - d_{кр} \cdot t \sqrt{a \cdot (1 - \bar{\rho}) \frac{0,05\pi \cdot \mu \cdot P}{m_p}} \right]. \quad (9)$$

Данное выражение получено на основе условия, что частица приходит в движение в объеме фонтанирующего слоя в начале координат (рис. 2,б). Этому пути тяжелой частице достаточно пройти и покинуть активную зону фонтана, чтобы осесть на поверхности классификатора и возвратиться на домол.

В данной модели рассматривается равномерно запыленный одинаковыми частицами поток с концентрацией $C_{вх}$. Если тяжелые частицы под действием силы тяжести G достигают нижней поверхности конуса классификатора, будем считать, что они отделились от воздушно-материального потока. На выходе из нижней полости классификатора высотой $H_1 = f(L(y))$ и входе в другую полость воздушно-материальный поток толщиной Y_1 освободится от тяжелых частиц.

Массовый расход отсепарированных частиц на единицу высоты канала составит [3]:

$$M_Y = C_{вх} \cdot V_L \cdot L, \quad (10)$$

где V_L - скорость частицы вдоль оси отверстия конуса классификатора, зависящая от скорости витания частицы V_B , м/с.

Скорость витания V_B является основной аэродинамической характеристикой частицы и определяется из выражения [4]:

$$V_B = \sqrt{\frac{4 \cdot (\rho_p - \rho) \cdot g \cdot d_{ср}}{3 \rho \cdot C_a}}, \quad (11)$$

где $d_{ср}$ - средний диаметр частиц, м.

С учетом фонтанирующего воздушно-материального потока скорость вертикального перемещения частицы вдоль оси отверстия конуса, на основании работы [4], можно представить в виде эмпирической зависимости, представленной в этой работе:

$$V_L = V_B \sqrt{\frac{S_{Мф}^K \cdot V_M^H}{S_{Мф}^H \cdot V_M^K}}, \quad (12)$$

здесь $S_{Мф}^H$ и $S_{Мф}^K$ - площадь межфазной границы на входе и выходе из полости классификатора, соответственно, m^2 ; V_M^H и V_M^K - объем материала в воздушном потоке на входе и выходе из полости классификатора, соответственно, m^3 .

Для определения вертикального перемещения частицы в воздушно-материальном потоке в классификаторе по оси Y

проинтегрируем выражение (12) по времени t . Получим при начальном условии $Y_i(t) = 0$ при $t = 0$:

$$L(y) = \tau \cdot \sqrt{\frac{4(\rho_p - \rho)g \cdot d_{cp}}{3\rho \cdot C_a} \cdot \frac{S_{мф}^k}{S_{мф}^H} \cdot \frac{V_M^H}{V_M^k}} \quad (13)$$

Полученные выражения (8) (9) и (12) (13) позволяют определить основные параметры движения частиц в классификаторе и необходимы для управления процессом сепарации в агрегате [5]. На основании численных методов анализа полученных выражений можно производить расчеты степени сепарации частиц в классификаторе дезинтегратора по следующей методике.

Так как массовый расход частиц на входе в канал цилиндрической формы определяется выражением:

$$M_{вх} = 2C_{вх} \cdot V_L \cdot R_{вх}, \quad (14)$$

то степень сепарации частиц диаметром $d_{кр}$ из воздушно-материального потока будет определяться по формуле:

$$\eta_d = \frac{M_y}{M_{вх}} = \frac{H}{2R_{вх}} = \frac{H}{D_{вх}}. \quad (15)$$

После подстановки (6) и времени движения в канале $t = \frac{H(L(y))}{V_L}$ степень сепарации частиц в воздушно-материальном потоке, попадающего в классификатор, определится выражением:

$$\eta_d = K_s \left[\frac{\ln(1 + \exp 2S_p \cdot K_s)}{S_p \cdot K_s} - 1 \right], \quad (16)$$

здесь S_p - параметр воздействия потока на частицу, определяемый из выражений, представленных в [6-9]:

$$S_p = \frac{0,05\pi \cdot d_{кр}^2 \cdot \rho \cdot D_{вх}}{m_p}. \quad (17)$$

K_s - коэффициент сепарации при квадратичном законе обтекания частицы, рассчитываемый по формуле [10]:

$$K_s = \sqrt{\frac{(1-\bar{\rho}) \cdot \alpha \cdot H^2}{2S_p \cdot V_L^2 \cdot R_{вх}}}. \quad (18)$$

Так как воздушно-материальный поток в классификаторе содержит частицы разных диаметров, то функцию распределения (проход) можно выразить в следующем виде:

$$\Phi(d_p) = \frac{M_d}{M}, \quad (19)$$

где M_d - массовый расход частиц, кг, равный и меньший $2r_p = d_p$; M - массовый расход всех частиц, кг.

Массовый расход частиц диаметром d_p в пределах отклонения Δd_p при фракционной степени сепарации η_d составит:

$$\Delta M_S = M \cdot \eta_d \frac{d\Phi(d_p)}{dd_p} \Delta d_p. \quad (20)$$

Интегрируя это выражение по всем диаметрам частиц, получим массовый расход отсепарированных частиц M_S . Тогда степень сепарации частиц из воздушно-материального потока в полости классификатора запишется в виде [10]:

$$\eta = \frac{M_S}{M} = \int_0^\infty \eta_d \frac{d\Phi(d_p)}{dd_p} dd_p. \quad (21)$$

Для множества дисперсных пылей справедлив логарифмических закон распределения частиц:

$$\Phi(d_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\tau_1} \exp\left(-\frac{1}{2}\tau_1^2\right) d\tau_1, \quad (22)$$

где $\tau_1 = \frac{\lg\left(\frac{d_p}{d_{50}}\right)}{\lg \sigma}$ аргумент функции распределения: здесь d_{50} - медианный диаметр распределения, при котором масса частиц с $d_p < d_{50}$ равна массе частиц $d_p > d_{50}$; σ - дисперсия, характеризующая среднеквадратичное отклонение.

Тогда с учетом (21) выражение (22) примет вид:

$$\eta = 1 + \Phi(d_p)(\tau_{кр}) + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\tau_{кр}} \eta_d \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\tau_1^2\right) d\tau_{кр}, \quad (23)$$

где $\tau_{кр} = \frac{\lg\left(\frac{d_p}{d_{50}}\right)}{\lg \sigma}$ - критический аргумент функции распределения.

Использование вероятностного выражения (22), которое требует подтверждения экспериментальными данными, позволило получить теоретически уравнение (23), описывающее степень сепарации частиц в классификаторе дезинтегратора. В него входят все параметры, характеризующие этот процесс. Следует также отметить, что полученное выражение (23) в высокой степени коррелируется с экспериментальными данными, полученными путем электронного анализа частиц после помола и классификации в дезинтеграторе.

Выражение (16), а, следовательно, и (23) позволяют определять степень сепарации при воздействии сил различной природы: гравитационных, инерционных, центробежных и др. в рабочем объеме классификатора мельницы, разработанной конструкции.

Таким образом, получены аналитические выражения для определения скоростных параметров частиц в рабочем объеме дезинтегратора, в основе которых лежат конструктивно-технологические параметры классификатора и дезинтегратора, с учетом влияния последнего на процесс классификации в первом. Установлена связь скоростных параметром движения частиц в классификаторе со степенью сепарации тонких частиц в циркуляционных воздушно-материальных потоках дезинтеграторной мельницы.

Работа выполнена при поддержке комплексного проекта (Постановление Правительства Российской Федерации № 218) «Создание высокотехнологичной системы подготовки оборотной воды обогатительной фабрики АО «Севералмаз» с переработкой отходов в товарную продукцию» (Соглашение № 075-11-2023-013 от 15.02.2023).

Список литературы

1. Патент № 2377070 С1 Российская Федерация, МПК В02С 13/22. Дезинтегратор: № 2008118079/03: заявл. 06.05.2008 : опубл. 27.12.2009 / А. М. Гридчин, В. С. Севостьянов, Р. В. Лесовик [и др.]; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова" (БГТУ им. В.Г. Шухова), Общество с ограниченной ответственностью "ТК-РЕЦИКЛ".
2. Качаев А. Е. Дезинтегратор с внутренним рециклом измельчаемых материалов: специальность 05.02.13 "Машины, агрегаты и процессы (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Качаев Александр Евгеньевич. – Белгород, 2013. – 210 с.
3. Краснов, Н.Ф. Аэродинамика / Ч.1. Основы теории. Аэродинамика профиля и крыла / Учебник для ВТУЗов. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1976. – 384 с., ил.
4. Качаев А. Е. Дезинтегратор с ударно-сдвиговым воздействием на измельчаемый материал / А. Е. Качаев, В. С. Севостьянов, И. Г. Королев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 1. – С. 102-105.
5. Complex modeling of technological processes in pneumatic mixers for production of dry construction mixtures / T. N. Orekhova, O. A. Nosov, V. S. Prokopenko, A. E. Kachaev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk, 04–06 декабря 2017 года. Vol. 327. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 022084. – DOI 10.1088/1757-899X/327/2/022084.
6. Севостьянов В. С., Качаев А. Е., Бойчук И. П., Кузнецова И. А. Теоретические исследования процессов в роторной мельнице с комбинированным воздействием на измельчаемый материал // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 9. – С. 122-129. – DOI 10.12737/article_59a93b0aa409c9.96285097.
7. Тимошенко, В.И. Методика экспериментального обоснования технологических параметров аппаратов с применением фонтанирующего слоя / В.И. Тимошенко, Ю.В. Кнышенко, Ю.Г. Ляшенко, А.Е. Дешко, А.В. Осадчий // Журн. Наука та інновації. - 2008. - Т 4. - № 2. - С. 21 – 32.
8. Качаев А. Е. К определению времени удара и мощности дезинтегратора, расходуемой на измельчение при ударном воздействии // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 60-64.

УДК 621.926.54

- ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПНЕВМОСМЕСИТЕЛЕЙ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ
Качаев А.Е.¹, Орехова Т.Н.², Шкарпеткин Е.А.², Сивальнева М.Н.²
1. Коломенский институт (филиал) Московского политехнического
университета, г. Коломна
2. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Многообразие сухих строительных смесей и особенности их получения позволяют установить основные направления совершенствования техники и технологии для их производства. Совершенствование конструкций пневмосмесителей позволяет использовать гибкие технологические приемы для производства широкой номенклатуры сухих смесей. Однако качество получаемых в промышленности смесей остается приоритетным критерием при оценке их технологических свойств.

Поддержание качества производимой продукции возможно при условии адекватного моделирования технологических процессов в пневмосмесителях. При этом важное значение также должно уделяться возможностям энерго- и ресурсосбережения при производстве сухих смесей за счет используемого оборудования и вторичного применения техногенных материалов.

Дифференцированный подход к анализу процессов в камере смешения пневмоагрегатов позволяет установить основные закономерности движения двухфазного потока, характер его крутки и влияния траекторий движения встречных воздушных и воздушно-материальных потоков на качество готовой смеси.

В конструкциях пневмосмесителей используется комплексное вихревое перемешивание компонентов в избытке воздушной фазы (эффект псевдооживления твердой фазы в воздухе), что позволяет осуществлять совмещенный принцип гомогенизации осевого двухфазного потока с вихревым, вихревого – с псевдооживляющим его потоком. Такое комплексное осе-вихревое воздействие на твердые частицы снижает величину времени, необходимого для достижения смеси нужного коэффициента однородности (неоднородности), а, следовательно, снижает суммарный расход энергоносителя на единицу готового продукта.

Ключевые слова: пневмосмеситель; смесительная камера; частица; осевой двухфазный поток; вихревое перемешивание; аэродинамика.

DETERMINATION OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF
CONTINUOUS-ACTION PNEUMATIC MIXERS

Kachaev A.E.¹, Orekhova T.N.², Shkarpetkin E.A.², Sivalneva M.N.

1. Kolomna Institute (branch) of Moscow Polytechnic University,
Kolomna

2. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher
Education Belgorod State Technological University named after V.G.
Shukhov, Belgorod

The variety of dry building mixtures and the features of their production make it possible to establish the main directions for improving the equipment and technology for their production. Improving the designs of pneumatic mixers allows the use of flexible technological methods for the production of a wide range of dry mixtures. However, the quality of mixtures obtained in industry remains a priority criterion when assessing their technological properties.

Maintaining the quality of manufactured products is possible subject to adequate modeling of technological processes in pneumatic mixers. At the same time, great importance should also be given to the possibilities of energy and resource saving in the production of dry mixtures due to the equipment used and the secondary use of man-made materials.

A differentiated approach to the analysis of processes in the mixing chamber of pneumatic units allows us to establish the basic patterns of movement of a two-phase flow, the nature of its twist and the influence of the trajectories of oncoming air and air-material flows on the quality of the finished mixture.

The designs of pneumatic mixers use complex vortex mixing of components in an excess of the air phase (the effect of fluidization of the solid phase in air), which allows for the combined principle of homogenization of an axial two-phase flow with a vortex, and a vortex with a fluidizing flow. Such a complex axial-vortex effect on solid particles reduces the amount of time required for the mixture to achieve the desired coefficient of homogeneity (heterogeneity), and, consequently, reduces the total energy consumption per unit of the finished product.

Key words: pneumatic mixer; mixing chamber; particle; axial two-phase flow; vortex mixing; aerodynamics.

Современное состояние отрасли производства строительных материалов указывает на рост объемов выпуска широкой номенклатуры сухих строительных смесей (ССС). Техническое обеспечение производств по выпуску СССР совершенствуется: на смену смесителям

периодического действия приходят пневмосмесители с непрерывной разгрузкой готового продукта, пневмосмесители с псевдоожижение двухфазного потока и др. [1-2].

Разновидности ССС подразумевают и требуют от производственных мощностей прежде всего гибкости и технологичности (возможности быстрой переналадки переделов под той или иной тип выпускаемой смеси). Во всем многообразии ССС по-прежнему важным критерием остается качество смеси и энерго-ресурсные показатели работы производства.

Основные тренды в направлении развития техники и технологии перемешивания компонентов ССС определяются из достижений в области строительного материаловедения. Показатели качества ССС сводятся к оптимальному для той или иной смеси коэффициенту однородности (или при другом подходе - неоднородности), к низкой слеживаемости смеси при хранении и транспортировке, к дезагрегации частиц компонентов при производстве продукта и др. [3].

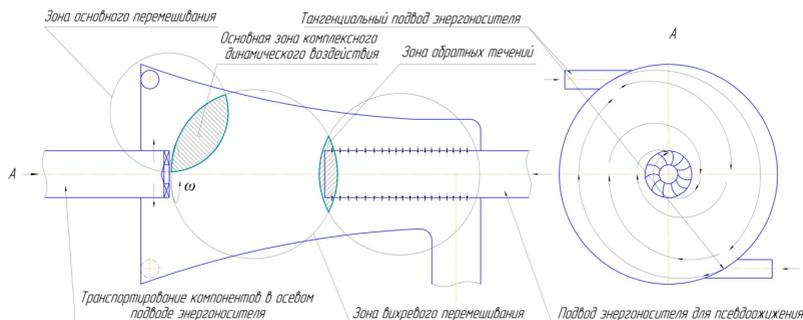


Рис. 1. Схема дифференцирования комплексного моделирования воздушных и воздушно-материальных потоков

Все вышеуказанные критерии и технологические свойства смесей оказывают влияние на особенности конструкции того или иного смесителя. Так, например, для легких ССС (теплоизоляционные) необходимо специальное сочетание воздушных и воздушно-материальных потоков, что приведет к должному перемешиванию легких или волокнистых материалов с тяжелыми вязкими компонентами; для тяжелых ССС должны быть найдены свои необходимые конструктивные особенности пневмосмесителей; для особотяжелых – свои, и др. Иными словами – необходимо проводить подбор смесителя для конкретной смеси или проектировать

конструкции комбинированного типа для расширения технологических возможностей перемешивающих агрегатов.

Для легких, тяжелых, осеботяжелых ССС могут активно использоваться пневмосмесители непрерывного действия. Их аэродинамические особенности, обусловленные конструктивным исполнением, позволяют в должной мере эффективно перемешивать компоненты с различной насыпной плотностью: легкий перлит с цементом, базальтовое волокно с известью и гипсом, микрокремнезем с полимерами и др. [4].

Главными достоинствами таких агрегатов являются непрерывность производственного цикла и высокое качество продукции.

Рассмотрим аэродинамические возможности смесительных камер следующих конструкций пневмосмесителей [1, 2]. Математическая модель двухфазного потока представлена в [5] на основании [6, 7] с учетом [8]. Схема дифференцирования комплексного моделирования воздушных и воздушно-материальных потоков представлена на рис. 1.

На рис. 2 приведена расчетная модель пневмосмесителя.

Зачастую сложное математическое описание процессов перемешивания моделируется в программах, определяющих их адекватность. Аэродинамические особенности [1-3, 5] после математического моделирования определялись с помощью пакета программ FlowSimulation SolidWorks 2020, что подтверждает результаты теоретического исследования процессов в камере перемешивания пневмосмесителей.

Аэродинамика двухфазного потока в разгонном узле пневмосмесителя может быть описана различными решениями выражений, основанных на уравнениях Навье-Стокса или Ньютона [9]. Так, например, определить скоростные параметры двухфазного потока можно численным моделированием следующих уравнений системы:

$$\begin{aligned}
 \text{ось } z: \quad & \rho \frac{\partial w_z}{\partial t} = -\frac{\partial P}{\partial z} - \rho g + \mu \left(\frac{\partial^2 w_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \right) \\
 \text{ось } x: \quad & \rho \frac{\partial w_x}{\partial t} = -\frac{\partial P}{\partial x} - \rho g + \mu \left(\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2} \right) \\
 \text{ось } y: \quad & \rho \frac{\partial w_y}{\partial t} = -\frac{\partial P}{\partial y} - \rho g + \mu \left(\frac{\partial^2 w_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_y}{\partial z^2} \right),
 \end{aligned} \tag{1}$$

где ρ - плотность частиц твердой фазы, $кг/м^3$; w_z, w_x, w_y - составляющие абсолютной скорости частиц в потоке, $м/с^2$; P - давление, создаваемое в потоке при перемещении твердой фазы, $Па$; g - ускорение свободного падения, $м/с^2$; t - время, $с$; x, y, z - декартовы координаты, принятые в расчете (геометрические параметры пневмосмесителя), $м$; μ - динамическая вязкость двухфазного потока, $м^2/с$.

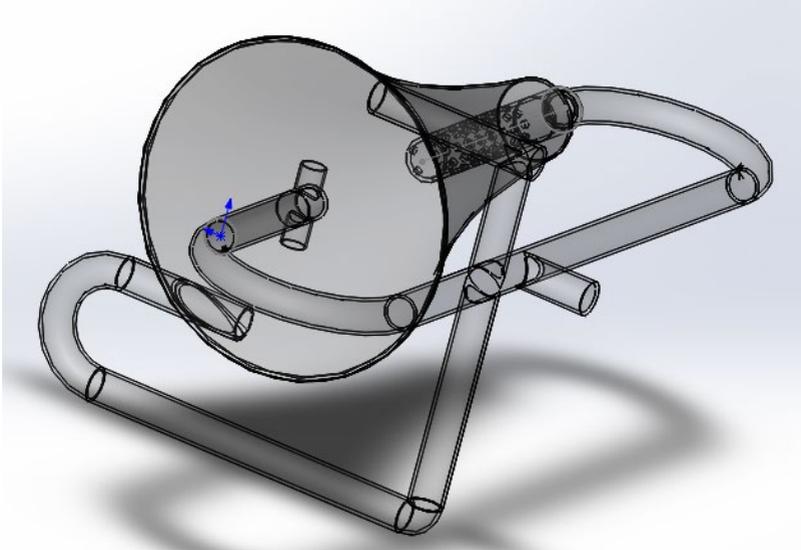


Рис. 2. Расчетная модель пневмосмесителя.

Характер величин, входящих в уравнение (1), определяет специфику движения частиц в объеме энергоносителя. Системный подход к дифференцированному описанию отдельных показателей уравнений (1) позволяет определить оптимальные размеры смесительной камеры.

Более подробное описание движения двухфазного потока в разгонном узле пневмосмесителя можно изучить в работе [10].

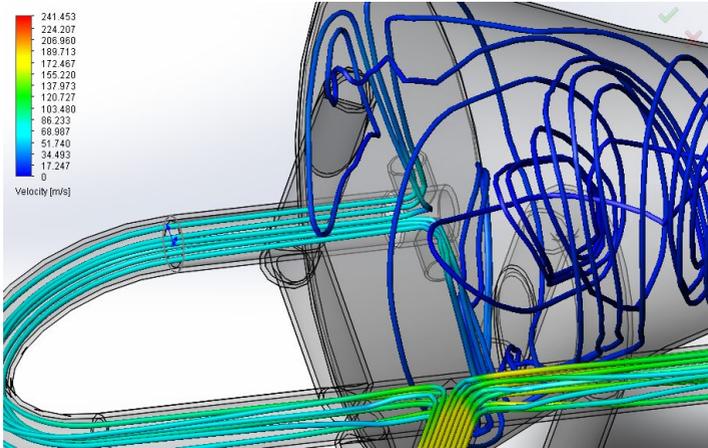


Рис. 3. Траектории двухфазного потока в разгонном узле.

Динамика двухфазного потока в разгонном узле (рис. 3) позволяет смешать компоненты всего лишь на 10-15% от необходимого коэффициента однородности. Следовательно, целесообразно использовать осевой турбулентный поток для преобразования его в вихревой.

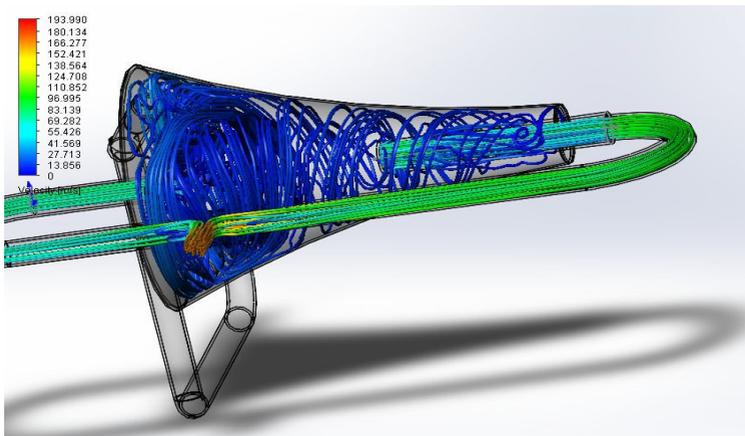


Рис. 4. Движение двухфазного потока в зоне основного перемешивания.

Так конструкция пневмосмесителей [1-2] располагает ротационным распределителем с конусом-рассекателем, который преобразует осевой поток в радиальный для дальнейшей его

интенсификации в струях вихревого потока, полученного в результате дополнительного подвода энергоносителя с периферии смесительной камеры (рис. 1 – зона основного перемешивания). В этой зоне наблюдается следующий скоростной режим (рис. 4). Средняя скорость в разгонном узле равна 62 м/с, что достаточно для эффективного разгона смеси и мала для разрушения частиц в его цилиндрическом объеме. Средняя скорость в зоне основного перемешивания составляет 32 м/с.

При этом поток частиц в воздушной среде их радиального трансформируется в противоточный вихревой поток (рис. 1 – зона вихревого перемешивания). Наблюдается стационарное вихревое движение частиц в потоке энергоносителя, составляющие скорости частиц при этом могут быть определены в соответствии с результатами работы [12] по уравнениям:

- радиальная:

$$\bar{v} = \frac{t[\rho_p(\bar{w}_p^2 - \bar{\lambda}\bar{v}_p\bar{r}) - p]}{\bar{r}\rho_p(1 - \bar{\lambda}t)}, \quad (2)$$

- окружная:

$$\bar{w} = \frac{\bar{w}_p t [(\bar{v}_p - \bar{\lambda}\bar{r}) - p]}{\bar{r}(1 - \bar{\lambda}t)}, \quad (3)$$

- осевая:

$$\bar{u} = \frac{t\left(\bar{\lambda}\bar{v}_p + \frac{p}{\rho_p z}\right)}{(1 - \bar{\lambda}t)}, \quad (4)$$

где \bar{v} , \bar{w} , \bar{u} – осредненные значения радиальной, окружной, осевой скоростей несущей фазы в потоке при вихревом движении смеси в смесительной камере агрегата, м/с; $\bar{\lambda}$ – безразмерная величина, равная $\bar{\lambda} = \frac{1}{\tau}$; τ – время релаксации частицы, с; p – давление в потоке, Па; \bar{r} – средний радиус смесительной камеры, м; ρ_p – плотность частиц твердой фазы, кг/м³; z – вертикальная координата положения частицы в вихре, м; \bar{v}_p – средняя радиальная скорость частицы в потоке энергоносителя, м/с; \bar{w}_p – средняя окружная скорость частицы в потоке энергоносителя, м/с.

Относительный объем смесительной камеры, образованный смешным существованием зон основного и вихревого перемешивания, позволяет за счет комплексного динамического воздействия энергоносителя поддерживать частицы компонентов в отдельности, тем

самым равномерным образом распределяя частицы отдельных компонентов в этом относительном объеме (рис. 5).

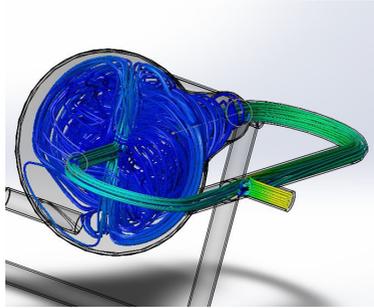


Рис. 5. Распределение двухфазного потока в объеме смесительной камеры

В виду того, что пневмосмесители имеют рядом с разгрузочным патрубком узел подвода энергоносителя для псевдоожижения смеси, в смесительной камере агрегата образуются обратные течения (рис. 1 – зона обратных течений). Данное явление оказывает положительное влияние на качество смеси, так как увеличивает время пребывания относительного ее объема в зоне вихревого перемешивания. Однако, следует отметить, что обратные течения негативно влияют на производительность агрегата, снижая в целом ее показатель на 5-8%.

Аэродинамика узла псевдоожижения представлена на рис. 6.

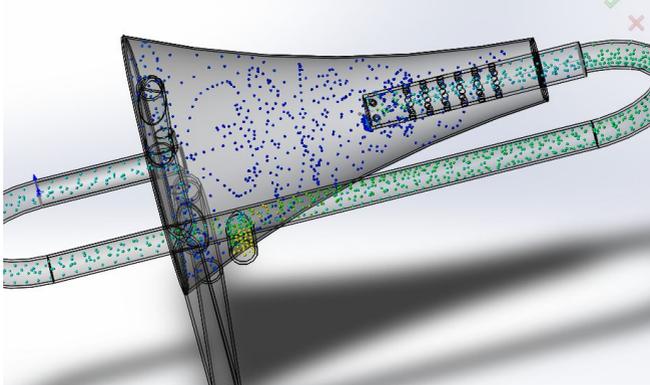


Рис. 6. Аэродинамика воздушного потока в зоне псевдоожижения смеси

При определении технологических режимов работы пневмосмесителей во всех их конструкциях очень важно учитывать тот факт, что скорости движения частиц зависят от скоростей несущей

фазы. Важно, чтобы внутри смесительной камеры не проходил в активной фазе процесс измельчения частиц. Для этого необходимо проводить аэродинамические расчеты и научные исследования течений в смесительных камерах агрегатов подобного типа, зачастую, прибегая к возможностям современных программных продуктов, позволяющих оценивать скоростные параметры двухфазных потоков на различных участках смесительных камер.

Условие неразрушения частиц при их гомогенизации в смесительной камере пневмосмесителей разработанных конструкций можно представить следующим образом:

$$\sigma_{\text{дин}} < 0,7[\sigma]_p, \quad (5)$$

где $\sigma_{\text{дин}}$ - напряжения в частицах при движении и их взаимном столкновении в потоке энергоносителя, Pa ; $[\sigma]_p$ – напряжения в частицах, необходимые для их разрушения, Pa . Коэффициент 0,7 использован в виду того, что при больших его значениях в соответствии с теорией Гриффитса в частицах начинают образовываться трещины, предвещающие дальнейшее разрушение частиц при меньших значениях величины $[\sigma]_p$.

С помощью математического и компьютерного моделирования аэродинамических особенностей смесительных камер пневмосмесителей установлены оптимальные скоростные режимы движения двухфазных потоков в них; определены зоны, влияющие на качество и характер движения частиц различных компонентов в избытке энергоносителя; установлен критерий, по которому можно подобрать режим движения смеси в смесительной камере из условия неразрушения отдельных частиц ее компонентов. Установлен оптимальный скоростной режим движения двухфазного потока в каждой зоне смесительной камеры.

Работа выполнена при поддержке комплексного проекта (Постановление Правительства Российской Федерации № 218) «Создание высокотехнологичной системы подготовки оборотной воды обогатительной фабрики АО «Севералмаз» с переработкой отходов в товарную продукцию» (Соглашение № 075-11-2023-013 от 15.02.2023).

Список литературы

1. Патент на полезную модель № 115682 U1 Российская Федерация, МПК В01F 5/00. Пневмосмеситель многокомпонентных сухих строительных смесей. № 2011151913/05: заявл. 19.12.2011: опубл. 10.05.2012 / Т. Н. Орехова, В. А. Уваров, С. И. Гордеев, А. Е. Качаев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова".

2. Патент на полезную модель № 141488 U1 Российская Федерация, МПК В01F 5/00. противоточный пневмосмеситель для производства дисперсно-армированных смесей: № 2013159013/05: заявл. 30.12.2013: опубл. 10.06.2014 / Т. Н. Орехова, В. А. Уваров, С. В. Клюев, А. Е. Качаев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова".
3. Complex modeling of technological processes in pneumatic mixers for production of dry construction mixtures / Т. N. Orekhova, O. A. Nosov, V. S. Prokopenko, A. E. Kachaev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk, 04–06 декабря 2017 года. Vol. 327. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 022084. – DOI 10.1088/1757-899X/327/2/022084.
4. Уваров В.А. Теория и расчет пневмосмесителей непрерывного действия [Текст] / Т.Н. Орехова, В.А. Уваров – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – 114 с.
5. The rotating layer mechanics of polydisperse particles in the continuous action pneumatic mixers / Т. N. Orekhova, V. S. Prokopenko, V. V. Okushko, A. E. Kachaev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Kislovodsk, 01–05 октября 2019 года. Vol. 698(2). – Kislovodsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 022023. – DOI 10.1088/1757-899X/698/2/022023.
6. Несмеянов Н.П., Богданов В.С., Бражник Ю.В., Горшков П.С. Повышение качества сухих цементных смесей на основе применения цемента с заданными свойствами //Материалы межвуз. сб. статей. Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Белгород, 2012. Вып. XI. С. 61-62.
7. Бунин М.В. О закономерностях принудительного смесеобразования, как экстремали процесса // Горные, строительные и дорожные машины. Киев: Техника. Вып. 6. 1968. С.116 – 120.
8. Севостьянов В.С., Качаев А.Е., Бойчук И.П., Кузнецова И.А. /Теоретические исследования процессов в роторной мельнице скомбинированным воздействием на измельчаемый материал /Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 9. - С. 122-129.
9. Качаев А. Е., Орехова Т. Н., Окушко В. В., Шестаков Ю. Г. Механика взвешенного слоя с полидисперсными частицами в пневмосмесителях непрерывного действия // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 3. – С. 121-127. – DOI 10.34031/2071-7318-2020-5-3-121-127.
10. Качаев, А. Е., Орехова Т. Н. Описание вихревого движения двухфазного потока в пневмосмесителе непрерывного действия // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 5. – С. 121-125. – DOI 10.12737/article_590878fb7932c3.02818288.
11. Механизация транспортных процессов в дорожном строительстве: Учебное пособие / А. А. Романович, В. А. Уваров, Т. Н. Орехова [и др.]. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – 134 с. – ISBN 978-5-361-01169-8.

УДК 629.926

КОНСТРУКТИВНОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ
ЦЕПНЫХ ГРОХОТОВ

**Кузьменкова М.С.¹, Сиваченко Л.А.², Харитонов Ю.М.²,
Стрельцов В.Н.²**

1. УО Барановичский государственный университет, г. Барановичи

2. ГУВПО Белорусско-Российский университет, г. Могилев

В статье описана конструкция волнового грохота с цепной просеивающей поверхностью, колебательные движения которой осуществляются путем возвратно-поступательных перемещений нижней провисающей части с помощью толкающей планки. Такое техническое решение позволяет упростить конструкцию грохота, повысить его эксплуатационную производительность и снизить издержки на обслуживание и ремонт.

Ключевые слова: цепной грохот, волновая просеивающая поверхность, рабочее оборудование, интенсификаторы процесса, перерабатываемая среда, эффективность грохочения.

DESIGN IMPROVEMENT OF WAVE CHAIN SCREENS

Kuzmenkova M.S.¹, Sivachenko L.A.², Kharitonov Yu.M.², Streltsov V.N.²

1. Baranovich State University, Baranovichy

2. Belarusian-Russian University, Mogilev

The article describes the design of a wave screen with a chain screening surface, the oscillatory movements of which are carried out by reciprocating movements of the lower sagging part using a pushing bar. This technical solution allows to simplify the design of the screen, increase its operational productivity and reduce the costs of maintenance and repairs.

Keywords: chain screen, wave screening surface, working equipment, process intensifiers, processed medium, screening efficiency.

Важным технологическим процессом, выполняемым во многих отраслях промышленности является разделение материалов по крупности называемый грохочение, которое может быть, как самостоятельным процессом, который называется сортировка, так и вспомогательным - классификацией. Потребность перерабатывать огромное количество различных материалов требует развития направления по созданию новых видов оборудования, предназначенного для грохочения.

Концепция разработанного оборудования основана на использовании рабочих камер технологических аппаратов, выполненных в виде кинематически деформируемых цепных полотен, элементы которых способны воздействовать на перерабатываемую среду с максимальной адаптивностью при. Разработанный грохот предназначен для разделения широкого спектра материалов, нейтральных к материалу установки, на крупную, среднюю, мелкую фракции.

Волновой цепной грохот (рис. 1.) содержит раму 1 с установленным на ней приводом 2, просеивающую поверхность, выполненную в виде дугообразного цепного полотна 3, в своей нижней части снабжено неподвижно закрепленной на нем толкающей планкой 4 для передачи ему возвратно-поступательных движений посредством кривошипно-шатунного (кулисного) механизма 5.

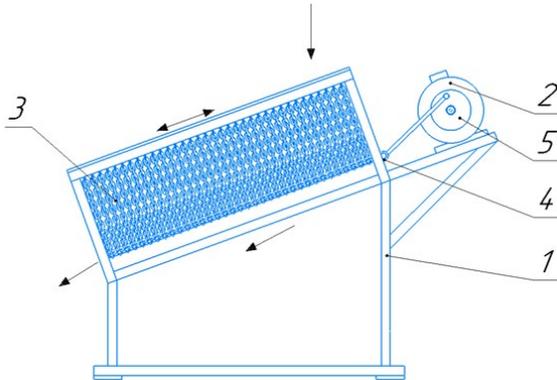


Рис. 1. Конструктивная схема волнового цепного грохота

Рабочий процесс грохота волнового осуществляется следующим образом. Включается приводной электродвигатель, установленный на раме и с помощью кривошипно-шатунного механизма сообщает сложные возвратно-поступательные движения перемещения толкающей планки от которой они передаются непосредственно продольной оси дугообразного цепного полотна по которому распространяются в виде волн его деформации. Подаваемый исходный материал попадает в верхнюю часть дугообразного цепного полотна и приводится в интенсивные продольные перемещения посредством толкающей планки, один из концов которой шарнирно связан с приводом таким образом, что ось шатуна совпадает с ее продольной осью, а вследствие угла наклона просеивающей поверхности

происходит его движение вниз по просеивающей поверхности цепного полотна. Частицы материала, получив интенсивный импульс движения, встречаются с рабочей поверхностью цепного полотна, где через отверстия частицы, которые меньше их по размерам, отсеиваются, оставшиеся крупные частицы превышающие отверстия проходят вдоль просеивающей поверхности в конец рабочей камеры и выходят из агрегата. Опытный образец волнового цепного грохота представлен на рис. 2.



Рис. 2. Опытный образец волнового цепного грохота

Конструкция представленного волнового цепного грохота позволяет улучшить качество грохочения, способна перерабатывать тяжелые материалы крупностью до 200 мм и повысить износостойкость за счет уменьшения времени нахождения продукта на просеивающей поверхности. Использование волновой цепной просеивающей поверхности является эффективным решением в случаях, когда перерабатываемая среда, характеризуется неоднородностью и сложностью состава, так как способствует исключению забивания просеивающей поверхности и заклинивания в отверстиях крупных кусков.

Практическое использование разработанного грохота позволит получить экономический эффект вследствие увеличения эксплуатационной производительности и снижения издержек на обслуживание.

Усовершенствованный волновой цепной грохот для увеличения производительности имеет рабочее оборудование, снабженное, по меньшей мере, двумя дугообразными цепными полотнами 3, установленными параллельно между собой и соединенными с единым приводом для обеспечения их синхронного перемещения (рис. 3.), что позволяет эффективно использовать такую установку для решения различных технологических задач, причем в таком исполнении она может успешно работать под завалом.

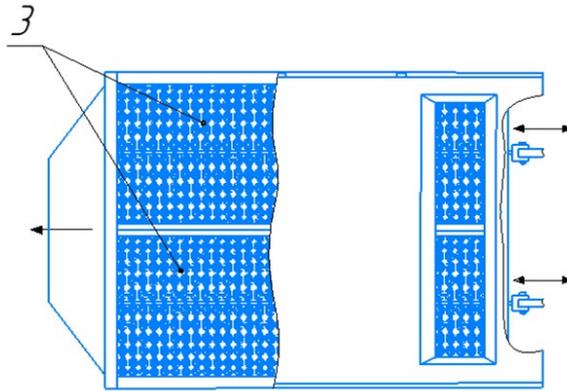


Рис. 3. Усовершенствованный волновой цепной грохот, вид сверху

Интенсификация процесса обработки материала с целью повышения эффективности и улучшения грохочения достигается путем оснащения рабочей камеры устройством для равномерного распределения материала по просеивающей поверхности, которое выполнено в виде установленного параллельно центральной оси над рабочей камерой вала с лопастями – ворошителями 6 расположенными между валом и толкающей планкой цепного полотна, причем вал связан с кривошипно-шатунным приводным механизмом, обеспечивающим его возвратно-поворотные движения на угол не более 90° в каждую сторону от центра рабочей камеры, траектория движения крайних консольных частей эквидистантна просеивающей поверхности цепного полотна. Также для исключения непреднамеренного уплотнения (склеивания) частиц и увеличения эффективности переработки материала, подверженного комкованию, предусмотрена интенсификация процесса способом рыхления за счет установки вдоль толкающей планки в нижней части провисания рабочей камеры зубьев

7, расположенных на ее внутренней поверхности и монтируемых на толкающей штанге. Конструкция усовершенствованного волнового цепного грохота (вид спереди) с добавлением интенсифицирующих устройств представлена на рис. 4.

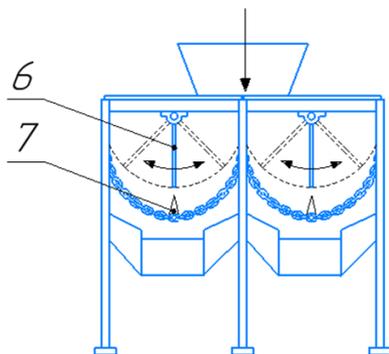


Рис. 4. Усовершенствованный волновой цепной грохот, вид спереди

Представленное усовершенствованное оборудование может быть использовано как часть существующей технологической линии или послужить основой для создания чего-то принципиально нового. В первом случае один вид оборудования просто заменяется другим, во втором - разрабатывается производственное оборудование с улучшенными техническими характеристиками и эффективностью.

Список литературы

1. Сиваченко Л.А., Харитонов Ю.М., Стрельцов В.Н., Кузьменкова М.С. Грохот волновой с цепной просеивающей поверхностью/ Л.А. Сиваченко, Ю.М. Харитонов, В.Н. Стрельцов, М.С. Кузьменкова // Межвузовский сборник статей энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов, — Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023 — С. 309-314.
2. Сиваченко Л.А., Потапов В.А., Кузьменкова М.С. Многоцелевые технологические аппараты с гибким волновым рабочим оборудованием // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 9. С. 88–98. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-88-98.
3. Интенсификация технологических процессов в аппаратах адаптивного действия: коллектив. монография / Л.А. Сиваченко [и др.]: под науч. ред. Л.А. Сиваченко; М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. — Барановичи: БарГУ, 2020. — 359 с.
4. Сиваченко Л.А. Технологические аппараты адаптивного действия / Л.А. Сиваченко [и др.]: монография. – Минск.: Изд.центр БГУ. 2009. – 375 с.

УДК 621.01

**АНАЛИЗ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ИНСТРУМЕНТА
ИЗГОТОВЛЕННОГО ПО МЕТАЛЛОКОМПОЗИТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

Любимый Н.С.¹, Авдеев Д.И.¹, Быценко М.В.¹, Грибеников А.Е.¹

*1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

Целью работы является анализ конкурентоспособности создаваемого инновационного продукта и технологии его производства - композитного металло-металлополимерного металлорежущего инструмента, характеризующегося высокой эффективностью и низкой себестоимостью. Высокая эффективность инструмента будет достигнута за счет использования аддитивной печати, позволяющей изготавливать сложные формы внутренних полостей, как для заливки жидкого металлополимера, так и для формирования профиля охлаждающих каналов, что невозможно получить с помощью механических методов обработки. Изготовление композитного корпуса, то есть внешней металлической оболочки, заполненной прочным металлополимером, позволит сократить объемы 3D-печати, тем самым снизив себестоимость производства. Целями проекта является разработка конструкции композитного корпуса, которая обеспечивала бы достаточную прочность инструмента в эксплуатации и возможность заполнения внутренних полостей металлополимером. Представленный анализ бизнес-модели показал, что изготовление металлокомпозитного инструмента (МКИ) является коммерчески высокоэффективным решением.

Ключевые слова: инструмент, сверло, композит, себестоимость.

**ANALYSIS OF COMPETITIVENESS OF TOOLS MADE USING
METAL-COMPOSITE TECHNOLOGY**

Lubimyi N.S.¹, Avdeev D.I.¹, Bytchenko M.V.¹, Gribenikov A.E.¹

*1. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov,
Belgorod*

The aim of the work is to analyze the competitiveness of the created innovative product and the technology of its production - a composite metal-metal-polymer metal-cutting tool, characterized by high efficiency and low cost. High efficiency of the tool will be achieved through the use of additive printing, which allows the production of complex shapes of internal cavities, both for pouring liquid metal-polymer and for forming the profile of cooling channels, which is impossible to obtain using mechanical processing methods. The production of a composite case, that is, an external metal shell

filled with a durable metal-polymer, will reduce the volume of 3D printing, thereby reducing the cost of production. The objectives of the project are to develop a composite case design that would ensure sufficient strength of the tool in operation and the ability to fill the internal cavities with a metal-polymer. The presented analysis of the business model showed that the production of a metal-composite tool (MCT) is a commercially highly effective solution.

Key words: tool, drill, composite, cost price.

В настоящее время разрабатываются конструкция и технология изготовления композиционного металло-металло-полимерного металлорежущего инструмента (МРИ) [1-7], который отличается высокой эффективностью и низкой стоимостью. Высокая эффективность обеспечивается возможностью изготовления криволинейных каналов охлаждения. Изготовление композитного корпуса, т.е. внешней металлической оболочки, заполненной прочным металлополимером, позволит сократить объем 3D-печати, тем самым снизив себестоимость изготовления. К задачам, решаемым в проекте, относятся:

- разработка такой конструкции композитного корпуса, которая обеспечивала бы достаточную прочность инструмента в процессе эксплуатации и возможность заполнения внутренних полостей металлополимером;
- проведение расчетов по топологической оптимизации формы корпуса инструмента;
- разработка литейной оснастки для заливки металлополимера;
- определение технологических режимов заливки металлополимера в форму;
- разработка технологического процесса финишной обработки композиционной заготовки. У производителя имеется технология изготовления составной конструкции металлорежущего инструмента (МРИ), на основе которой по заявке предприятий-заказчиков будет рассчитана и изготовлена заготовка корпуса сборных МРИ. То есть изделием на первом этапе будет являться составная заготовка корпуса МРИ (рис. 1), состоящая из металлической оболочки (корпуса), имеющей полость для заливки жидкого металлополимера, а также имеющая профильные, криволинейные каналы охлаждения, характеризующаяся повышенным расходом смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), что обеспечит эффективное охлаждение зоны резания. Корпус инструмента предусматривает полости для заливки прочного металлополимера, что позволяет

обеспечить заданную прочность и сократить объем дорогостоящей печати. Так же металлический корпус предусматривает необходимые припуски для обработки технологических поверхностей, таких как посадочные плоскости для твёрдосплавных пластин, поверхности хвостовиков и т.п. В лаборатории разработано, изготовлено и апробировано виброввакуумное устройство для изготовления композитных деталей [2].

На производственных мощностях партнерская композитная заготовка МИ будет подвергаться окончательной обработке рабочих поверхностей. Затем будет произведено дооснащение композитного корпуса твёрдосплавными пластинами, после чего заказчику будет предоставлен готовый композитный корпусной инструмент.

Корпус композитного сборного металлорежущего инструмента (сверло, фреза) будет соблюдать следующие условия:

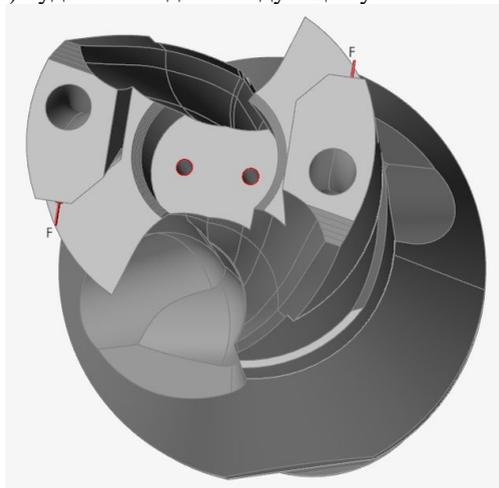


Рис. 1. Корпус металлокомпозитного металлорежущего инструмента

- Наличие возможности исполнения криволинейных каналов охлаждения (улучшается подвод СОТС в зоне резания, предусмотренная эффективность охлаждения);

- площадь выполнения поперечного сечения канала охлаждения на 30% больше классической технологии изготовления методов сверления, за счет возможности формы сечения криволинейной формы (некруглой), позволяет использовать инструмент на широком спектре станков, не известных высокопроизводительных методов прокатки СОТС, при обеспечении эффективного охлаждения;

- Возможность быстрого изготовления корпуса по требованиям заказчика (под конкретную деталь), без обеспечения необходимой подготовки производства, позволяет достичь сокращения трудоёмкости изготовления на 60%;

- Композитная технология позволяет сократить объем сложной печати металлом на 20-30%, за счет проектирования топологически-оптимизированной формы инструмента и армирования внутренних полов металлополимером, придающим инструменту необходимую жёсткость;

- Температуростойкость композитного корпуса инструмента характеризуется температуростойкостью металлополимерного материала и составляет до 280 градусов. Цельсия;

- Прочность композитного корпуса будет увеличена с помощью прочного инструмента, изготовленного из металла, за счет распределения основного материала металла с учетом топологической оптимизации и предварительных инженерных расчетов.

- Снижение естественного напряжения металлорежущего инструмента для выполнения конструкции корпуса в виде композитной конструкции, позволяет повысить точность обработки от 1 качества и более. Согласно экспериментальным исследованиям, при обработке некоторых материалов в процессе резания инструмента автоколебания, одним из способов борьбы с этим эффектом, является изготовление инструмента из разных материалов. По условию, изготовление инструмента композитным (проектное решение) будет обеспечивать уменьшение автоколебаний, что повысит точность обработки и уменьшит шероховатость обрабатываемых поверхностей.

Предприятия машиностроительной отрасли повсеместно используют различный металлорежущий инструмент для обработки металлических заготовок. С уходом ведущих зарубежных производителей МИ открылся незанятый рынок, так как технологические процессы в машиностроении остались те же, а используемый инструмент стал недоступным. Изготовление нового инструмента в замен ушедшего импортного на отечественных предприятиях, требует серьёзного переоснащения, подготовки производства, разработки технологии и т.п., при этом имеющиеся мощности заняты теми технологическими процессами изготовления МИ, которые уже изготавливаются в настоящее время.

Подход с использованием аддитивного производства, позволяет повысить эффективность за счёт сокращения сложной подготовки производства, что позволит быстро заместить ушедшие компании и их номенклатуру. Однако стоимость аддитивного производства очень

большая, следовательно для экономически эффективного изготовления требуется сократить объём печати, это предлагается сделать технологии изготовления композитных конструкций.

В качестве промышленных партнёров при производстве композитного металлорежущего инструмента (МИ) могут выступить предприятия занятые производством МИ имеющего весь парк станочного оборудования и готовыми произвести окончательную обработку композитной заготовки. Такие предприятия готовы выступить контрагентами проекта, закупать композитные заготовки и произведя финишную обработку реализовывать их по имеющимся контрактам, либо же просто производить услуги по финишной обработке рабочих поверхностей.

Конечными потребителями будут являться машиностроительные предприятия, занятые в области механической обработки и использующие в своих технологических процессах сборные металлорежущие инструменты, которые готовы заменить номенклатуру ушедших производителей композитным металлорежущим инструментом, изготовленным по новой технологии.

Зарубежные производители сборного металлорежущего инструмента, такие как Sandvik, Tungaloy, ISCAR и другие в настоящее время ушли с Российского рынка. Тем не менее, существующие технологические процессы разработаны с учётом использования именно этого инструмента. Разрабатываемая конструкция и технология изготовления корпусов металлорежущего инструмента не только позволит заместить рынок корпусов для сборного металлорежущего инструмента, но и существенно повысит эффективность его использования, за счёт обеспечения возможности изготовления конструкции каналов охлаждения сложного профиля, как по траектории, так и по профилю сечения.

Возможность изготовления криволинейных каналов охлаждения, с большей площадью и соответственно большим расходом смазочно-охлаждающих технологических средств позволит обеспечить лучшее охлаждение, а значит и стойкость инструмента, уменьшить износ твёрдосплавных головок.

Согласно данным предприятий изготовителей МИ за 12 месяцев 2022-2023 г. объём продаж сверлильного корпусного инструмента составил 9 047 000 р., в основном заказы распространялись на типоразмеры Ø16,6, Ø20,3, Ø25,3, с корпусами различной длины (рабочая часть 3D, 5D, 8D). Большая часть объема проданного инструмента использовалась заказчиками, производящими продукцию энергетического и нефтегазового машиностроения, такими как ПАО

«ТКЗ Красный котельщик», ООО «НАТЭК-Нефтехиммаш», ООО «БорМаш» при обработке деталей типа трубная решетка из углеродистой стали 09Г2С, коррозионно-стойких жаропрочных сталей 12Х18Н10Т, SA240UNSS30400, AISI 321; на обрабатывающих центрах с ЧПУ VF-3026, VB-3016, TRHD3530.

Объем продаж фрезерного корпусного инструмента за 12 месяцев 2022-2023 г. составил 5 784 000 р. Ввиду большой номенклатуры и разнообразности корпусного фрезерного инструмента не представляется возможным выделить основные виды инструмента и области применения.

Фрезерный корпусной инструмент используется во всех основных отраслях машиностроения. Анализ потребностей предприятий в замещении импортного корпусного инструмента показал, что в настоящее время существует потребность в реализации композитного МИ с целью импортозамещения и повышения эффективности производства.

Сегментация рынка МИ по видам режущего инструмента соответствует следующему соотношению (Лезвийный инструмент – 62%, Шлифовальный инструмент 28%, деформирующий инструмент – 8%, инструмент для новых методов обработки – 2%). Более 60 % объема отечественного рынка инструмента составляет лезвийный инструмент. Сегментация рынка РФ по отраслевому принципу показывает, что основными потребителями режущего инструмента в РФ являются стратегические отрасли промышленности: оборонно-промышленный комплекс, автомобилестроение, авиационная промышленность, тяжелое и энергетическое машиностроение, железнодорожное машиностроение и судостроение. На эти отрасли приходится более 75% поставок инструмента.

Таким образом, можно сделать вывод, что главным объектом развития инструментальной отрасли, как неотъемлемой части формирования нового технологического уклада в машиностроении, является корпусной режущий инструмент. Предприятия РФ закупают в основном импортный инструмент производства Германии, Швеции, Израиля, Японии и Южной Кореи, наиболее популярным является инструмент Sandvik (Швеция) и Iscar (Израиль).

По данным АО «Станкопром» и ассоциации «Станкоинструмент», рынок инструментальной продукции оценивается около 79 млрд рублей. При этом абсолютное значение по импорту достигает критической отметки в более 73 млрд рублей. В этой связи необходимо приступить к формированию устойчивого спроса на инструментальную продукцию, произведенную на территории Российской Федерации,

которая должна отвечать мировым требованиям по качеству. Доля импорта потребности металлообрабатывающего инструмента составляет более 90%, наблюдается тотальная зависимость от импортного инструмента.

Рынок качественных металлообрабатывающих инструментов России характеризуется высокой степенью зависимости от импорта, закрытости и разрозненности производителей и поставщиков. К сожалению, даже при производстве инструмента на территории РФ существует большая зависимость от импортного твердосплавного сырья (основной инструментальный материал в мире), т. к. производство твердосплавных заготовок на территории РФ в 90 е годы было практически полностью прекращено.

Учитывая отраженные выше данные существует потребность в реализации производства композитного МИ с целью импортозамещения и повышения эффективности производства.

Создание технологии получения и конструкции композитной заготовки металлорежущего инструмента в рамках реализации МК технологии, требует создание инновационного предприятия. Создаваемое предприятие будет производить инжиниринговые услуги по проектированию композитной конструкции инструмента с учётом требований к условиям его работы, станочного оборудования и обрабатываемого материала. Затем на мощностях предприятия партнёра, будет напечатан пустотелый металлический корпус будущего МИ. Далее в условиях создаваемого предприятия с использованием разработанных и запатентованных технологий и специализированного оборудования будет произведено заполнение (армирование) полостей корпуса МИ металлополимерным материалом. Таким образом будет получена композитная заготовка МИ. Далее на мощностях предприятия индустриального партнёра будет произведена финишная механическая обработка рабочих поверхностей композитного инструмента и дооснащение корпуса твёрдосплавными пластинами. Далее готовый композитный составной МИ будет реализован конечному предприятию либо через предприятие индустриального партнёра, либо самостоятельно от создаваемого предприятия по схеме В2В. Мотивация конечного потребителя «Держателя проблемы» заключается в отсутствии доступа к зарубежному МИ, а существующие мощности предприятий изготовителей МИ заняты текущими заказами. Запуск производства МИ в замен импортного по классическим технологиям механической обработки не возможен в короткие сроки. Использование аддитивных подходов в новом технологическом процессе изготовления МИ и авторской технологии изготовления композитных конструкций,

позволит запустить производство без организации сложной подготовки производства и широкого парка станочного оборудования.

Для реализации проекта по созданию продукции – композитного МИ, необходимы следующие научно-технические решения:

1. Технологические параметры вибро-вакуумного воздействия на пустотелый аддитивно-изготовленный корпус металлической заготовки при заполнении его металлополимером. Так как при гарантированном заполнении вязкотекучим металлополимером технологических пустот корпуса, требуется соблюдение определённых режимов давления, при котором будет производиться вакуумное всасывание металлополимера в пустоты корпуса МИ, а также параметров вибрации, интенсифицирующих процесс течения металлополимера в узких каналах металлической заготовки корпуса.

2. Конструкция вибро-вакуумного устройства, позволяющего осуществить технологический процесс заливки металлополимера в пустотелый корпус МИ, характеризующийся возможностью создания регулируемого вакуумного и вибрационного воздействия в процессе технологического процесса изготовления композитной конструкции.

3. Режимы финишной обработки рабочих поверхностей композитной конструкции (шлифование, точение, фрезерование), не приводящие к температурной деструкции металлополимера из-за возможных термонапряжённости.

4. Методика экономического расчёта стоимости изготовления композитного МИ, позволяющего произвести предварительную оценку, ело стоимости с учётом особенностей 3D печати пустотелого корпуса, стоимости металлополимера и расходников на его заливку, а также финишной механической обработки рабочих поверхностей.

Таким образом возможно решение актуальной проблемы импортозамещения корпусного металлорежущего инструмента, за счет применения инновационной технологии получения заготовок корпусов с применением металл-композитной технологии.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10022, <https://rscf.ru/project/23-79-10022> с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы

1. Lubimiy, N.S., Polshin, A.A., Gerasimov, M.D., Tikhonov, A.A., Antsiferov, S.I., Chetverikov, B.S., Ryazantsev, V.G., Brazhnik, J., Ridvanov, I. 2022. Justification of the Use of Composite Metal-Metal-Polymer Parts for Functional Structures. *Polymers*. 14: 352. <https://doi.org/10.3390/polym14020352>

2. Lubimyi, N.S.; Chepchurov, M.; Polshin, A.A.; Gerasimov, M.D.; Chetverikov, B.S.; Chetverikova, A.; Tikhonov, A.A.; Maltsev, A. 2024. Reducing the Cost of 3D Metal Printing Using Selective Laser Melting (SLM) Technology in the Manufacture of a Drill Body by Reinforcing Thin-Walled Shell Forms with Metal-Polymers. *J. Manuf. Mater. Process.* 8: 44. <https://doi.org/10.3390/jmmp80200443>.
3. Пат. №2631785, МПК В22С9/06. Способ изготовления металлополимерных формообразующих поверхностей матриц и пуансонов пресс-форм / Н.С. Любимый, М.С. Чепчуров. – N 2016110341/02, заяв. 21.03.2016. опубли. 26.09.2017, Бюл. №27.
4. Nickolai Lubimyi, Vladimir Pavlovich Voronenko, Andrey Polshin, Mihail Gerasimov, Antsiferov Sergey, Oğuz Kaan Öztürk, Boris Chetverikov, Alexander Tikhonov, Vladislav Ryazantsev, Shumyacher Vyacheslav Mikhailovich & Melentiev Nikita. 2022. What is the economic feasibility of manufacturing a metal-metal- polymer composite part compared to other technologies?. *Australian Journal of Mechanical Engineering.* 4(20): 1-12. DOI: 10.1080/14484846.2022.2094533
5. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: учебное пособие / Н.И. Баурова, В.А. Зорин. – М.: МАДИ, 2016. 264 С.
6. Романович А.А. Повышение долговечности рабочих органов пресс-валковых измельчителей / А.А. Романович // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. – № 4. – С. 83-87.
7. Tlija, Mehdi & Al-Tamimi, Abdulsalam. 2022. Combined manufacturing and cost complexity scores-based process selection for hybrid manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture.* 237. 095440542211365. 10.1177/09544054221136524.

УДК 621.01

ВОВЛЕЧЕНИЕ ШКОЛЬНИКОВ В ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО ПУТЕМ РЕШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КЕЙСОВ

Любимый Н.С.¹, Авдеев Д.И.¹, Быценко М.В.¹, Грибеников А.Е.¹

1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

В статье рассматривается взаимосвязь обучения школьников средних классов в условиях технологического вуза и их дальнейшей профессиональной ориентации. Целью исследования является выявление наиболее мотивирующих аспектов взаимодействия школьников и системы высшего образования в рамках внешкольной деятельности, помогающих будущему абитуриенту сделать выбор в пользу получения инженерного образования.

Ключевые слова: образование, траектория развития, профориентация, вовлеченность.

INVOLVING SCHOOLCHILDREN IN ENGINEERING BY SOLVING INDUSTRIAL CASES

Lubimyi N.S.¹, Avdeev D.I.¹, Bytchenko M.V.¹, Gribenikov A.E.¹*1. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov, Belgorod*

The article examines the relationship between the education of middle school students in a technological university and their future professional orientation. The purpose of the study is to identify the most motivating aspects of interaction between schoolchildren and the higher education system within the framework of extracurricular activities that help future applicants make a choice in favor of obtaining an engineering education.

Key words: education, development trajectory, career guidance, involvement.

В настоящее время снижение уровня вовлеченности учащихся средних школ в науку, технологию, инженерию и математику (STEM) на международном уровне вызывает большую обеспокоенность. Согласно данным исследований [1, 2, 3], наблюдается снижение интереса молодежи к выбору STEM в качестве приоритетного направления своего развития и последующего образования. Между тем, важность наличия и подготовки высококвалифицированных кадров в домашнем регионе является определяющим фактором развития индустриального общества. Регионы, в которых исторически сложилась наследственность образования и база для подготовки инженерных кадров, имеют меньший спад.

Сегодня потребность в высококвалифицированных инженерных кадрах снизилась во многих отраслях промышленности, это связано, прежде всего, с развитием автоматизации многих процессов, возможностью удаленной работы и зачастую не требует присутствия сотрудника в регионе выполнения работ [1, 2, 3]. Однако, даже если в регионах нет крупных промышленных производств, всегда есть сфера обслуживания и эксплуатации коммунального хозяйства, городского хозяйства, транспортных систем, дорожного строительства, требующая присутствия в регионах инженерно-технического персонала.

В работах [1, 2, 3] упоминается, что выбор получения образования в пользу инженерно-технических дисциплин зачастую не делается школьниками из-за сложности освоения фундаментальных наук, а также из-за абстрактного понимания специфики будущей профессии. Уровень технологий, которого достигло современное общество, требует глубоких знаний на стыке различных наук. Сегодня мы являемся современниками удивительных людей, лучших представителей

инженерии и бизнеса (Илон Маск, Билл Гейтс, Стив Джобс), биографии и путь к успеху которых люди могут свободно изучать [4]. Конечно, их вклад в мотивацию при выборе STEM-образования и повышение престижа инженерной работы трудно переоценить. Однако необходимо иметь не только вдохновение, но и настоящего наставника, который покажет молодым исследователям, что современный STEM — это не только сложно, но и чрезвычайно интересно.

Вопрос, которому посвящена статья, заключается в том, как повысить интерес и привлекательность инженерных специальностей для молодежи и сохранить ее потенциал к моменту поступления в вуз и начала профессиональной деятельности.

В качестве метода исследования был выбран социологический опрос двух групп участников исследования внешкольной деятельности школьников общеобразовательной школы и школьников, обучающихся в вузовской среде. Сравнение данных опроса в начале программы обучения и в конце ее дало представление о влиянии образовательной среды вуза на интерес студентов к STEM.

Идея состоит в том, чтобы попытаться сравнить мотивацию и отношение к занятиям STEM у школьников, которые посещали внеклассные занятия под руководством преподавателей университета. Базовой кафедрой университета была кафедра подъемно-дорожных машин Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова, Белгород, Россия.

Среди многочисленных исследований данная кафедра занимается разработкой технологического оборудования для литья пластмасс с использованием металлополимерных материалов, оборудования для измельчения материалов и вибрационного оборудования [5, 6, 7]. В рамках проводимых на кафедре исследований по разработке оснастки для литья полимеров был составлен план обучения для учащихся средних школ, в котором были затронуты вопросы электротехники, робототехники, материаловедения, 3D-моделирования и 3D-печати, то есть весь цикл изготовления комбинированной пресс-формы. План обучения представлен в таблице 1 и рассчитан на работу в течение 11 месяцев из расчета 2 занятия в неделю по 2 часа, всего 44 часа.

В соответствии с программой обучения, на первом этапе учащиеся средней школы познакомились со структурой вуза, профессорско-преподавательским составом вуза, задействованным в преподавании в рамках экспериментального образовательного курса, лабораториями, оборудованием, производственным оборудованием. В рамках вводного занятия были определены цели и структура образовательного курса с большим количеством практики, результатом которой, по плану,

должна стать продукция технологического назначения, производимая школьниками.

Таким образом, на первом этапе формировались четкие представления о практической значимости и порядке освоения образовательной программы, устанавливались межличностные отношения между педагогами, школьниками и их родителями, проводилось первичное анкетирование.

В рамках теоретического курса 2-го этапа обучения школьникам предлагалось ознакомиться с технологией изготовления изделий из пластмасс методом литья под давлением, составом комплекта и технологией изготовления деталей комбинированной пресс-формы. Студент также узнал об оборудовании для механической обработки деталей пресс-форм в условиях инструментального производства, требованиях к качеству изделий, получаемых в пресс-формах, и о материалах, из которых изготавливаются формообразующие детали пресс-форм. Учебный процесс в специализированном классе вуза представлен на рис. 1.



Рис. 1. Учебный процесс по освоению навыков САПР-моделирования в специализированном классе университета

В составе структуры технологического процесса изготовления комбинированной металло-металлополимерной пресс-формы присутствует операция получения металлополимерной формующей поверхности, включающая изготовление мастер-модели методом аддитивного производства. Технологический процесс, выбран не случайно. Такой технологический процесс выбран потому, что он состоит сразу из нескольких направлений освоения инженерных навыков. Это аддитивное производство, механическая обработка,

контрольно-измерительные процессы с использованием роботизированных систем. Кроме того, данный технологический процесс относительно прост в освоении и доступен для возможного изготовления пресс-формы в ходе курса обучения.

Следует отметить, что для целей обучения были выбраны задания по разработке и изготовлению пресс-формы для изготовления деталей технологического назначения, например, деталей крепления трубопроводов термопластавтоматов реального производства, представленных на рис. 2.



Рис. 2. Детали крепежные для крепления трубопроводов литейной машины

Программа обучения предполагала знакомство и изучение оборудования, оснастки и инструмента для инструментального производства. Объем информации и материала, требующего изучения для освоения структуры механического цеха, не укладывался в рамки учебной программы курса, поэтому изучение носило экскурсионный характер. Однако было решено остановиться на обработке фрезерованием, и более подробно изучить именно этот вид обработки. В рамках научно-исследовательской работы, проводимой базовой кафедрой университета, участвовавшей в эксперименте, возникла необходимость фрезерования образцов металлополимерных материалов, требующих лабораторного изучения. Школьникам образовательного курса было предложено изучить технологию фрезерования на примере обработки данных образцов.

Программа обучения, разработанная для обучения школьников в университетской среде, ставит своей целью охватить как можно больше современных направлений STEM, что должно дать будущим

абитуриентам представление о будущей профессии и помочь сделать осознанный выбор при поступлении в вуз. Именно поэтому в рамках программы обучения также было предусмотрено изучение вопросов электротехники и робототехники. На данном этапе было изучено процесс создания электротехнических устройств на базе платы Arduino, а также процесс программирования и написания алгоритмов управления для образовательного робота dobot magician. Процесс обучения представлен на рис. 3.



Рис. 3. Изучение электротехники и робототехники в рамках образовательного курса в университетской среде

8-й этап образовательной программы предполагает знакомство школьников с реальным производством с посещением промышленного предприятия ОАО «РИТМ». На участке ускоренного изготовления формообразующей оснастки школьникам было предложено изготовить комбинированную металл-металл-полимерную пресс-форму. Учитывая особенности производства и технику безопасности, операции механической обработки, операции, требующие специальных навыков, а также с учетом требований безопасности, изготовление пресс-формы осуществлялось под контролем и с помощью штатных сотрудников предприятия – слесарей-инструментальщиков.

Результатом образовательного курса стал этап № 9, в рамках которого школьники изучили технологический процесс формования изделий из пластмасс в формах, изготовленных ранее школьниками.

В России, как и в других странах мира, существует ряд технических конкурсов, цель которых — повысить интерес школьников к STEM. Например, конкурс «Инношкольник» (http://fasie.ru/programs/vovlechenie-molodezhi-v-innovationnuuy-deyatelnost.php?clear_cache=Y) Фонда содействия инновациям призван реализовать программу «Вовлечение школьников в инновационную деятельность». В рамках этого проекта школьники готовят и защищают свой научный проект. Помимо конкурсной составляющей, получения финансирования на свой проект, получения возможности общения с экспертами и инвесторами, школьники могут получить возможность обучения в летней школе «СИРИУС» (<https://sochisirius.ru>). Кроме того, школьники получают дополнительные баллы, учитываемые при поступлении в вуз, что также является дополнительным стимулом к обучению.

Список литературы

1. Ряполова, Е. И., К. Е. Цветкова. Разработка интерактивных учебных курсов для инженерного направления обучения на основе технологии модульного обучения // Актуальные проблемы и перспективы в сфере инженерной подготовки. – Оренбург: Оренбургский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики". 2019. С. 134-145.
2. Нуруллина Э. С. Развитие инженерной культуры на занятиях производственного обучения у будущих педагогов профессионального обучения // Пропедевтика инженерной культуры обучающихся в условиях модернизации образования: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Челябинск, 02–03 декабря 2015 года. Челябинск: ООО "Лаборатория знаний". 2015. С. 267-269.
3. Пат. №2631785, МПК В22С9/06. Способ изготовления металлополимерных формообразующих поверхностей матриц и пуансонов пресс-форм / Н.С. Любимый, М.С. Чепчуров. – N 2016110341/02, заяв. 21.03.2016. опубл. 26.09.2017, Бюл. №27.
4. Справочник по реконструированию оснастки для переработки пластмасс / А.П. Пантелеев, Ю.М. Швецов, И.А. Горячев. – М.: Машиностроение, 1986. – 399 с.
5. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: учебное пособие / Н.И. Баурова, В.А. Зорин. – М.: МАДИ, 2016. 264 С.
6. Романович А.А. Повышение долговечности рабочих органов пресс-валковых измельчителей / А.А. Романович // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. – № 4. – С. 83-87.
7. N. Lubimiy, Chetverikov B., Chepchurov M., Ivan O. A method of determination of average plane of taps of pipes by a triangulation method using an anthropomorphic robot. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 709. Issue 3. P. 1-8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/4/044049>

УДК 62

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ТОРМОЖЕНИЯ НАСОС-ГИДРОМОТОРА ПРИВОДА
РАБОЧЕГО ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ПУТЕВОЙ МАШИНЫ**

Маслов Н.А.¹, Толстов М.А.¹

*1. ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет путей
сообщения, г. Новосибирск*

В работе сформулированы требования, выбраны исходные данные и стандартные элементы, выполнены сборка и отладка расчётных схем и проведены численные расчёты в программе SimulationX на оригинальной имитационной модели гидропривода рабочего передвижения самоходной путевой машины.

Ключевые слова: модель имитационная, насос-гидромотор, гидропривод вращательного действия, гидропривод рабочего передвижения, путевая машина, процесс торможения.

**SIMULATION MODELING OF THE TRACK MACHINE'S WORKING
TRAVEL DRIVE PUMP-HYDRAULIC MOTOR BRAKING PROCESS**

Maslov N.A.¹, Tolstov M.A.¹

1. Siberian transport university, Novosibirsk

In the work the requirements are formulated, the initial data and standard elements are selected, the assembly and debugging of calculation schemes are carried out and numerical calculations in the program SimulationX on the original simulation model of a self-propelled track machine's working travel hydraulic drive.

Key words: simulation model, pump-hydraulic motor, rotary hydraulic drive, hydraulic drive of working travel, track machine, braking process.

Цель работы - имитационное моделирование процесса (режима) торможения гидропривода рабочего передвижения путевой машины Дуоматик 09-32 (далее по тексту – путевой машины) для получения нормативных и других значений параметров функционирования и диагностирования его насос-гидромотора.

Задачи работы:

1. Выбор исходных данных и расчетных параметров имитационной модели гидропривода рабочего передвижения путевой машины;
2. Определение параметров, характеризующих работу насос-гидромотора привода рабочего передвижения путевой машины в процессе торможения, численным расчетом на имитационной модели;

3. Теоретическое подтверждение работоспособности предлагаемой системы диагностирования гидропривода рабочего передвижения путевой машины, реализующей перспективный способ создания и определения нагрузки, и метод диагностирования.

Объект исследования – гидропривод рабочего передвижения путевой машины.

Предмет исследования – функционирование (в т.ч. динамическое поведение) насос-гидромотора привода рабочего передвижения путевой машины в процессе торможения.

Цель исследования – определение границ расчетного участка времени при торможении насос-гидромотора, на котором расчетные значения параметров его функционирования и диагностирования могут быть практически использованы при его диагностировании в составе привода рабочего передвижения путевой машины.

Для создания системы диагностирования гидропривода рабочего передвижения путевой машины разработана методика ее проектирования. Блок-схема алгоритма методики представлена рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма проектирования бортовой системы диагностирования гидропривода вращательного действия

Первым блоком алгоритма (рис. 1) является выбор исходных данных для разработки системы диагностирования. Эти данные также необходимы для численного расчёта параметров насос-гидромотора при его диагностировании в процессе торможения на имитационной модели гидропривода вращательного действия путевой машины (таблица 1).

Таблица 1.

Параметры гидропривода механизма рабочего передвижения путевой машины

Название, единица измерения параметра	Значение параметра
Рабочий объём гидромотора, см ³	400
Частота вращения вала требуемая, об/с	4
Мощность на валу номинальная, кВт	32
Давление первичной защиты, МПа	21
Расход насоса номинальный, л/мин	100

В базовую расчетную схему имитационной модели гидропривода вращательного действия (разработана и представлена ранее [2-5]), выполненной в программе SimulationX, дополнительно добавлена субмодель «Инерционные массы», моделирующая трансмиссию и движущуюся массу путевой машины (рис. 2).

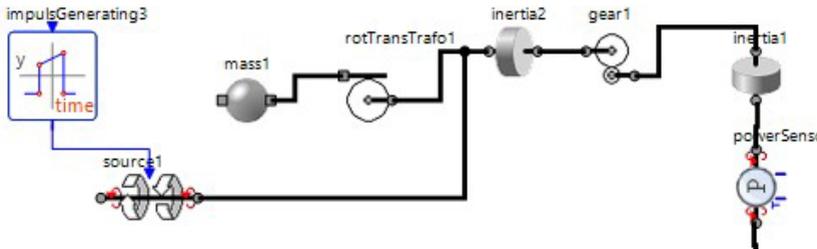


Рис. 2. Расчётная схема субмодели «Инерционные массы» для имитационной модели привода рабочего передвижения путевой машины

Имитационная субмодель «Инерционные массы» состоит из элементов, моделирующих вращающиеся и поступательно движущиеся инерционные массы элементов трансмиссии и путевой машины, а также работу тормозной системы путевой машины.

Для субмодели «Инерционные массы» заданы дополнительные исходные данные:

- суммарный момент инерции вращающихся с валом насос-гидромотора масс ($0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$);

- суммарный момент инерции вращающихся с осью машины масс ($100 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$);

- масса машины (73000 кг);

- диаметр колеса машины (900 мм);

- передаточное отношение трансмиссии машины на первой передаче при рабочем передвижении ($15,04$).

Для подтверждения работоспособности системы диагностирования в прорабатываемом варианте и получения нормативных значения времени торможения и углового замедления вала насос-гидромотора выполнен численный расчёт на имитационной модели. В результате численного расчёта на имитационной модели построены графики зависимостей: $T_H = f(t)$, $n_H = f(t)$ и $P_H^{\text{вх}} = f(t)$, представленные на рисунке 3; $Q_H^{\text{ввых}} = f(t)$, $p_H^{\text{ввых}} = f(t)$ и $P_H^{\text{ввых}} = f(t)$, представленные на рисунке 4; $\eta_{\text{НГМ}} = f(t)$, $\eta_{\text{НО}} = f(t)$ и $\eta_H = f(t)$, представленные на рисунке 5; $\varepsilon_H = f(t)$, представленный на рисунке 6, по которому на расчётном участке определён динамический коэффициент расхода $k_Q^{\text{дин}}$.

Полученные зависимости соответствуют известным теоретическим сведениям о динамике работы гидроприводов вращательного действия в процессе торможения. Это соответствие практически подтверждает работоспособность имитационной модели гидропривода рабочего передвижения путевой машины. А также теоретически подтверждает работоспособность предлагаемой системы диагностирования гидропривода рабочего передвижения путевой машины, реализующей перспективные способ создания и определения нагрузки, и метод диагностирования [2-5].

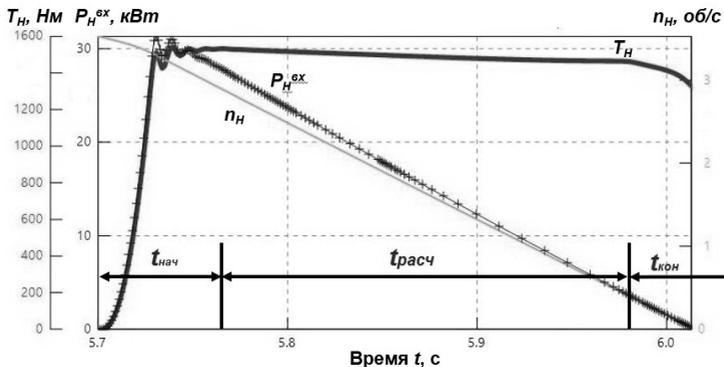


Рис. 3. Графики зависимостей частоты вращения вала, вращающего момента и механической мощности на валу насос-гидромотора привода рабочего хода (режим «насос») в функции времени при торможении

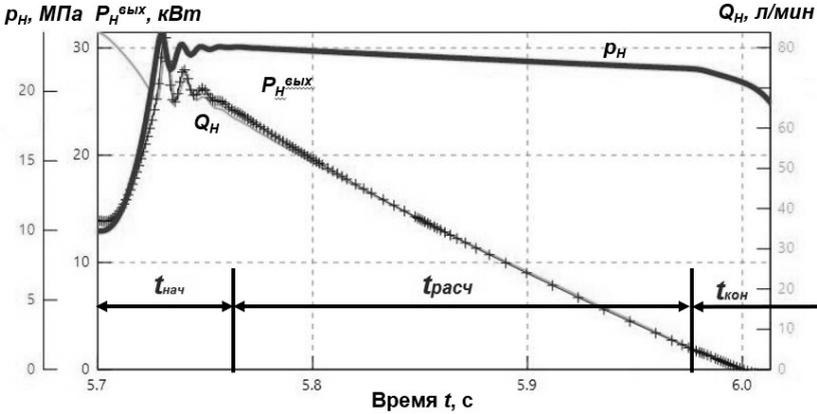


Рис. 4. Графики зависимостей расхода, давления и гидравлической мощности в напорной линии насос-гидромотора привода рабочего хода (режим «насос») в функции времени при торможении

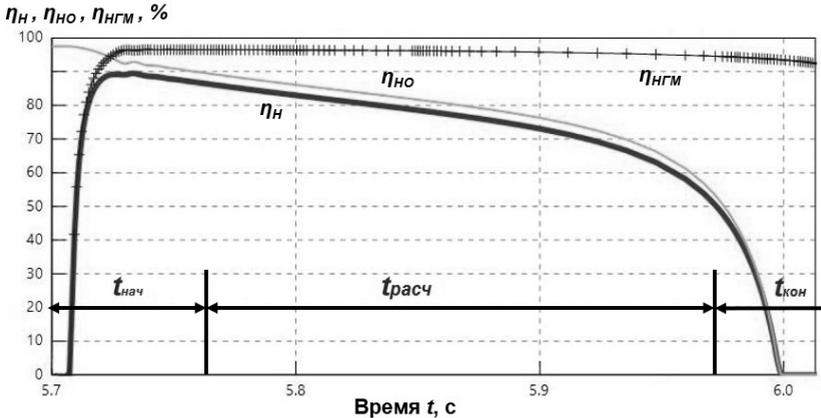


Рис. 5. Графики зависимостей объемного, гидромеханического и полного КПД насос-гидромотора привода рабочего хода (режим «насос») в функции времени при торможении

В результате анализа полученных в графическом виде (рис. 3 и 4) зависимостей $Q_H = f(t)$, $p_H = f(t)$, $n_H = f(t)$, $T_H = f(t)$:

- выявлены начальный $t_{нач}$ и конечный $t_{кон}$ участки времени торможения насос-гидромотора, на которых динамические процессы, связанные с особенностями, ранее изученного динамического поведения предохранительного клапана непрямого действия, имеют

наибольшее влияние на величины параметров функционирования насос-гидромотора Q_H, p_H, n_H и T_H ;

- выделен расчетный участок времени $t_{расч}$, расположенный между началом и окончанием процесса торможения насос-гидромотора, на котором динамические процессы, связанные с особенностями, ранее изученного динамического поведения предохранительного клапана непрямого действия [3,4], имеют наименьшее влияние на величины параметров Q_H, p_H, n_H и T_H .

На расчетном участке времени $t_{расч}$ по величинам параметров функционирования Q_H, p_H, n_H и T_H рассчитаны параметры диагностирования насос-гидромотора в режиме «насос» при торможении, в том числе $\eta_H, \eta_{НО}, \eta_{НГМ}$ (соответственно полный, объемный, гидромеханический КПД), динамический коэффициент расхода $k_Q^{дин}$, значения которых могут быть практически использованы при диагностировании насос-гидромотора привода рабочего передвижения путевой машины.

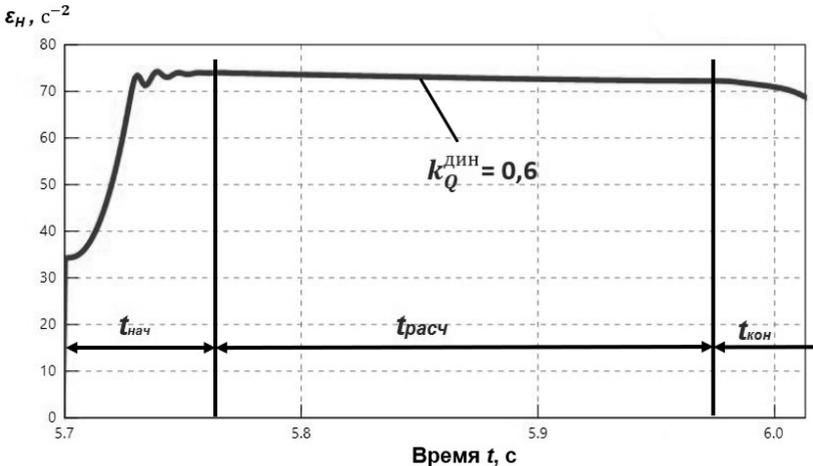


Рис. 6. График зависимости углового замедления вала насос-гидромотора привода рабочего хода (режим «насос») в функции времени при торможении

На рис. 7 представлен пример протокола диагностирования насос-гидромотора привода рабочего передвижения путевой машины, который будет являться результатом работы системы диагностирования. Протокол заполнен по результатам имитационного моделирования. В нём кроме, расчетных параметров диагностирования, представлены их нормативные значения. Нормативные значения

времени торможения и углового замедления вала насос-гидромотора также определены численными расчётами на имитационной модели.

Параметр диагностирования	Значение параметра		Вывод
	Нормативное	Вычисленное	
КПД полный, %	85-90	89,11	соответствие
КПД объемный, %	92-95	94,20	соответствие
КПД гидромеханический, %	92-95	94,59	соответствие
Коэффициент расхода динамический	-	0,6	-
Время торможения вала, с	0,27-0,32	0,313	соответствие
Угловое замедление вала, с ⁻²	69-74	73,17	соответствие
<i>Вывод о состоянии гидропривода: гидромотор исправен.</i>			

Рис. 7. Протокол диагностирования насос-гидромотора путевой машины

Работа выполнена в студенческом научном объединении «Механик» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Список литературы

1. Путевые машины полн, курс: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / М. В. Попович [и др.] ред. М. В. Попович, В. М. Бугаенко. - М.: Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2009-819 с.
2. Толстов, М.А., Маслов, Н.А. Имитационное моделирование открытой разомкнутой гидropердачи вращательного действия [Текст] / М.А. Толстов, Н.А. Маслов // "Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях": материалы международной научно-практической конференции. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2022. - 288 с., с.250-256.
3. Толстов, М.А., Маслов, Н.А. Имитационная модель предохранительного клапана непрямого действия [Текст] / М.А. Толстов, Н.А. Маслов // Дни науки – 2023: материалы Регионального форума (Новосибирск, 20 марта – 15 апреля 2023 г.); Сиб. гос. ун-т путей сообщения. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2023. – 576 с., с.56-59.
4. Маслов, Н.А., Толстов, М.А., Кривченко, Р.А. Имитационное моделирование динамического поведения предохранительных гидроклапанов [Текст] / Н.А. Маслов, М.А. Толстов, Р.А. Кривченко // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в машиностроительной, дорожной и строительной отраслях - 2023: материалы международной научно-практической конференции. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2023. - 310 с., с.138-145.
5. Маслов, Н.А., Толстов, М.А. Численные расчеты параметров функционирования насос-гидромотора в режиме «насос» при торможении на имитационной модели гидропривода [Текст] / Н.А. Маслов, М.А. Толстов // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта, 2024. - №1., с.62-67.

УДК 666.97.031.33

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ НА МОЩНОСТЬ ПРИВОДА СМЕСИТЕЛЯ
С РАБОЧИМ ОРГАНОМ U- ОБРАЗНОЙ ФОРМЫ

**Орехова Т.Н.¹, Шкарпеткин Е.А.¹,
Матвеев М.А.¹, Антоненко Н.А.¹, Алиев Р.А.¹**

*1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород*

В статье рассмотрен вопрос повышения эффективности процесса смешения различных материалов в вертикальном смесителе принудительного действия. Представлено описание конструкции смесителя, оснащенного рабочим органом U-образной формы, который повышает равномерность распределения компонентов смеси. Предложено уравнение для расчета мощности привода смесителя, учитывающее особенности конструкции его рабочего органа. Проведены исследования влияния частоты вращения и угла отрыва потока материала от поверхности рабочего органа на мощность смесителя. Сформулированы общие выводы.

Ключевые слова: строительные смеси, смеситель, качество смеси, мощность привода.

INFLUENCE OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL
PARAMETERS ON THE POWER OF THE MIXER DRIVE WITH A U-
SHAPED WORKING BODY

**Orehova T.N.¹, Shkarpetkin E.A.¹,
Matveev M.A.¹, Antonenko N.A.¹, Aliev R.A.¹**

*1. Belgorod State Technological University named after V. G.
Shukhov, Belgorod*

The article considers the issue of increasing the efficiency of the process of mixing various materials in a vertical forced-action mixer. It describes the design of a mixer equipped with a U-shaped working element, which increases the uniformity of the distribution of the components of the mixture. An equation is proposed for calculating the mixer drive power, taking into account the design features of its working element. The influence of the rotation frequency and the angle of separation of the material flow from the surface of the working element on the mixer power is studied. General conclusions are formulated.

Key words: building mixtures, mixer, mixture quality, drive power.

Обеспечение конкурентоспособности собственного производства для многих промышленных предприятий представляет собой весьма не простую и актуальную задачу [1]. Для компаний, сферой деятельности которых является выпуск различных строительных смесей, вариантом ее решения может быть снижение себестоимости товарной продукции за счет использования техногенных материалов, накопившихся за последние десятилетия в больших количествах на полигонах и в хранилищах, позволяющих частично или полностью заменить дорогое природное сырье [2, 3].

Однако широкое распространение технологий получения смесей на основе техногенных материалов затруднено многообразием их видов и отсутствием опыта обращения с ними, несовершенством применяемых технологических процессов и оборудования и др. [2 - 4].

При производстве строительных смесей наиболее значимым процессом, от которого во многом зависит расход сырья и качество продукции, является смешивание компонентов. Он заключается в распределении частиц одного материала в объеме частиц другого при их некоторой порозности и перемещении относительно друг друга за счет механического или иного вида воздействия внутри рабочей камеры смесителя [3, 4].

В большинстве случаев, например, для приготовления строительных растворов или композиционных смесей из сухих порошков используют смесители принудительного действия. Их общими недостатками являются: образование застойных зон при однотипном движении рабочего органа; неравномерное перемешивание материала; слеживание или стихийная агломерация смеси и др.

В связи с этим возникает необходимость в создании новых конструкций смесителей, обеспечивающих устранение, указанных выше, недостатков и позволяющих осуществлять производство качественных смесей на основе природных и техногенных материалов.

Разработка смесителя принудительного действия направлена на повышение равномерности перемешивания материалов и качества смеси. Для этого в конструкции (рис. 1) предусмотрен рабочий орган, который размещен внутри смесительной камеры и выполнен в виде четырех патрубков с цилиндрической винтовой поверхностью, образующих два U-образно изогнутых контура. Оба контура в верхней части имеют связь с приводом, через вертикальные валы планетарной зубчатой передачи, размещенной внутри ротора. Это позволяет им совершать круговое движение по периметру смесительной камеры и обеспечивает вращение цилиндрических винтовых поверхностей вокруг своей оси.

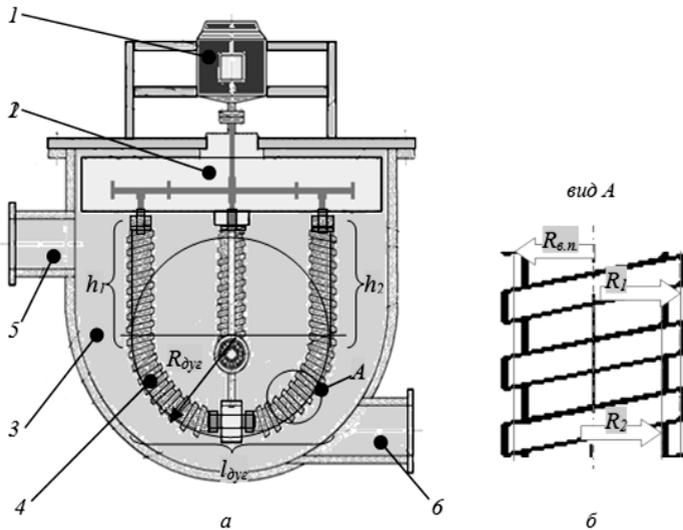


Рис. 1. Схема конструкции смесителя:

a - общий вид смесителя; *б* - цилиндрическая винтовая поверхность;
 1 - двигатель; 2 - ротор (с планетарной передачей); 3 - смесительная камера; 4 - рабочий орган; 5, 6 - патрубок загрузочный и выгрузочный

В результате рабочий орган чаще контактирует с компонентами смеси, заставляет их более интенсивно перемешиваться у стенок, в центре и по высоте смесительной камеры. При этом перемещение компонентов по круговой траектории в горизонтальной плоскости происходит благодаря планетарному движению рабочего органа, а в вертикальной – благодаря их захвату канавками цилиндрических винтовых поверхностей. Все это повышает эффективность процесса смешения различных материалов [5].

Важным параметром для оценки работы смесителя с позиции энергоэффективности является мощность привода. Она может быть рассчитана на основании известной методики по следующему уравнению [3]:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N}{\eta} \cdot K_{\text{зан}} = \frac{p \cdot F \cdot R_{\text{ср}} \omega_p}{\eta} \cdot K_{\text{зан}} \quad (1)$$

где N - мощность смесителя необходимая для реализации процесса, кВт;
 $N_{\text{дв}}$ - мощность двигателя, кВт; p - удельное сопротивление смеси вращению рабочего органа, кН/м²; F - площадь рабочего органа, м²; $R_{\text{ср}}$ - средний радиус вращения рабочего органа, м; ω_p - частота вращения рабочего органа, с⁻¹; η - КПД; $K_{\text{зан}}$ - коэффициент запаса.

С учетом особенностей конструкции рабочего органа уравнение (1) может быть записано в следующем виде [6]:

$$N_{\text{дв}} = \frac{p \cdot \left(\frac{\pi(R_1 + R_2)\beta}{360^\circ} \cdot (h_1 + h_2 + \pi R_{\text{дв}}) + \frac{2\pi(R_1^2 - R_2^2)\beta}{360^\circ} \right) \cdot R_{\text{ср}} \omega_p}{\eta} \cdot K_{\text{зан}} \quad (2)$$

где R_1 и R_2 - наибольший и наименьший радиус винтовой поверхности, м; h_1 и h_2 - высота вертикальных участков винтовой поверхности, м; $R_{\text{дв}}$ - радиус дуги винтовой поверхности, м; α - угол, ограничивающий длину дуги скругленного участка, град.

Влияние частоты вращения (ω_p) и угла отрыва потока материала от поверхности рабочего органа ($\beta = 82 \dots 120^\circ$ [7]) на мощность смесителя (рис. 2) определялось без учета η и $K_{\text{зан}}$, при постоянных размерах ($R_1 = 0,025$ м; $R_2 = 0,02$ м; $h_1 = h_2 = 0,12$ м; $R_{\text{дв}} = 0,06$ м; $R_{\text{ср}} = 0,06$ м), составе и свойствах ($p = 20$ кН/м²) смеси ($p = 20$ кН/м²).

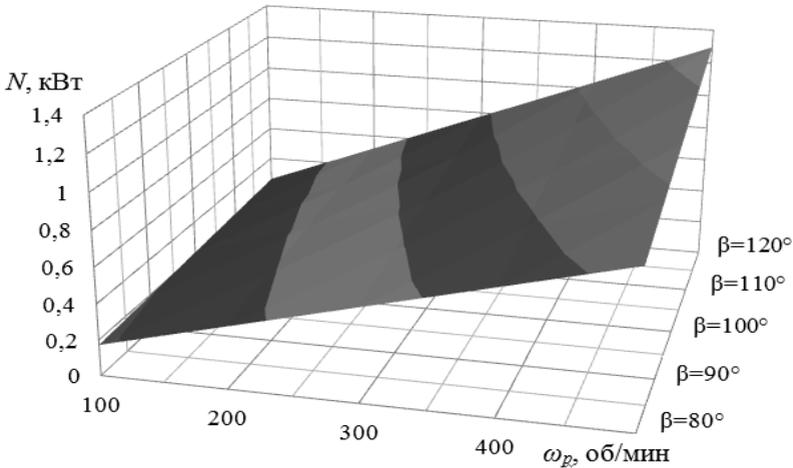


Рис. 2. Влияние ω_p и β на мощность смесителя

График отражает общую закономерность и показывает, что на мощность наибольшее влияние оказывает ω_p . Ее изменение при постоянном β приводит к увеличению N в среднем на 50% на каждые 100 об/мин. Изменение β увеличивает N на 10%. При этом анализ расчетных значений N указывает на то, что в области рациональных значений удельные энергозатраты разработанного смесителя будут сопоставима или ниже в сравнении с аналогами.

Таким образом, смеситель с рабочим органом U-образной формы повышает равномерность перемешивания материалов и позволяет

осуществлять производство качественных смесей с использованием в составе природных и техногенных материалов. Расчетные зависимости мощности от частоты вращения и угла отрыва потока материала от поверхности рабочего органа подтверждают целесообразность проведенных разработок.

Работа выполнена в рамках комплексного проекта при реализации Программы развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2021-2030 гг. «Приоритет 2030» СП2-4/3-2024 «Разработка инновационных решений по селективной переработке техногенных отходов для создания комфортной среды проживания».

Список литературы

1. Еремеева Н.В. Конкурентоспособность товаров и услуг: учебник и практикум для вузов / Н.В. Еремеева. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 242 с.
2. Севостьянов В. С., Сиваченко Т. Л., Севостьянов М. В., Горягин П. Ю., Бабуков В. А. Научно-практические основы создания иглофрезерных измельчителей многоцелевого назначения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. №. 3. С. 107-116. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5abfc9cfb02a37.92961359 .
3. Назаров В.И. Переработка и утилизация дисперсных материалов и твердых отходов: учебное пособие / Н.М. Рагозина, Д.А. Макаренков, В.Г.Четвертаков; под общей редакцией В.И. Назарова. – Москва: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 464 с.
4. Shkarpetkin, E.A., Prosenko, A.M. (2024). Studies of the Influence of the Planetary Mixer Design and Technological Parameters on the Quality of Mixtures. In: Klyuev, S.V., Vatin, N.I., Sabitov, L.S. (eds) Industrial and Civil Construction 2022. ISCICC 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 436. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44432-6_28.
5. Патент №210441 Российская Федерация, МПК В28С 5/00 (2006.01). Смеситель с гибким рабочим органом: №2021137980: заявл 21.12.2021: опубл. 15.04.2022 / Шкарпеткин Е.А., Орехова Т.Н., Пирожков А.В.; заявитель ФГБОУ ВО БГТУ им. В.Г. Шухова. – 8 с.
6. Матвеев М. А. Антоненко Н. А. Расчет мощности смесителя с U-образным рабочим органом // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. ШУХОВА. Сборник докладов. Том Часть 9. Белгород, 2023. С. 215-220.
7. Процессы и аппараты химической технологии: учебник в 5 частях / Ю.А. Комиссаров, Л.С. Гордеев, Д.П. Вент; под редакцией Ю.А. Комиссарова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2023. Ч. 3. – 2023. – 246 с.

УДК 666.9.035

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЛОПАТКИ
ДВУХРОТОРНОГО СМЕСИТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
CAD/CAM/CAE СИСТЕМ

Пахомов Е.Г.¹, Барабашова К.Д.¹

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

Оборудование, которое позволяет получать высококачественные смеси за короткий промежуток времени. Смеситель состоит из двух вращающихся роторов, которые обеспечивают интенсивное перемешивание компонентов. Это позволяет достичь равномерности распределения ингредиентов, устранить возможные группировки и получить идеальную консистенцию смеси. Двухроторный смеситель является незаменимым инструментом для производства строительных материалов, таких как штукатурки, клеи, шпаклевки и другие смеси.

Ключевые слова: смеситель, двухроторный, моделирование.

DEVELOPMENT OF AN OPTIMAL DESIGN OF A TWO-ROTOR
MIXER BLADE USING CAD/CAM/CAE SYSTEMS.

Pakhomov E.G.¹, Barabashova K.D.¹

*1. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod,*

Abstract: equipment that allows you to obtain high-quality mixtures in a short period of time. The mixer consists of two rotating rotors that provide intensive mixing of the components. This allows you to achieve a uniform distribution of ingredients, eliminate possible groupings and get the perfect consistency of the mixture. The two-rotor mixer is an indispensable tool for the production of building materials such as plasters, adhesives, putties and other mixtures.

Keywords: mixer, two-rotor, simulation.

Сухие строительные смеси (ССС) – это многокомпонентные составы, в основе которых минеральные или полимерные вяжущие вещества с включением необходимых наполнителей и модифицирующих полимерных добавок, придающих смесям специальные свойства. В качестве вяжущих веществ используются чаще всего цемент (портландцемент, цветные и белый цементы), гипс и известь. Наполнителями в сухих смесях служат: фракционный

кварцевый песок; песок, получаемый дроблением известняка, мрамора и других пород; разнообразные тонкоизмельченные наполнители (известняковая и мраморная мука и пр.). Для придания составам специальных свойств в качестве добавок используются замедлители или ускорители твердения, пеногасители и порообразователи, гидрофобизирующие и окрашивающие добавки и т.п. Композиции сухих строительных смесей используются по своему функциональному назначению после затворения водой.

Совершенствование конструкции смесителей, как важнейшего оборудования в технологической цепочке, с минимизацией потребляемых ресурсов является наиболее актуальной задачей, стоящей перед инженерами в области производства сухих строительных смесей.

Сухие строительные смеси не заменимы при проведении высококачественных строительных и отделочных работ с применением современных технологий. Наибольшее применение сухие строительные смеси находят в монтажных, штукатурных, облицовочных работах для отделки фасадов и интерьеров, для заливки полов и специальных работ.

По оценкам BusinesStat, за 2017-2022 гг продажи сухих строительных смесей в России увеличились на 72,2%: с 8,8 до 15,1 млн т. Ключевыми драйверами роста продаж выступили программы льготной и сельской ипотеки, материнского капитала, стимулировавшие массовое жилищное строительство, а также переориентация спроса от листовых материалов в сторону сухих строительных смесей, поскольку их использование позволяет не только утеплить дом, но и придать ему привлекательный внешний вид.

Для различных целей перемешивают вещества, находящиеся в одинаковых или различных состояниях: твердые компоненты с твердыми, твердые с жидкими, жидкие с жидкими и т. п. Так при изготовлении силикатных изделий смесь готовят из песка, извести и воды, при изготовлении бетонных изделий из цемента, щебня, песка и воды.

Получение бетона и раствора заданных марок и свойств, отвечающих соответствующим требованиям, обеспечивается совокупностью многих факторов, из которых первостепенное значение имеют качество исходных компонентов и эффективность работы смесительного оборудования. Для приготовления бетонов и растворов применяются смесители различной конструкции.

Смесители периодического действия характеризуются емкостью смесительного барабана и временем, необходимым для приготовления замеса.

Смешивание компонентов смеси в бетоно–растворосмесителях циклического действия осуществляется отдельными порциями (замесами) после выгрузки из барабана смесителя предшествующей порции материалов. Такой режим работы позволяет регулировать время перемешивания в зависимости от состава смеси.

Объем получаемой готовой смеси всегда меньше суммарного объема сухих компонентов (составляет 0,65...0,7), так как при перемешивании частицы их укладываются более плотно за счет заполнения мелкими частицами пустот между крупными зернами смеси.

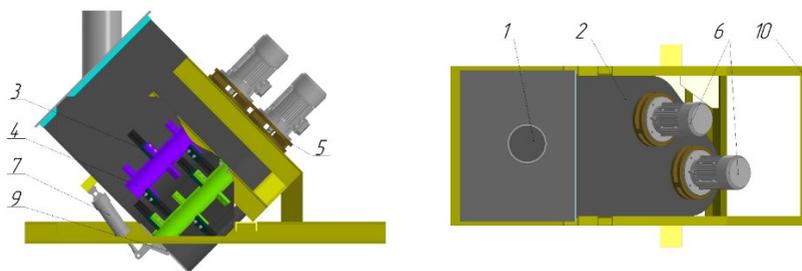


Рис. 1. Устройство двухроторного смесителя

1 – приемное устройство, 2- камера смесительная, 3 – лопатка, 4 – вал смесителя, 5 – уплотнение вала, 6 – электродвигатель, 7 – пневмозадвижка, 9 – окно разгрузочное, 10 – рама.

Смеситель состоит из следующих основных составных частей: приемного устройства 1, камеры смесительной 2, двух валов 4, двух электродвигателей 6, пневмозадвижка 7, окна разгрузочного 9 и рамы 10.

В верхней части камеры смесительной расположено приемное устройство, над которым может устанавливаться бункер-дозатор или любое другое загрузочное устройство, обеспечивающее дозирование смешиваемых материалов объемом не более 300 литров и массой не более 600 кг, а между ними любое отсекающее устройство, например, задвижка поворотная.

Разработана конструкция лопатки смесителя, торце корпуса жестко установлены три лопасти, причем первая лопасть повернута на угол 45° относительно продольной оси поперечного сечения корпуса, следующие лопасти повернуты друг относительно друга на угол $\alpha=90^\circ$, при этом каждая из лопастей имеет ширину, равную толщине корпуса, а на корпусе выполнены сквозные отверстия для крепления.

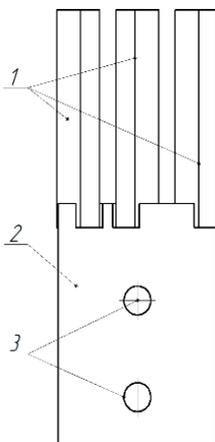


Рис. 2. Лопасты 1; основание 2; отверстия 3.

Такое расположение лопастей позволит создавать меньшее сопротивление движению лопатки, так как уменьшается площадь лобовой атаки.

Расположение на торце корпуса трех лопастей, размещенных под углом 45° относительно продольной оси поперечного сечения корпуса, позволит создавать встречное направленное движение отраженного от лопасти перемешиваемого материала, что приведет к повышению качества смешивания сухих компонентов строительной смеси.

Применение предлагаемой конструкции рабочих органов смесителя позволит уменьшить время смешивания сухой строительной смеси на 15-20% (с 45 до 40 с), за счет создания турбулизации движения компонентов смеси, что повлечет за собой снижение расхода электроэнергии и повышение производительности.

Для подтверждения эффективности предложенной конструкции рабочих органов смесителя был проведен сравнительный эксперимент в программной среде EDEM. Сравнивались два варианта конструктивного исполнения лопастного вала. В первом варианте выполнены лопатки с тремя лопастями, а во втором – плоскими, в виде прямоугольной пластины.

Проведение эксперимента проводилось на уменьшенной модели смесителя. Для двух сравниваемых моделей были установлены одинаковые конструктивно- технологические параметры: частота вращения лопастного вала составляла $n = 79$ рад/с, угол установки

ротора смесителя был принят $\alpha = 45^\circ$. Смесь состояла из двух компонентов: компонента «А» (частицы круглой формы диаметром 1,5 мм, плотностью 3000 кг/м³) и компонента «В» (частицы круглой формы диаметром 1,25 мм, плотностью 2500 кг/м³). Однако количество загружаемых в смеситель частиц в этом случае составляло более ста тысяч, что затрудняет реализацию экспериментов в условиях применения персонального компьютера. В этой связи было принято решение об использовании части корпуса смесителя и расположении на валу двух разнонаправленных лопастей (рис. 1), что позволило сократить количество частиц до двадцати шести тысяч и обеспечило возможность реализации эксперимента.

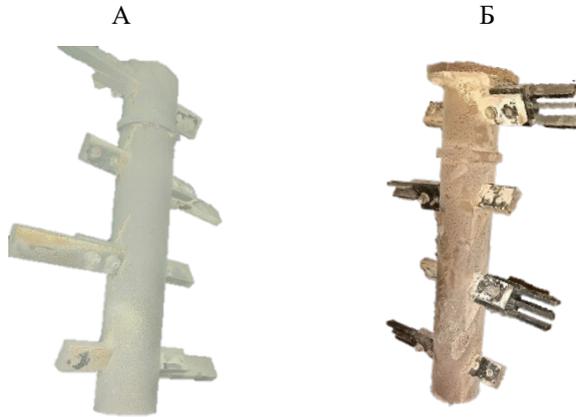


Рис. 3. Исследуемые модели рабочего органа:
а – модель ротора исходный; б – модель ротора модернизированного.

Цель эксперимента – сравнить качество приготовления смеси в двух моделях смесителей. В качестве критерия, определяющего качество смеси, был выбран коэффициент неоднородности V_c [4-6]:

$$V_c = \frac{100}{c} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2} \quad (1)$$

где \bar{c} – среднее арифметическое значение концентрации ключевого компонента во всех n пробах смеси, %; c_i – концентрация ключевого компонента в i -й пробе, %; n – количество отобранных проб, шт.

Необходимо было исследовать изменение коэффициента неоднородности со временем смешивания в двух моделях смесителя,

сравнить их между собой и сделать вывод, в какой из моделей наблюдается наиболее качественная смесь.

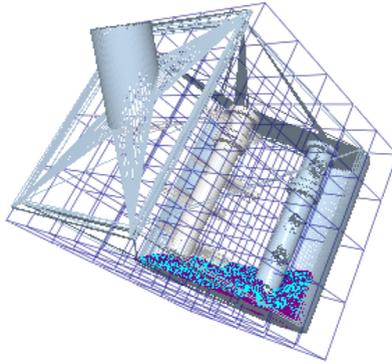


Рис. 4. Схема отбора проб по ячейкам

При помощи программного аналитического инструмента EDEM позволяет осуществлять отбор как точечных проб, так и разбивать рабочий объем камеры смесителя на объемные ячейки любого размера и всесторонне анализировать каждую из них. Для определения коэффициента неоднородности смеси рабочая камера рассматриваемых смесителей была разбита на ячейки в форме параллелепипеда размером 45×50×55 см. Схема и нумерация ячеек для отбора проб показаны на рис. 2.

Масса пробы, которая адекватно могла служить для определения коэффициента неоднородности, вычислялась по формуле:

$$G_M = \frac{1,26 \cdot 10^4 \cdot d^3 \cdot \rho}{c_0} \quad (2)$$

где d – диаметр частиц смешиваемого компонента или диаметр комков из компонентов смеси, м; ρ – плотность частиц или плотность комков частиц, кг/м³; c_0 – концентрация частиц компонента, %.

Необходимая минимальная масса пробы при максимальном размере частиц $d = 3$ мм, составила $G_M = 0,02$ кг.

Для расчета коэффициента неоднородности находилась концентрация ключевого компонента в каждой ячейке за каждую секунду процесса смешивания. В качестве ключевого был принят компонент «В».

В каждой ячейке при помощи аналитического инструмента программного продукта EDEM высчитывались массы ключевого компонента и общая масса смеси. После этого рассчитывалась

концентрация ключевого компонента «В» в каждой ячейке, т. е. масса компонента «В» делилась на массу всей пробы. Далее по формуле (1) рассчитывался коэффициент неоднородности.

Применение программного обеспечения Altair EDEM Это значительно сократило время на предварительную подготовку и исследования, позволив подтвердить гипотезы об эффективности использования разработанной конструкции рабочих органов лопастного смесителя.

Список литературы

1. Энергосберегающий смеситель для приготовления сухих строительных смесей / Е. Г. Пахомов, А. А. Романович, М. А. Романович, М. О. Дядин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 3. – С. 107-115. DOI 10.34031/2071-7318-2024-9-3-107-115. – EDN GDIDKS.
2. Romanovich A.A., Osalou A.Z., Mamatova V.V., Pahomov E.G. The grinding bodies movement dynamics study in a ball mill equipped with energy-exchanging devices // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. № 698. С. 066037. DOI: 10.1088/1757-899X/698/6/066037
3. Пахомов Е.Г.. Тенденция развития смесителей для строительных материалов / Е. Г. Пахомов Д. А. Бойков, В. П. Вы-чик, // Образование. Наука. Производство : Сборник докладов XV Международного молодежного форума, Белгород, 23–24 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 4-8. – EDN OJHMT.
4. Пахомов, Е. Г. Анализ технических решений в области совершенствования эффективности работы двухроторных смесителей / Е. Г. Пахомов, М. В. Быценко, Д. А. Бойков // Образование. Наука. Производство : Сборник докладов XV Международного молодежного форума, Белгород, 23–24 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 15-19. – EDN BVCAZG.
5. Романович А.А., Пахомов Е.Г. Совершенствование конструкции двухроторного смесителя / Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов». 2021. – С. 298-302.
6. Пахомов Е.Г., Локтионова А.Г. Использование программного обеспечения Altair Edem для проведения анализа качества смешения в двухроторном смесителе / Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов». №21. 2022. – с. 289-293.
7. Силенок С.Г., Борщевский А.А., Горбовец М.Н. и др. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: учеб. для вузов. - М.: Машиностроение 1990. - 412 с.

УДК 621.01+531.789.1:621.926.9+621.928.2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ
К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРИВОДНОГО МЕХАНИЗМА
ЦЕПНОГО АГРЕГАТА

Потапов В.А.¹

1. Учреждение образования «Барановичский государственный университет», г. Барановичи

В статье описан один из вариантов алгоритма проектирования приводного механизма цепного агрегата, включающий теоретические и экспериментальные подходы. Кратко изложена суть сочетания двух подходов. Подробно рассмотрены величины для сравнения теоретических и экспериментальных результатов в силовом анализе, которые возможно определить с помощью датчика крутящего момента.

Ключевые слова: цепной агрегат, приводной механизм, проектирование, геометрические параметры, кинематические характеристики, силовые характеристики.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL APPROACHES TO
DESIGNING THE DRIVE MECHANISM OF A CHAIN UNIT

Potapov V.A.¹

1. Institution of Education "Baranovichi State University", Baranovichi

The article describes one of the variants of the design algorithm of the drive mechanism of the chain unit, including theoretical and experimental approaches. The essence of the combination of two approaches is briefly outlined. The quantities for comparing theoretical and experimental results in force analysis, which can be determined using a torque sensor, are considered in detail.

Keywords: chain unit, drive mechanism, design, geometric parameters, kinematic characteristics, force characteristics.

Цепные агрегаты – принципиально новые машины, позволяющие выполнять технологические процессы дезинтеграции и грохочения различных материалов [1]. В частности, они могут быть применены на первичных стадиях измельчения мела, мергеля, трепела и других материалов, а также для разделения по крупности сыпучих материалов. Перспективные технологические свойства цепных агрегатов подтверждены практическими исследованиями [2, 3]. С различными

вариантами конструкций цепных агрегатов подробнее можно ознакомиться в монографии [4].

Созданный нами экспериментальный образец цепного агрегата представлен на рис. 1.

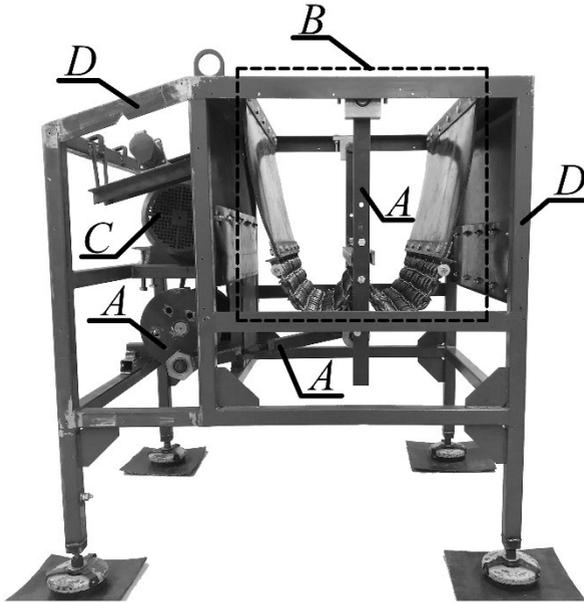


Рис. 1. Экспериментальный образец цепного агрегата
A – приводной механизм; *B* – рабочая камера;
C – электродвигатель; *D* – рама

Для приведения в движение элементов рабочей камеры *B* используется приводной механизм *A*, известный в теории механизмов и машин как кривошипно-коромысловый. Его кинематическая схема представлена на рис. 2.

Приводной механизм состоит из входного звена – кривошипа *1*, шатуна *2*, выходного звена – коромысла *3* и неподвижного – стойки *4*. Принятые обозначения: O_1A – кривошип, AB – шатун, BO_2 – коромысло, O_1O_2 – стойка. Длины звеньев обозначим буквами: кривошип – r ; шатун – l ; коромысло – h , стойка – b (рис. 2).

В рассматриваемой схеме начало осей координат находится на оси вращения кривошипа O_1 . Ось O_1x направлена по касательной к траектории, описываемой центром кинематической пары *B*. Движение

механизма начинается из положения $\varphi_k = 0^\circ$, $\psi = 0^\circ$ (рис. 2). Звенья механизма в начальном положении показаны штриховой линией – $O_1A_0B_0O_2$.

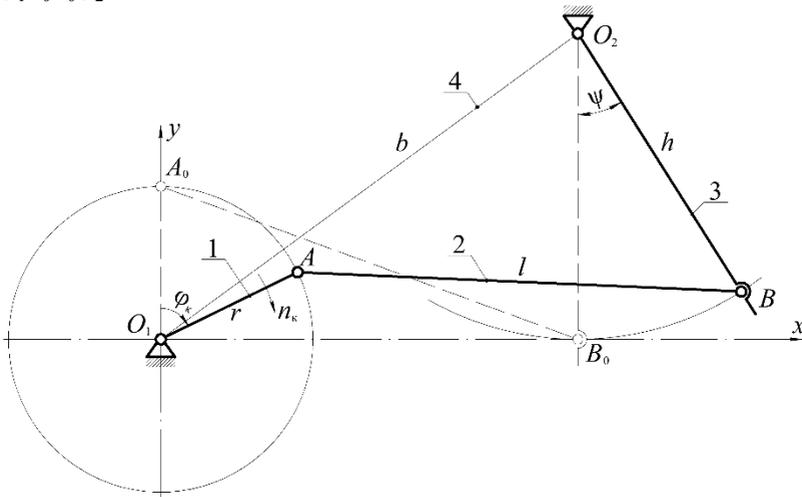


Рис. 2. Кинематическая схема приводного механизма
1 – кривошип; 2 – шатун; 3 – коромысло; 4 – стойка

При проектировании приводного механизма цепного агрегата необходимо решить ряд задач, связанных с определением геометрических параметров, кинематических и силовых характеристик. Для этого могут быть использованы теоретические и экспериментальные подходы или их сочетание.

Первоочередными задачами при проектировании приводного механизма являются установления области существования механизма и зависимости между скоростями входного и выходного звеньями, а также вопросы, связанные с поиском оптимальных соотношений геометрических параметров [5–7].

На втором этапе проектирования переходят к кинематическому анализу механизма, целью которого является определение угловых скоростей и ускорений звеньев. Для этого могут использоваться графические и аналитические методы. Применительно к приводному механизму цепного агрегата разработан оригинальный аналитический метод [8].

Определение геометрических параметров и кинематических характеристик механизма с определенной точностью можно проводить с помощью теоретического подхода. При этом следует учитывать, что

для получения точных результатов следует использовать различные средства измерения, например, для определения кинематических характеристик – скоростную съемку и акселерометр.

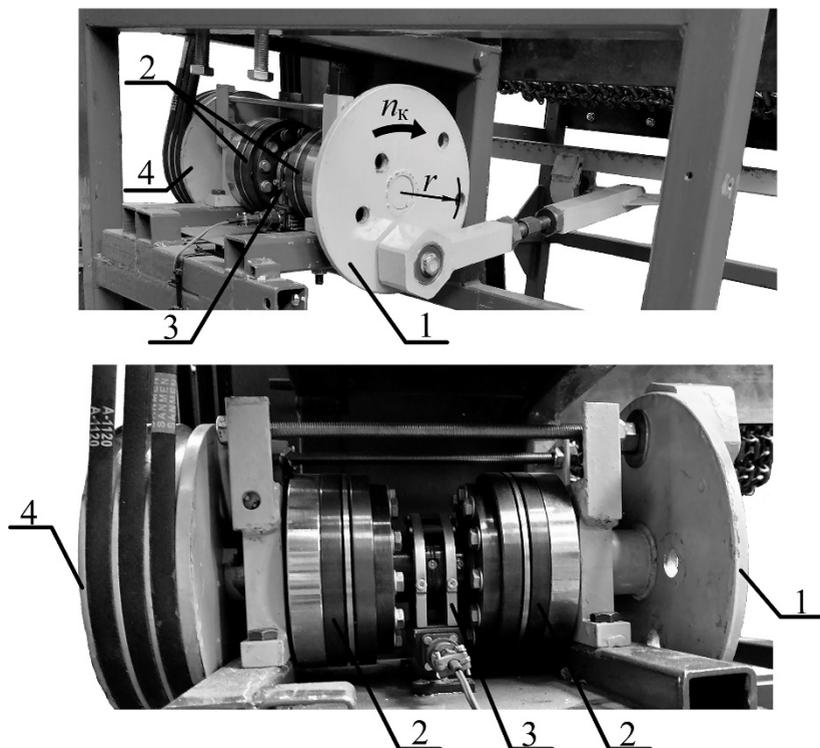


Рис. 3. Место установки датчика крутящего момента M40-1к
 1 – кривошип; 2 – компенсационные муфты МК-1;
 3 – датчик крутящего момента M40-1к; 4 – ведомый шкив

При установленных значениях геометрических параметров и кинематических характеристик приводного механизма цепного агрегата переходят к силовому анализу, который позволяет определить величину уравнивающего момента на кривошипе и значение сил взаимодействия в кинематических парах. Применительно к приводному механизму цепного агрегата разработан метод силового анализа на основе сочетания принципа Даламбера-Лагранжа и метода кинестатики [9]. Разработанный метод позволяет определить названные величины силового анализа без учета сил трения в

кинематических парах, что не в полной мере дает представление о реальных значениях силовых характеристик приводного механизма. Также известен способ, который позволяет учитывать силы трения в кинематических парах [10, 11], однако и его использование не дает подтверждение определяемым величинам в силовом анализе, так как результаты не подвергаются сравнительной оценке.

Для проверки разработанного метода силового анализа предлагается экспериментальное подтверждение полученных результатов в теоретических исследованиях. Для этих целей может быть применен датчик крутящего момента. В частности, в экспериментальных исследованиях созданного экспериментального образца (рис. 1) с целью определения момента на кривошипе использовался датчик крутящего момента М40-1к производства ООО «ТИЛКОМ» (Республика Беларусь). Место его установки показано на рис. 3.

Датчик крутящего момента М40-1к позволяет определять величину момента M через каждые 0,0002 секунды, частоту вращения кривошипа n_k и механическую мощность N . Фрагмент измерений момента одного из опытов представлен на рис. 4.

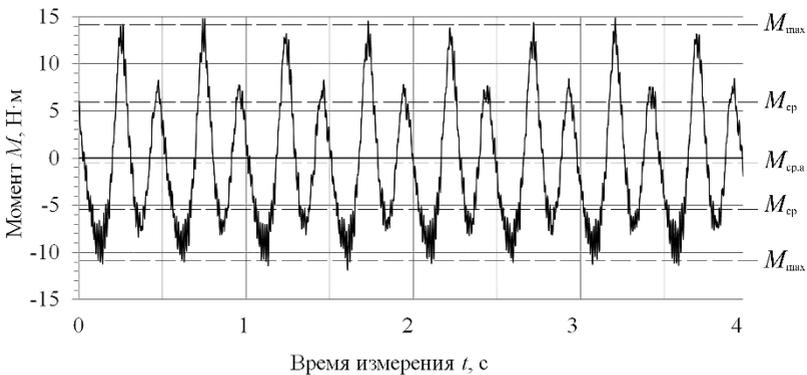


Рис. 4. Фрагмент результата измерения момента M с помощью датчика М40-1к

Из эксперимента определяется величина среднего момента $M_{ср}$, максимального M_{max} и среднего арифметического момента $M_{ср,а}$. При этом величина среднего момента $M_{ср}$ может включать в себя большое количество величин измеряемого момента M (5000 значений в секунду) и даже случайные (ошибочные) величины момента незначительно влияют на определяемую величину $M_{ср}$. Поэтому она является мерой для сравнения теоретических и экспериментальных результатов.

Сама величина $M_{\text{ср}}$ для случая переменного момента M при известной зависимости $M=f(t)$ определяется через работу A по формуле:

$$A = \omega_{\text{к}} \int_0^t M dt, \quad (1)$$

где $\omega_{\text{к}}$ – угловая скорость кривошипа ($\omega_{\text{к}} = \pi n_{\text{к}} / 30 = \text{const}$); t – время измерения.

Тогда

$$M_{\text{ср}} = A / \omega_{\text{к}} t. \quad (2)$$

В формулах (1), (2) необходимо учитывать, что работа отдельно вычисляется для положительных и отрицательных значений момента M ; поэтому получаем две величины среднего момента $M_{\text{ср}}$: положительную и отрицательную.

Существуют и другие способы определения величины $M_{\text{ср}}$, например, с помощью программы Mathcad отдельно определить площади, ограниченные кривой положительных и отрицательных значений момента. Определяемые площади представляют работу A момента M .

Момент M_{max} , необходимый для подбора двигателя, представляет собой среднюю арифметическую величину максимальных (пиковых) моментов.

Для оценки трения в кинематических парах используется момент $M_{\text{ср.а}}$ – среднее арифметическое значение всех моментов M . Её величина всегда отрицательная и характеризует моменты трения в кинематических парах. Сравнить её с теоретическими значениями возможно, только в том случае, если методика силового анализа учитывает силы трения в кинематических парах. При отсутствии сил трения $M_{\text{ср.а}} = 0$ Н·м.

Определяемые в экспериментальных исследованиях моменты $M_{\text{ср}}$, M_{max} , $M_{\text{ср.а}}$ позволяют сравнить их с теоретическими величинами, и при необходимости, ввести поправочные коэффициенты, для оценки влияния неоднородности звеньев, погрешности измерений и других факторов.

Использование теоретических и экспериментальных подходов и их сочетаний при проектировании приводного механизма позволяет приблизиться к оптимальным величинам определяемых параметров и характеристик, и в дальнейшем перейти к уточнению разработанной теории взаимодействия рабочей камеры с приводным механизмом [12].

Список литературы

1. Агрегат для переработки неоднородных и сложных по составу и свойствам материалов : пат. ЕАПО № 038851 : В02С19/16 / Л.А. Сиваченко, В.А. Потапов, Т.Л. Сиваченко. – № 202090391 ; заявл. 26.02.2020 ; опубл. 28.10.2021.
2. Потапов, В. А. Исследование влияния режимов работы цепного агрегата на показатели процесса измельчения мела в технологии производства извести/ В. А. Потапов, Л. А. Сиваченко, В. А. Дремук // Вестн. БарГУ. сер. Технические науки: 2021. – Вып. 9 – С. 37–43.
3. Сиваченко, Л. А. Многоцелевые технологические аппараты с гибким волновым рабочим оборудованием / Л. А. Сиваченко, В.А. Потапов, М.С. Кузьменкова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. Машиностроение и машиноведение. – 2022. – № 9. – С. 88–98.
4. Интенсификация технологических процессов в аппаратах адаптивного действия : коллектив. монография / Л. А. Сиваченко [и др.] : под науч. ред. Л. А. Сиваченко ; М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. – Барановичи : БарГУ, 2020. – 359 с.
5. Патапаў, У. А. Методыка ўстанаўлення залежнасцей паміж каардынатамі і вугламі ў сістэме дзвюх акружнасцей, злучаных адрэзкам / У. А. Патапаў, С. І. Русан, Л. А. Сівачэнка // Механіка. Исследования и инновации. – 2021. – Вып.14. – С. 174–182.
6. Потапов, В. А. Определение некоторых конструктивных параметров приводного механизма цепного агрегата и их анализ / В. А. Потапов, С. И. Русан, Л. А. Сиваченко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023. – № 1. – С. 41–51.
7. Патапаў, У. А. Даследаванне асіметрыі ваганняў выхаднога звяна прываднага механізма ланцужнага агрэгата / У. А. Патапаў, С. І. Русан, Л. А. Сівачэнка // Механіка. Исследования и инновации. – 2021. – Вып.14. – С. 167–173.
8. Патапаў, У. А. Распрацоўка алгарытму аналітычнага метаду кінематычнага аналізу чатырохзвеннага механізма ланцужнага агрэгата / У. А. Патапаў, С. І. Русан, Л. А. Сівачэнка, С. У. Болатаў // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2022. – №2. – С. 105–112.
9. Патапаў, У. А. Камбінаваны метады сілавога аналізу прываднага механізма ланцужнага агрэгата / У. А. Патапаў, С. І. Русан, Л. А. Сівачэнка // Вестн. БарГУ. Сер. Технические науки. – 2022. – № 2. – С. 36–46.
10. Артоблевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоблевский. – 4-е изд. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
11. Анципорович, П. П. Учет трения при силовом расчете механизмов и составлении уравнений движения / П. П. Анципорович, В. К. Акулич, Е. М. Дубовская // Теоретическая и прикладная механика. Выпуск 27 : международный научно-технический сборник / под ред. А.В. Чигарева ; БНТУ. – Минск, 2012. – С.334 – 337.
12. Патапаў, У. А. Камбінаваная і трохстрыжнявая мадэлі рабочых органаў камеры ланцужнага агрэгата і іх даследаванне / У. А. Патапаў, С. І. Русан, Л. А. Сівачэнка // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2023. – №2. – С. 85–92.

УДК 666.9.022.31

АНАЛИЗ СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ КУБОВИДНОГО ЩЕБНЯ
ИЗ ЛЕЩАДНОГО МАТЕРИАЛА

Прокопенко В.С.¹, Романович А.А.¹, Гапич А.А.¹

*1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

В настоящее время применение щебня в строительстве бетонных конструкций является одним из главного материала, и доля потребления его ежегодно растет. Внесостоящее время можно получить на современных комплексах только 10-25% получают кубовидного щебня и около 45% это лещадный материал. В работе представлена схема получения кубовидного щебня из лещадного матерела, что существенно может повысить количество готового продукта.

Ключевые слова: агрегат, кубовидный щебень, направленная подача, лещадный материал.

ANALYSIS OF THE PATTERN OF CUBE -SHAPED ANALYSIS OF
THE PATTERN OF CUBE -SHAPED CRUSHED STONE FROM
BREAM MATERIAL

Prokopenko V.S.¹, Romanovich A.A.¹, Gapich A.A.¹

*Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov,
Belgorod*

Currently, the use of crushed stone in the construction of concrete design is one of the main material, and the share of its consumption is growing annually. A sales time can be obtained on modern complexes only 10-25% receive cube-shaped gravel and about 45% is bream material. The work presents a scheme for obtaining a cube -shaped crushed stone from a bream mother, which can significantly increase the amount of finished product.

Key words: the unit, cuboid crushed stone, directed feed, bream material.

Кубовидный щебень - это тип щебня, который имеет форму куба или близкую к ней. Он отличается от обычного щебня, который имеет более плоскую и вытянутую форму. Кубовидный щебень обладает рядом преимуществ, включая повышенную прочность, долговечность и устойчивость к истиранию.

Кубовидный щебень широко применяют в различных областях, включая:

- Дорожное строительство
- Строительство взлетно-посадочных полос
- Железнодорожное строительство
- Строительство мостов и других инженерных сооружений

Одним из способов производства кубовидного щебня является использование лещадного материала. Лещадный материал - это тип щебня, который имеет высокое содержание плоских и вытянутых частиц. Для получения кубовидного щебня из лещадного материала необходимо провести дополнительную обработку.

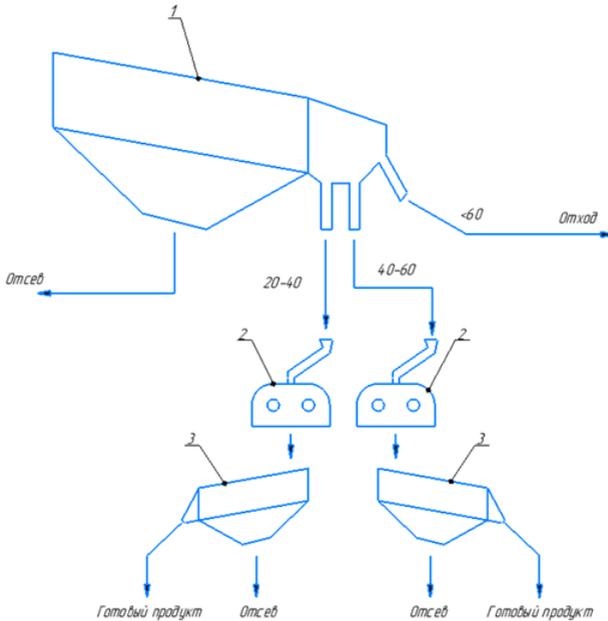


Рис. 1. Технологическая схема дробления:

1, 3 – грохот; 2 – агрегат для получения кубовидного щебня.

При получении кубовидного щебня из лещадной фракции. Очень важно правильно подать материал в агрегат для получения кубовидного щебня. Здесь очень большую роль влияет его толщина для получения готовой фракции так как зазор в агрегате не может регулироваться вовремя подачи материала. Поэтому необходимо дополнительно провести классификацию подаваемого лещадного материала предварительно перед подачей в агрегат для получения кубовидного щебня. На рисунке 1 представлена схема производства кубовидного щебня из лещадного материала.

Схема производства кубовидного щебня из лещадного материала включает следующие этапы:

1. Лещадный материал предварительно классифицируется по толщине. Это необходимо для того, чтобы обеспечить равномерную подачу материала в агрегат и предотвратить его забивание.

3. Классифицированный материал подается в агрегат для получения кубовидного щебня.

4. Материал обрабатывается в агрегате, что приводит к образованию кубовидного щебня.

5. После происходит отделения готового материала.

Производство кубовидного щебня из лещадного материала является эффективным способом получения высококачественного материала, который обладает рядом преимуществ. Кубовидный щебень широко используется в различных областях, где требуется прочный, долговечный и устойчивый к износу материал. Контроль качества является важным аспектом производства кубовидного щебня, чтобы обеспечить соответствие требуемым стандартам.

Список литературы

1. Агрегат для получения кубовидного щебня / М. А. Романович, А. А. Романович, Е. И. Чеховской, А. П. Бутов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 12. – С. 151-158. – DOI 10.34031/2071-7318-2020-5-12-151-158. – EDN UCDSH.
2. Агрегат для получения кубовидного щебня / А. А. Романович, М. А. Романович, В. С. Прокопенко [и др.] // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в машиностроительной, дорожной и строительной отраслях - 2023 : Материалы международной научно-практической конференции, Белгород, 21–23 сентября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 221-229. – EDN GHDCCK.
3. Патент на полезную модель № 226841 U1 Российская Федерация, МПК В02С 4/02. пресс-валковый агрегат : № 2024111657 : заявл. 26.04.2024 : опубл. 26.06.2024 / А. А. Романович, М. А. Романович, В. С. Прокопенко, Ю. Г. Шестаков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова".
4. Романович, А. А. Пресс-валковый агрегат с устройством для направленной подачи анизотропных материалов / А. А. Романович // Механизация строительства. – 2015. – № 8(854). – С. 56-58. – EDN UDOSZJ.
5. Производство кубовидного щебня и строительного песка с использованием вибрационных дробилок / В. А. Арсентьев, Л. А. Вайсберг, Л. П. Зарогатский, А. Д. Шуляков. – Санкт-Петербург : Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, 2004. – 112 с. – EDN QMXVST.

УДК 631.171

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ГРАНУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГОТОВОГО ПРОДУКТА

Прокопенко В.С.¹, Романович А.А.¹, Резанов Д.С.¹

1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Процесс гранулирования играет ключевую роль в производстве качественного и удобного в использовании оборудования для получение готового продукта из отходов промышленности. В настоящее время переработка отходов – одно из перспективных направлений работы современных предприятий. Вместе с существенной экономической выгодой оно приносит пользу окружающей среде. В статье рассмотрены конструкции для получения гранул, также освещены плюсы и минусы данных машин.

Ключевые слова: гранулятор, прессование, конструкции, переработка.

ANALYSIS OF GRANULATOR DESIGNS TO OBTAIN THE FINISHED PRODUCT

Prokopenko V.S.¹, Romanovich A.A.¹, Gapich A.A.¹

Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov, Belgorod

The granulation process plays a key role in the production of high-quality and user-friendly equipment for obtaining a finished product from industrial waste. Currently, waste recycling is one of the promising areas of work of modern enterprises. Together with significant economic benefits, it benefits the environment. The article discusses designs for producing granules, and highlights the pros and cons of these machines.

Key words: granulator, pressing, constructions, processing.

Гранулирование самая распространенная технология обработки материалов. Прессование материала под высоким давлением в компактную форма (гранулы) без добавления связующего вещества.

Гранулирование применяется для древесных опилок, стружки, древесной пыли, солома, хлопок, текстиль (натуральные материалы, синтетические материалы в сочетании с материалами, содержащими лигнин), бумага, минеральные отходы и другие. Предельные условия обработки материала зависят от влажности (макс. 15 % по массе) и зернистость материал, длина которого не должна превышать 15 мм в одном направлении.

Такой метод обработки обладает несколькими ключевыми преимуществами:

1. Увеличение плотности материала. Это позволяет экономить место при хранении и транспортировке.
2. Снижение влажности. Гранулированные и брикетированные материалы имеют более низкую влажность, что делает их более эффективными для сжигания в качестве топлива.
3. Универсальность. Готовые изделия можно использовать в качестве биотоплива, в сельском хозяйстве или в производстве строительных материалов.

Машины для гранулирования можно разделить:

1. Привод - механический, гидравлический.
2. В зависимости от используемого пресс инструмента - ротор пресс, шестерня, прижимные ролики (цилиндрические, конические), винтовая линия.
3. Тип по положению матрицы - горизонтальный, вертикальный.
4. По типу матрицы – пластинчатая матрица, кольцевая (цилиндрическая) матрица.

Самый простой гранулятор это гидравлический поршневой, можно разделить на одно штоковый и двух штоковый. Производительность данного типа гранулятора составляет от 0,1 до 0,5 т/ч. Гранулы характеризуются высокой степенью сжатия и большой прочностью. Как правило производительность таких машин около 0,5 т/ч

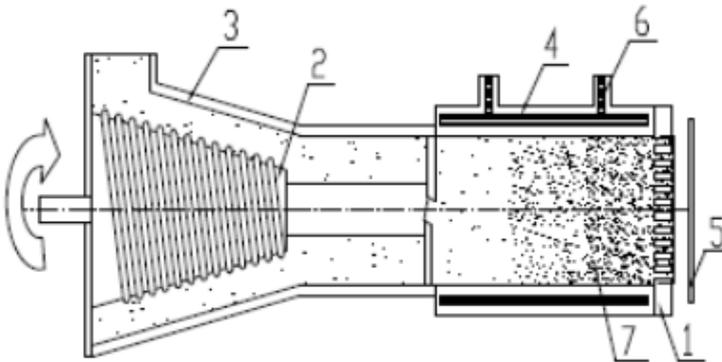


Рис. 1. схема шнековой грануляционной машины:
1-матричный, 2-спиральный, 3-камерный, 4-излучатель, 5-нож, 6-хладагент, 7-обрабатываемый материал

Спиральная машина для гранулирования (рис. 1) - спиральный питатель также является прессующим инструментом. Материал проталкивается через круглую матрицу под большим давлением. Гранулы отламываются после контакта с твердым веществом тарелка. К преимуществам можно отнести бесперебойную работу, простую замену матрицы (изменение диаметра гранул). Недостатками являются необходимость в охлаждающем оборудовании (охлаждение камеры прессы) и низкая мощность машины (кг/ч).

Горизонтальная грануляционная машина с цилиндрическими роликами и кольцевой матрицей (рис. 2). Материал в камеру подается в направлении оси матрицы. В то же время вращение кольцевой матрицы приводит к перемешиванию материала. Шкивы вращаются только вокруг своей оси вращения. Гранулы срезаются ножами. Преимущество этого конструктивным решением является небольшой износ роликов и матрицы, недостатком является неравномерность подачи материала под оба шкива.

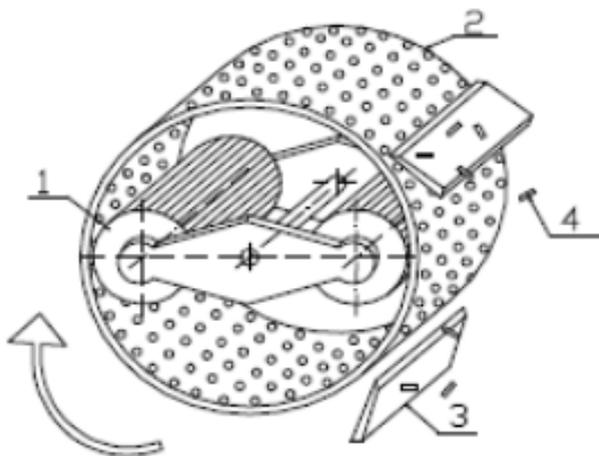


Рис. 2. Схема горизонтальной роликовой грануляционной машины: 1-прижимные ролики, 2-стальная матрица, 3-нож, 4-гранулы

Горизонтальная грануляционная машина с кольцевой матрицей и ротором прессы (рис. 3). Конструкция идентичен предыдущему типу. Разница заключается в инструменте для прижима. Преимущество этой машины заключается в простоте конструкции. Недостатком является более высокое трение что приводит к более быстрому износу ротора.

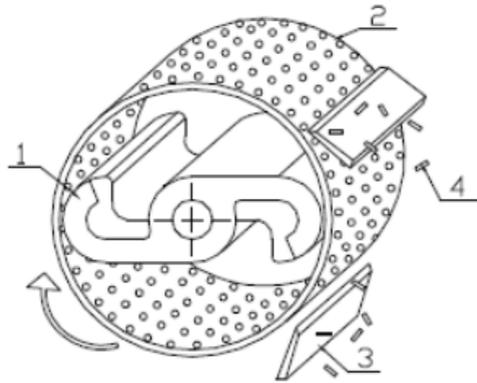


Рис. 3. Схема горизонтальной грануляционной машины с ротором прессы: 1-ротор прессы, 2-стальная матрица, 3-лопасти, 4-гранулы

Горизонтальная зубчатая грануляторная машина (рис. 4). Пресс состоит из двух полых зубчатые цилиндры. В зубчатых колесах имеются отверстия, через которые материал проталкивается внутрь цилиндров. В полостях цилиндра установлены ножи, которые режут гранулы. Преимуществом является простое дозирование материала. Недостатком является малое количество зубьев и, соответственно, малая производительность.

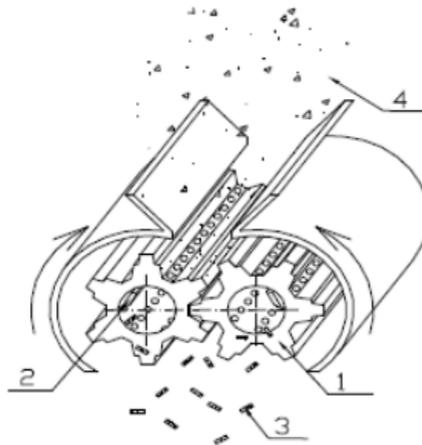


Рис. 4. Схема гранулятора с горизонтальным зубчатым шкивом: 1-зубчатые шкивы, 2-ножи, 3-гранулы, 4-прессованные опилки

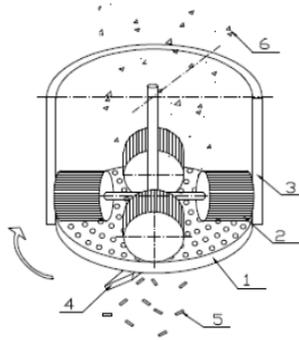


Рис. 5. Схема вертикальной грануляционной машины с цилиндрическими роликами [17] 1-плоская матрица, 2-роликовые вальцы, 3-камера прессования, 4-ножи, 5-гранулы, 6-опилки

Вертикальная машина для гранулирования с цилиндрическими роликами и плоской матрицей (рис. 5). Ролики расположены не подвижны а матрица вращается. Материал равномерно распределяется по всей поверхности матрицы. Ножи для резки гранул их помещают под матрицу. Преимуществом этого принципа является равномерная дозировка материальной и динамический баланс системы. Недостатком является довольно большой износ вальцов за счет постоянного прижимания к поверхности матрицы.

Вертикальная грануляционная машина с коническими роликами и плоской матрицей (рис. 6). Использование конических роликов обеспечивают равномерный износ по всей высоте. В большинство конструкций состоит из 3-х роликов, повернутых на 120° . Ролики неподвижны, матрица вращается.

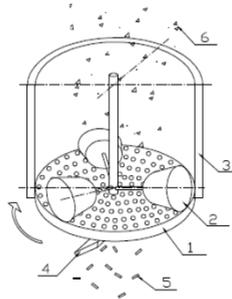


Рис. 6. Схема гранулятора с вертикальным конусным шкивом: 1-плоская матрица, 2-конические ролики, 3-камера прессования, 4-ножи, 5-гранулы, 6-опилки

Список литературы

1. Агрегат для получения кубовидного щебня / М. А. Романович, А. А. Романович, Е. И. Чеховской, А. П. Бутов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 12. – С. 151-158. – DOI 10.34031/2071-7318-2020-5-12-151-158.
2. Лотов, В. А. Универсальная конструкция шнекового пресса / В. А. Лотов // Известия вузов. Физика. – 2015. – Т. 58, № 6-2. – С. 173-179
3. Урашева, Д. М. Разработка мобильного грануляторного комплекса АПК / Д. М. Урашева, Т. К. Балгабеков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 10. – С. 33-37.
4. Брусенков, А. В. Обоснование конструктивных параметров кольцевой матрицы пресс-гранулятора / А. В. Брусенков, Д. Н. Коновалов // Вестник машиностроения. – 2024. – Т. 103, № 8. – С. 619-623. – DOI 10.36652/0042-4633-2024-103-8-619-623.
5. Прохорова, Л. Н. Технический анализ инновационных пресс-грануляторов / Л. Н. Прохорова, К. В. Богданов, А. В. Николаев // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства : Материалы VI Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 29 февраля 2024 года. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2024. – С. 213-217.
6. Давиденко, С. В. Конструктивно-технологическая схема пресс-гранулятора / С. В. Давиденко, А. Н. Макаренко // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК : Материалы Международной студенческой научной конференции. В 4-х томах, Майский, 18–19 марта 2020 года. Том 3. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2020. – С. 20.

УДК 621.873

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОПРОКИДЫВАЮЩИХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ ПОВОРОТЕ КРАНА С ГРУЗОМ

Редькин А.В.¹, Алексеенко А.В.¹

1. ФГБОУ ВО Тульский государственный университет, г. Тула

Рассмотрен рабочий процесс механизма поворота стрелового самоходного крана, разделенный на три условных этапа. Это позволяет определять возникающие нагрузки с учетом сил инерции возникающих в процессе разгона и торможения исполнительных механизмов и раскачивания груза на канате.

Ключевые слова: стреловые самоходные краны, нагрузки на опоры, упругость металлоконструкций, просадка грунта

MODELING THE OCCURRENCE OF ADDITIONAL TILTING
DISTURBANCES WHEN A CRANE WITH LOAD IS TURNED

*Redkin A.V.¹, Alexeyenko A.V.¹,
1. Tula State University, Tula*

The working process of the rotation mechanism of a boom self-propelled crane is considered, divided into three conditional stages. This allows determining the resulting loads taking into account the inertial forces arising during the acceleration and braking of actuators and the swinging of the load..

Key words: boom self-propelled cranes, support loads, elasticity of metal structures, soil subsidence

Исследования устойчивости стреловых кранов и загруженности исполнительных механизмов базируются на рассмотрении классических динамических моделей колебательных систем. Стреловые самоходные краны при рассмотрении их колебаний представляют собой динамические системы с большим числом степеней свободы [1–4]. Исследования загруженности исполнительных механизмов грузоподъемных кранов отражены во многих работах. Существующая нормативная методика расчета устойчивости стреловых кранов является методикой статического расчета, а процесс опрокидывания крана является динамическим процессом. Причины потери устойчивости могут быть самыми разнообразными, но так или иначе они связаны с превышением опрокидывающего момента над удерживающим вследствие перегрузок, возникающих на рабочем органе. В большинстве случаев эти перегрузки возникают в момент переходных процессов в результате динамических нагрузок. Опрокидывание вследствие превышения допустимой массы груза предотвращается (при соблюдении правил безопасной эксплуатации) даже простейшими механическими ограничителями грузоподъемности.

Рассмотрим влияние изменения инерционных сил во время поворота крана с подвешенным грузом. Процесс любого движения характеризуется двумя составляющими: силы сообщающие телу движение и силы противодействующие движению. Наряду с силами сопротивления при трении в механизмах, от уклона опорной поверхности и силы ветра, против движения действуют силы инерции. Зная характер движения можно определить, как силы инерции будут влиять на это движение. Из [5] известно, что силу инерции, действующую на тело во время вращательного движения, можно представить в виде векторной суммы двух составляющих: вращательную P_i^e (действующую в противоположную сторону

вращательному ускорению) и центробежную силу P_i^ω (направленную противоположно центростремительному ускорению). Из этого следует отсутствие составляющих инерционной силы при отсутствии соответствующих компонентов ускорений.

Модули этих сил:

$$P_i^\omega = m_i r_i \omega^2; \quad P_i^\varepsilon = m_i r_i |\varepsilon|.$$

Для определения возникающих при повороте крана реакций, сообщающих дополнительное опрокидывающее воздействие исследуемой системе, а также для выявления закона изменения расстояния от центра масс груза до оси вращения системы предлагается принцип Германа – Эйлера – Даламбера, который представляет собой следующую зависимость:

$$\sum \vec{F}_i + \sum \vec{R}_i + \sum \vec{P}_i = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

где \vec{F}_i – равнодействующая задаваемых сил; \vec{R}_i – равнодействующая реакций связей; \vec{P}_i – сила инерции.

Также из закона следует, что, проводя из произвольного неподвижного центра «0» в каждую точку системы, которой сообщается сила, радиус вектор – получаем момент и следующее равенство:

$$\sum M_o^F + \sum M_o^R + \sum M_o^P = 0.$$

При повороте крана с грузом можно выделить два критических промежутка времени – период разгона и период торможения.

В первом промежутке от $\tau = 0$ до $\tau = T_1$ стрела начинает вращательное движение из состояния покоя с некоторым ускорением ε и начинает набирать скорость ω в то время, когда груз остается в состоянии покоя сохраняемом силой инерции, действующей противоположно движению. Пока груз не начал движение действует составляющая силы инерции происходящая от сообщаемого стреле ускорения P_i^ε , а центробежная сила отсутствует. В силу того, что канат имеет гибкость и жесткость c_k , груз отклоняется относительно стрелы, приобретая потенциальную энергию.

Рассмотрим силы, действующие на кран с грузом в конце первого этапа, для этого введем некоторые обозначения: ε – угловое ускорение, c^2 ; ω – угловая скорость поворотной части крана c^{-1} ; ω_2 – угловая скорость груза, подвешенного на канате, c^{-1} ; $r_c, r_2, r_{Ц}, r_{оголов}$ – расстояние от оси вращения крана до центра масс стрелы, груза, опорного гидроцилиндра, до оголовка стрелы; $h_c, h_2, h_{Ц}, h_{оголов}$ –

будут изменяться силы, действующие на груз, что будет влечь за собой изменение расстояния r_z . В конце первого этапа стрела уже имеет скорость и продолжает ускоряться, поэтому на нее будут действовать обе составляющие инерционных силы.

$$P_c^{\varepsilon} = J_c \varepsilon_1,$$

$$P_c^{\omega} = J_c \omega_1^2,$$

где J_c - моменты инерции стрелы.

Учитывая особенности вращательного движения и, вводя некоторое допущение, надо сказать, что стрела является абсолютно жесткой и не будет иметь прогиба, а, значит, угловая скорость и угловое ускорение стрелы у пяты и у оголовка будут одинаковыми.

Уравнениям соответствуют три проекций внешних задаваемых сил, реакций связей и сил инерции на оси координат и три уравнения моментов этих же сил относительно осей координат. Таким образом, будем иметь шесть уравнений.

Проекции сил на ось X_1, Y_1, Z_1 соответственно:

$$R_{xx} \cdot \sin \alpha_1 - P_{xz}^{\varepsilon} + P_{xz}^{\omega} - P_{xz}^{\varepsilon} + R_{xc} \cdot \cos \gamma + R_{ll} \cdot \cos \varphi = 0;$$

$$R_{xy} \cdot \sin \beta_1 - P_{yz}^{\varepsilon} - P_{yz}^{\omega} - P_{yz}^{\varepsilon} = 0;$$

$$R_{xx} \cdot \cos \alpha_1 + R_c \cdot \sin \gamma + R_{ll} \cdot \sin \varphi - G_z - G_c = 0.$$

Моменты M_x, M_y, M_z относительно точки опоры А стрелы (пяты):

$$G_z \Delta y - R_{yx} \cdot h_{оголов} \cdot \sin \beta_1 + P_{yz}^{\varepsilon} \cdot h_z + (P_{yz}^{\varepsilon} + P_{yz}^{\omega}) \cdot h_c = 0;$$

$$(P_{xc}^{\omega} - P_{xc}^{\varepsilon}) \cdot h_c + G_z \cdot r_z + G_c \cdot r_c - P_{xz}^{\varepsilon} \cdot h_z - R_{xx} \cdot l_{cmp} \cdot \sin(90 - \gamma - \alpha) -$$

$$- R_{ll} \cdot \frac{h_y}{\sin \phi} \cdot \operatorname{tg} \phi = 0;$$

$$P_{xz}^{\varepsilon} \cdot \Delta y + P_{yz}^{\varepsilon} \cdot r_z + (P_{yz}^{\varepsilon} + P_{yz}^{\omega}) \cdot r_c - M_{np} -$$

$$- R_{xx} \cdot \sin \alpha_3 \cdot l_{cmp} \cdot \cos \gamma \cdot \operatorname{ctg} \psi = 0.$$

При описании состояния груза, подвешенного на канате, во время поворота стрелы, были обозначены шесть неизвестных. Число их соответствует количеству уравнений в системе, что позволяет выразить необходимые величины через задаваемые.

Принцип Германа – Эйлера – Даламбера указывает на то, что последнее уравнение системы будет являться уравнением движения для рассматриваемой системы на данном этапе поворота.

Угол ψ выражается:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{r_{оголов} - r_z}{\Delta y}.$$

Рассмотрим второй этап поворота, характеристика которого заключается в следующем. Стрела, набрав номинальную скорость, продолжает движение без вращательного ускорения; груз преобразует потенциальную энергию в кинетическую, набирая скорость с некоторым ускорением ε_z . Положение груза будет определять радиус-вектор \vec{r} , который будет изменяться в зависимости от степени набирания грузом скорости ω_z , и будет стремиться к удалению от оси вращения (рис. 2).

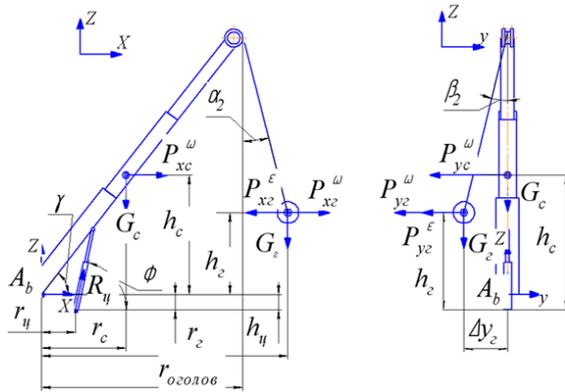


Рис.2. Второй этап поворотного движения

По принципу Германа – Эйлера – Даламбера составим уравнения соответствующие этому этапу.

Проекции на ось X_2, Y_2, Z_2 соответственно:

$$P_{xz}^{\omega} - R_{xx} \cdot \sin \alpha_2 - P_{xz}^{\varepsilon} + P_{xc}^{\omega} + R_{xc} \cdot \cos \gamma + R_{ll} \cdot \cos \varphi = 0;$$

$$R_{xy} \cdot \sin \beta_2 - P_{yz}^{\varepsilon} - P_{yc}^{\omega} - P_{yz}^{\omega} = 0;$$

$$R_{xx} \cdot \cos \alpha_2 \cdot \cos \beta_2 + R_c \cdot \sin \gamma + R_{ll} \cdot \sin \varphi - G_z - G_c = 0.$$

Моменты M_x, M_y, M_z относительно точки опоры А стрелы (пяты):

$$G_z \Delta y - R_{yx} \cdot h_{\text{осолов}} \cdot \sin \beta_1 + P_{yz}^{\omega} \cdot h_c + (P_{yz}^{\varepsilon} + P_{yz}^{\omega}) \cdot h_z = 0;$$

$$P_{xc}^{\omega} \cdot h_c + G_z \cdot r_z + G_c \cdot r_c - P_{xz}^{\varepsilon} \cdot h_z + P_{xz}^{\omega} \cdot h_z -$$

$$-R_{xx} \cdot l_{\text{cmp}} \cdot \sin(90 - \gamma + \alpha_2) - R_{ll} \cdot \frac{h_y}{\sin \varphi} \cdot \text{tg} \varphi = 0;$$

$$M_{np} - (P_{yz}^{\omega} + P_{yz}^{\varepsilon}) \cdot r_z + (P_{xz}^{\omega} + P_{xz}^{\varepsilon}) \cdot \Delta y - P_{xc} \cdot r_c + \frac{R_{xx} \cdot \sin \alpha_2}{\cos \psi} \cdot l_{\text{cmp}} \cdot \cos \gamma \cdot \sin \psi = 0.$$

В частном случае движения системы, когда груз будет находиться на подвижной оси «х», будет иметь место наибольшее удаление груза

от оси вращения на данном этапе, поэтому важно знать уравнение движения на этом этапе, которое будет иметь вид:

$$M_{np} - (P_{y2}^{\omega} + P_{y2}^{\varepsilon}) \cdot r_c - P_{yc} \cdot r_c = 0$$

Проекции на оси X_2, Z_2 соответственно:

$$P_{xc}^{\omega} - R_{xc} \cdot \sin \alpha_2 - P_{xc}^{\varepsilon} + P_{xc}^{\omega} + R_{xc} \cdot \cos \gamma + R_{ll} \cdot \cos \varphi = 0;$$

$$R_{xc} \cdot \cos \alpha_2 + R_c \cdot \sin \gamma + R_{ll} \cdot \sin \varphi - G_c - G_c = 0;$$

Момент M_y относительно точки опоры А стрелы (пяты)

$$P_{xc}^{\omega} \cdot h_c + G_c \cdot r_c + G_c \cdot r_c - P_{xc}^{\varepsilon} \cdot h_c + P_{xc}^{\omega} \cdot h_c - \\ - R_{xc} \cdot l_{cmp} \cdot \sin(90 - \gamma + \alpha_2) - R_{ll} \cdot \frac{h_y}{\sin \varphi} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 0.$$

Момент M_y будет определять максимальный опрокидывающий момент на данном этапе движения. Как видно из уравнения, увеличение момента будет следствием увеличения ε_2 и ω_r .

Угол ψ на втором этапе движения имеет отличие и выражается:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{\Delta y}{r_{\text{оголов}} - r_c}.$$

Третьему этапу соответствует торможение механизма, что вызывает дополнительные инерционные нагрузки от тормозного момента, действующего в противоположном направлении движению, следовательно, ускорение действует против движения (рис. 3).

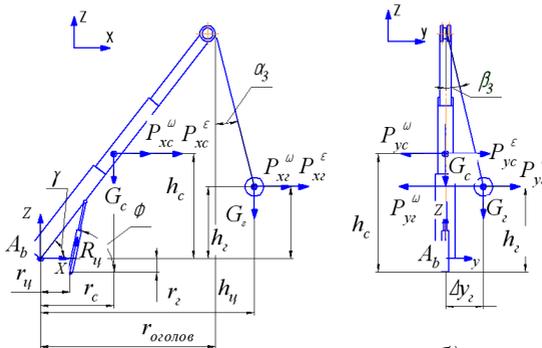


Рис. 3. Расчетная схема для этапа торможения

На груз будут действовать обе составляющие инерционной нагрузки, и наибольшее удаление от центра вращения будет наблюдаться, когда стрела уже завершит свое движение, а груз, продолжая движение по инерции, наберет максимально возможную потенциальную энергию. Очевидно, что полученные системы

уравнений являются нелинейными. Для решения понадобится ввести некоторые допущения, позволяющие устранить нелинейность, которые в свою очередь не должны противоречить решаемой задаче.

На основании проведенного анализа возникновения динамических нагрузок во время совершения рабочих операций с грузом установлено, что разбиение процесса поворота на три этапа позволяет точно определить опрокидывающий момент с учетом центростремительного ускорения и силы инерции. Предложенные математические модели состояния ССК при совершении рабочих операций учитывают действие сил инерции, возникающих при выполнении рабочих операций краном с подвешенным на стреле грузом. Учтены дополнительные силы, влияющие на опрокидывающий момент при увеличении значений вылета стрелы, высоты подвеса и ускорения движения.

Список литературы

1. Ватулин Я.С., Потахов Д.А., Потахов Е.А. Моделирование потери устойчивости свободно стоящих стреловых самоходных кранов // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2016. №4 (36). С. 60-66.
2. Анцев В.Ю., Витчук П.В., Крылов К.Ю. Дефекты и отказы автомобильных кранов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. №7. С. 88-93.
3. Редькин А.В., Сорокин П.А. Методы обеспечения устойчивости стреловых самоходных кранов при ненормируемых внешних воздействиях // Строительные и дорожные машины. 2016. №9. С. 16-19.
4. Редькин А.В., Сорокин П.А., Ильин В.С. Система контроля грузовой устойчивости мобильных грузоподъемных машин // Строительные и дорожные машины. 2017. №8. С. 16-19.
6. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Ч.II. Динамика: Учебник для вузов. – 6-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 1984. – 423с.

УДК 691.3.02

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕСС-ВАЛКОВОГО АГРЕГАТА В ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ ГОРНЫХ ПОРОД И ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Романович А.А.¹, Прокопенко В.С.¹, Лаптева М.А.¹, Сухоруков И.Н.¹

1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

В статье приводится описание пресс-валкового агрегата со съемными рабочими органами, в результате исследования которого установлено, что при применении зубчатых бандажей для измельчения горных пород со сланцевой текстурой с целью получения щебня

необходимо учитывать многие факторы: прочностные характеристики материалов, их структурно-текстурные признаки, а главное способ и направление приложения разрушающих усилий.

Применение конструкции пресс-валкового агрегата со съёмными гладкими валками в технологической линии получения композиционных вяжущих перед шаровой мельницей позволило снизить удельные энергозатраты на 30-40%, увеличить производительность линии на 25-35% и повысить активность вяжущего. Это подтверждают проведенные сравнительные испытания композиционных вяжущих, полученных в технологии с применением пресс-валкового агрегата и в традиционной шаровой мельнице в результате которых установлено, что балочная прочность образцов на сжатие и изгиб выше на 15-20%, в предлагаемой технологии по сравнению с традиционным способом измельчения. Это обусловлено тем, что активированные образцы из вяжущего, полученного в комплексе по сравнению с эталонным, полученным традиционным способом имеют более плотную однородную структуру с хорошей адгезией цементного камня к заполнителю.

Ключевые слова: пресс-валковый агрегат, съёмные рабочие органы, сравнительные испытания.

APPLICATION OF A PRESS UNIT IN THE TECHNOLOGIES OF THE PROCESSING OF ROCKS AND TECHNICAL MATERIALS

Romanovich A.A.¹, Prokopenko V.S.¹, Lapteva M.A.¹, Sukhorukov I.N.¹

1. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov, Belgorod

The article gives a description of a press-vulving unit with removable working bodies, as a result of the study of which it was established that when using gear bandages for grinding rocks with a shale texture, it is necessary to take into account many factors: the strength characteristics of the materials, their structural and texture. Signs, and most importantly, the method and direction of the application of destructive efforts.

The use of the design of the press-vowel unit with removable smooth rolls in the technological line of obtaining composite knitting in front of a ball mill allowed to reduce specific energy-items by 30-40%, increase the line productivity by 25-35% and increase the activity of the knitting. This is confirmed by comparative trials of composite binders received in technology using a press unit and in a traditional ball mill resulting in which it was established that the beam strength of samples for compression and bending is higher by 15-20%, in the proposed in the proposed Technology compared

to the traditional method of grinding. This is due to the fact that activated samples from the binder obtained in the complex compared to the reference, half-into the traditional way have a denser homogeneous structure with good adhesion of cement stone to the aggregate.

Key words: press-walker unit, removable working bodies, comparative tests.

Россия входит в десятку крупнейших экономик мира с преобладанием тяжелой промышленности, в том числе производства строительных материалов и занимает третье место в мире по масштабам энергопотребления, при этом тратит больше энергии на единицу внутреннего валового продукта (ВВП), чем любая из стран, входящих в десятку крупнейших потребителей энергии. Согласно данным по показателю объема производства потребление энергии в России составляло 0,42 кг нефтяного эквивалента на 1 доллар ВВП. В то же время в развитых странах, таких, как Германия, Франция, Япония этот показатель не превышает - 0,14, в США – 0,19, а в Канаде - 0,25.

Современная строительная индустрия базируется на переработке огромного количества нерудных материалов с различным минералогическим составом и физико-механическими свойствами (известняков, гранитов, базальтов, кварцито-песчаников, мраморов и др.). При этом их переработка сопровождается значительными материальными и энергетическими затратами. Поэтому снижение энергозатрат на измельчение материалов является весьма актуальным [1]. В то же время проведенный анализ горных пород позволил установить, что они отличаются своим геологическим происхождением, минералогическим составом, текстурой и физико-механическими свойствами и содержат в себе скрытые резервы энергосбережения [2 - 3]. Особое место среди них занимают горные породы с анизотропной (сланцевой) текстурой, характеризующиеся различными физико-механическими параметрами среды и пределом прочности при сжатии в зависимости от направления приложения усилия (табл.1).

Большие запасы материалов с анизотропной (сланцевой) текстурой находятся (при неглубоком залегании) на Украине, в Молдавии, России (регион КМА, Кольский полуостров, Якутия, Урал, на Кавказе) в Средней Азии и других регионах.

Однако на сегодня как у нас в стране, так и за рубежом проектируемое и выпускаемое дробильно-помольное оборудование не учитывает текстуру измельчаемых материалов.

Характеристики анизотропных материалов

Материал	Предел прочности на сжатие, МПа		Коэффициент анизотропии
	Перпендикулярно сланцеватости	Параллельно сланцеватости	
Известняки органогенные	95	65	1,46
Мрамор полосчатый	226	162	1,4
Известняк плотный полосчатый	101,3	72	1,41
Мергель	42	35	1,2

Поэтому одним из направлений, позволяющих получить материалы с новыми свойствами и значительно уменьшить затраты электроэнергии на реализацию процессов измельчения является использование в помольной технологической линии пресс-валкового комплекса с гладкими вальцами, позволяющего осуществлять разрушение кусков горных пород в направлении их наименьшей их прочности, что приводит к снижению удельных энергозатрат на 30-40%, и повышению производительности линии на 25-35%, а также улучшению свойств готовой продукции [4 - 5].

Развитие сети дорог в Белгородской области повлекло за собой потребность в увеличении объемов щебеночных материалов, а добыча полезных ископаемых открытым способом привела к образованию хвостохранилищ вскрышных пород, находящихся в отвалах Стойленского и Лебединского ГОКов. Значительную часть в этих отвалах занимают горные породы со сланцевой текстурой, которые при определенной их переработке могут быть использованы в дорожном строительстве, производстве железобетонных изделий и других отраслях промышленности (например, получение щебня определенных размеров). Это несомненно приведет к улучшению экологической обстановки в регионе и позволит существенно снизить расход электроэнергии в технологиях их переработки [6].

Результаты проведенных исследований показали, что при измельчении горных пород со сланцевой текстурой эффективность процесса разрушения определяется многими факторами: прочностными характеристиками материалов, их структурно-текстурными признаками, а главное способом и направлением приложения разрушающих усилий. Анализ научно-технических исследований процессов разрушения горных пород с различной текстурой в

дробильно-помольных комплексах [7 - 8] показывает, что при организации их измельчения необходимо учитывать не только их специфические особенности, но и условия организации самого процесса:

- условия загрузки горных пород со сланцевой текстурой с созданием направленного движения их кусков;
- направления приложения силовой нагрузки;
- конструктивно-технологические приёмы, позволяющие повысить эффективность процесса измельчения горных пород;
- реализация эффективных конструктивно-технологических решений, обеспечивающих повышение износостойкости рабочих органов оборудования и его эксплуатационной надёжности и др.

Проведенный анализ конструкции дробильно-помольного оборудования, и рациональных условий разрушения горных пород, имеющих анизотропную текстуру, свидетельствует о целесообразности использования для этих целей пресс-валковых агрегатов (ПВА) [9-10], обладающих рядом преимуществ: простотой конструкции и надёжностью эксплуатации, высокой производительностью и незначительными удельными энергозатратами, невысокими металлоёмкостью и скоростными параметрами рабочих органов, возможностью их дальнейшего конструктивно-технологического совершенствования с учётом специфических особенностей измельчаемого сырья и др.

Проведенный анализ научно-технических разработок в области создания и конструктивно-технологического совершенствования ПВА свидетельствует, с одной стороны, о широком использовании данного технологического оборудования для измельчения материалов с различными физико-механическими характеристиками, а с другой стороны – о необходимости установления основных закономерностей процесса измельчения анизотропных материалов в ПВА и их дальнейшего конструктивно-технологического совершенствования с учетом особенностей измельчаемых пород.

Пресс-валковые агрегаты с гладкими валками для предварительного измельчения горных пород и на протяжении многих лет являются одними из наиболее распространенных машин в составе дробильно-помольных технологических линий в различных отраслях промышленности. В результате их эксплуатации установлено, что при выборе конструктивного исполнения этих агрегатов следует учитывать значительное количество факторов, таких как физико-механические свойства измельчаемых горных пород; необходимую производительность; форму и размер полученного продукта;

возможность быстрой смены разрушающих элементов рабочих поверхностей валков и их износостойкость; допустимые пределы управления производительностью и др.

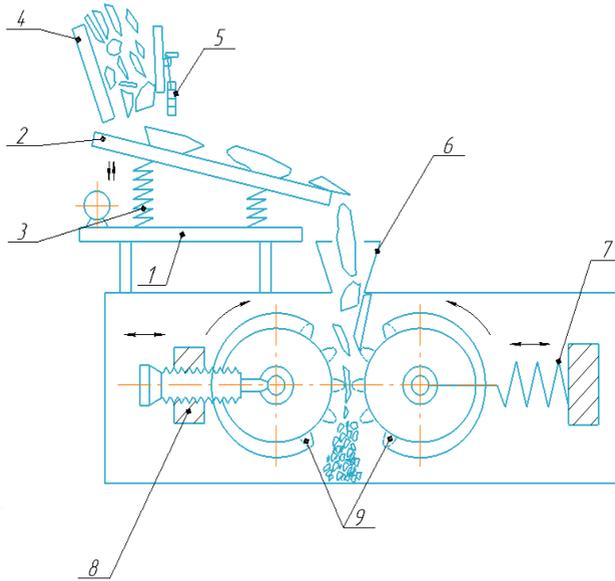


Рис. 1. Схема работы пресс-валкового комплекса: 1 – рама устройства для направленной подачи; 2 – лоток направляющего устройства; 3 – демпферный узел; 4 – приёмный бункер; 5 – устройство для регулирования подачи; 6 – приёмный бункер; 7 – устройство для защиты от поломки; 8 – устройство для создания усилия между валками; 9- съемные зубчатые или гладкие валки

Ряд горных пород со сланцевой текстурой, находящихся в отвалах, имеют достаточную прочность и могут быть использованы в строительстве, например, щебень требуемых фракций. Однако существующие конструкции дробильного оборудования не позволяют получать щебень заданных размеров и формы из этих горных пород.

Разработанный нами пресс-валковый комплекс (ПВК) предназначен для получения принципиально новых строительных материалов из горных пород со сланцевой текстурой и материалов с улучшенными свойствами, со значительным снижением энергозатрат на их производство (рис.1).

Пресс-валковый комплекс предназначен для получения

принципиально новых строительных материалов из горных пород со сланцевой текстурой и материалов с улучшенными свойствами, со значительным снижением энергозатрат на их производство. Комплекс включает в себя устройство для направленной подачи и агрегат для силового разрушения горных пород со съемными рабочими органами (зубчатые или гладкие вальцы) (рис.2).

Устройство для направленной подачи позволяет осуществлять сориентированную подачу кусков горных пород со сланцевой текстурой в к рабочим органам агрегата, оснащенного зубчатыми валками с зубьями, установленными с определенным шагом, с целью получения щебня заданных размеров. Применение съемных гладких вальцов предназначено для получения материалов с улучшенными свойствами, при этом значительно снижаются энергозатраты на их переработку.

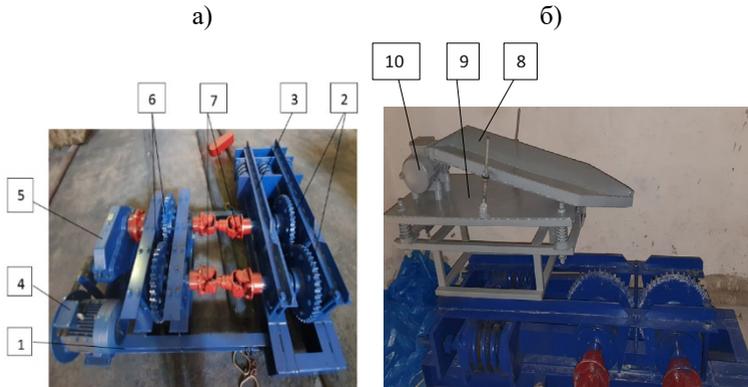


Рис. 2 - Энергосберегающий инновационный комплекс с зубчатыми валками: а- вид на рабочие органы и привод; б – вид на устройство для направленной подачи: 1 – рама; 2 – рабочий орган машины с зубчатыми валками; 3 – усилитель; 4 – электро-двигатель; 5 – редуктор; 6 – синхронизирующая зубчатая пара; 7 – карданная передача; 8 – лоток направляющего устройства; 9- рама устройства для направленной подачи; 10- вибрационное устройство

Пресс-валковый комплекс при применении рабочих органов со съемными зубчатыми валками позволяет получать из горных пород со сланцевой текстурой, щебень заданных размеров с выходом 50-60% готовой продукции в том числе и кубовидный (рис.3).



Рис. 3. Горная порода кварцито-песчаник Лебединского ГОКа:
а – исходная; б – после измельчения в пресс-валковом комплексе с зубчатыми валками

Внедрение конструкции машины со съёмными гладкими валками (рис.4) в технологическую линию получения композиционных вяжущих перед шаровой мельницей на ООО «РОСЦЕМЕНТ» позволило достичь следующих показателей: снизить удельные энергозатраты на 30-40%, увеличить производительность линии на 25-35% и повысить активность вяжущего.

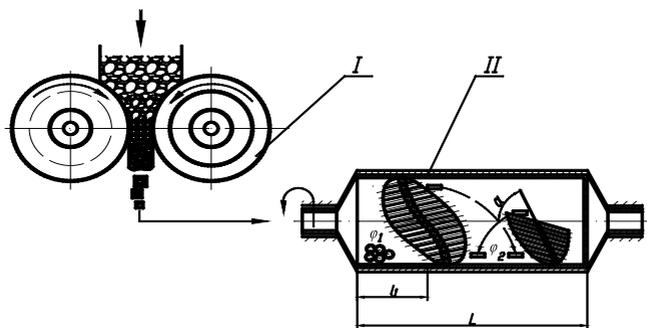


Рис.4. Технологическая схема получения композиционных вяжущих. I - пресс-валковый агрегат II - шаровая мельница, оснащенная ЛЭУ.

Пресс-валковый агрегат был оснащен съёмными рабочими органами, представляющими собой валки с коническими рабочими органами (рис 5.) Пресс-валковый агрегат имел технические характеристики, представленные в табл 2.



Рис. 5. Пресс-валковый комплекс с гладкими валками

Таблица 2

Характеристика пресс-валкового агрегата

Технические характеристики	Значения параметров
Геометрические размеры валков, ДхВ	0,5х0,3 м
Величина конусности валков, К	0,02 м
Зазор между валками,	$(3-8) \cdot 10^{-3}$ м
Окружная скорость Вращения валков	0,8 м/с
Установочная мощность привода валков	2·7,5 кВт
Максимальное усилие противодавления	$90 \cdot 10^4$ Н
Производительность агрегата, т/ч	2-3 т/ч

Проведенные сравнительные испытания композиционных вяжущих, полученных в энергосберегающем помольном комплексе (ПВА + ШМ) и в традиционной шаровой мельнице позволили установить, что балочная прочность образцов на сжатие и изгиб выше на 15-20%, по сравнению с традиционным способом измельчения. Это обусловлено тем, что активированные образцы из вяжущего, полученного в комплексе (ПВА + ШМ) (рис. 5, а) по сравнению с

эталонным, полученным традиционным способом (рис. 5,б) имеют более плотную однородную структуру с хорошей адгезией цементного камня к заполнителю. Неоднородная структура образца из вяжущего, полученного традиционным способом (рис. 5,б) отчетливо просматривается при увеличении в 18 тысяч раз, видны большие поры, зарастающие крупными кристаллами гидросиликата кальция различной основанности.

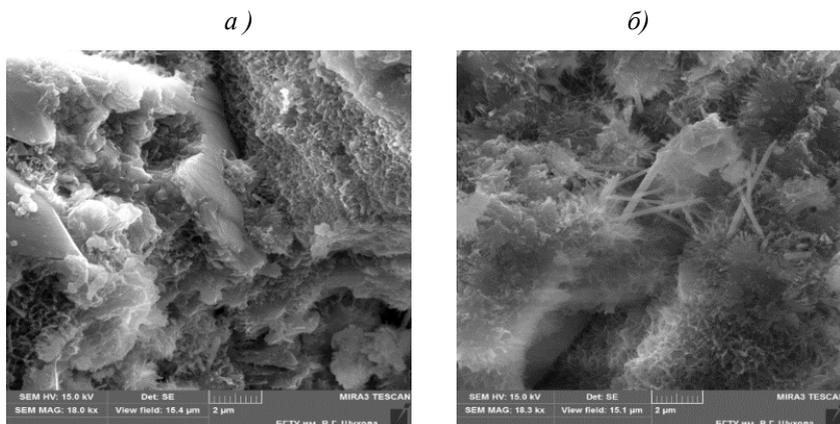


Рис. 5. Структура композиционного вяжущего полученного: *а* – с применением пресс-валкового комплекса; *б* – традиционным способом в шаровой мельнице

Исследования образца (рис.5,а) подтверждают наличие плотной более однородной структуры цементного камня. Имеющиеся немногочисленные дефекты структуры покрыты плотной сеткой гидросиликатов кальция. Данные исследования микроструктуры цементного камня наглядно объясняют повышение прочностных характеристик образца, полученного в энергосберегающем помольном комплексе (ПВА + ШМ). Это связано с различием физики разрушения исходного материала, реализуемом в (ПВА + ШМ), который на первоначальном этапе деформируется между рабочими органами (гладкими валками) под высоким давлением, в результате чего получается более развитая, активированная структура частиц.

Таким образом внедрение конструкции пресс-валкового агрегата со съёмными гладкими валками в технологическую линию получения композиционных вяжущих перед шаровой мельницей на ООО

«РОСЦЕМЕНТ» позволило снизить удельные энергозатраты на 30-40%, увеличить производительность линии на 25-35% и повысить активность вяжущего. Это подтверждают проведенные сравнительные испытания композиционных вяжущих, полученных в энергосберегающем помольном комплексе и в традиционной шаровой мельнице в результате которых установлено, что балочная прочность образцов на сжатие и изгиб выше на 15-20%, по сравнению с традиционным способом измельчения. Это обусловлено тем, что активированные образцы из вяжущего, полученного в комплексе по сравнению с эталонным, полученным традиционным способом имеют более плотную однородную структуру с хорошей адгезией цементного камня к заполнителю.

Список литературы

1. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород: Научное издание / В.С. Лесовик. – М: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. -526 с.
2. Якушова А.Ф. Общая геология: учебник для вузов. – М.: Изд-во Новосибирск. ун-та, 1988. – 448 с.
3. Романович А.А. Энергосберегающая технология и оборудование для измельчения материалов / А.А. Романович.- Механизация строительства. -2016. Том.77. - №8. – с.60-64.
4. Романович А.А. Расчет мощности привода агрегата для получения кубовидного щебня / Е.И. Чеховской, М.А. Романович, И.В. Апухтина. - Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. –№7. – С. 111–115.
5. Суккар М. Установки для производства цемента с вальцовыми прессами компании SPCC / Суккар М., Хепп К., Шахид А. // Цемент, известь, гипс. 2006. – № 2. – С. 60–64.
6. Гридчин А.М. Отходы в дело. Особенности строительства автомобильных дорог на щебне анизотропного сырья /А.М.Гридчин. – Изд-во Автомобильные дороги.- 2002. №8 –с.66-67.
7. Мерсман М. Технология по модернизации цементных заводов фирмы КНД Humboldt Wedag GmbH / М. Метсман, Й. Крумп // : Цемент и его применение, 2005. №3.– С.40-43.
8. Маркворт Л. Технология и оборудование для обогащения полезных ископаемых / Маркворт Л., Венцель Д. // Горная промышленность. -2005. -№1. –С. 27-29.
9. Малеев А.И. Измельчающие валки высокого давления / Малеев А.И., Кёрш С., Макстон Д. // Горная промышленность. -2005. -№5. –С.42-45
10. Краснов Г.Д. Технологическая характеристика геоматериалов, дезинтегрированных методом объемного сжатия / Г.Д. Краснов, В.В. Чихладзе, А.В. Богданович, И.В. Кузьмин // – Горный жунал, 2012.№8. –С. 102-107.

УДК 691.3.02

**АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ В ШАРОВОЙ
МЕЛЬНИЦЕ ПРИ РАЗЛИЧНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ
ЭНЕГООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ
МОЩНОСТИ ПРИВОДА МЕЛЬНИЦЫ**

Романович А.А.¹, Прокопенко В.С.¹, Лаптева М.А.¹, Анненко Д.М.¹

*1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

В статье рассмотрены актуальные вопросы энергосбережения при производстве цемента с использованием технологического помольного комплекса, включающего в себя пресс-валковый измельчитель и шаровую мельницу. Предложены рациональные условия помола предварительно измельченного материала за счет установки лопастных энергообменных устройств (ЛЭУ) в барабане мельницы.

Установлено, что в зависимости от угла поворота барабана мельницы, оснащенной ЛЭУ, периодически меняется уровень загрузки, как в первой, так и во второй камерах, а в зоне активного влияния ЛЭУ – происходит "зачерпывание" части мелющих тел вместе с измельчаемым материалом, подъем их на высоту и придание им продольно-поперечного движения, отличающегося от создаваемого в мельницах без ЛЭУ. При этом совершается дополнительная работа, на которую расходуется мощность двигателя. Предложена методика расчета дополнительно потребляемой мощности двигателем мельницы, затрачиваемой на создание продольно-поперечного движения мелющих тел в зонах активного влияния ЛЭУ.

Проведенный сравнительный анализ результатов, полученных экспериментальным путем и вычислениями по предложенным уравнениям показал высокую сходимость результатов.

Полученные аналитические зависимости могут представлять интерес для российских и зарубежных организаций, осуществляющих свою деятельность в области проектирования и изготовления цементного оборудования, так и для производителей цемента.

Ключевые слова: энергоемкость, технологический помольный комплекс, пресс-валковый измельчитель, шаровая мельница, методика расчета, дополнительно потребляемая мощность, лопастные энергообменные устройства.

**ANALYSIS OF THE MOVEMENT OF SMALL BODIES IN A
BALL MILL WITH A DIFFERENT ARRANGEMENT OF ETHNIC**

EXCHANGE DEVICES AND DETERMINING THE POWER OF THE
MILL DRIVE

**Romanovich A.A.¹, Prokopenko V.S.¹, Lapteva M.A.¹,
Annenko D.M.¹**

*1. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov,
Belgorod*

The article discusses topical issues of energy conservation in the production of cement using a technological in a powerful complex, which includes a press-vowel grinder and a ball mill. The rational conditions of the grinding of pre-chopped material are proposed by installing spast energy exchange devices (LEU) in the mill drum.

It was established that, depending on the corner of the rotation of the drum of the mill equipped with the LEU, the load level changes periodically, both in the first and second chambers, and in the LEU active influence zone, there is a "scoop up" of the shallow bodies along with the material of the material, Rise them to a height and giving them a pro-free-transverse movement, which differs from created in mills without LEU. In this case, additional work is performed on which the engine power is consumed. The methodology for calculating the additional power consumption by the mill-melni engine is proposed to create a longitudinal traffic of me-tray bodies in the zones of the active influence of the LEU.

The comparative analysis of the results obtained by experimentally and calculations according to the proposed equations showed a high convergence of the results.

The resulting analytical dependencies can be represented by In-Sezes for Russian and foreign organizations operating in the field of design and manufacture of cement equipment, and for cement manufacturers.

Key words: energy intensity, technological capacity, press-vocabulary grinder, ball mill, calculation method, additionally consumed power, lobed energy exchange devices.

В производстве вяжущих материалов, различных строительных смесей и изделий одними из наиболее энергоёмких являются процессы дробления и помола исходного сырья на которые расходуется около 10% всей мировой электроэнергии. При этом расход электроэнергии значительно возрастает с увеличением дисперсности полученного продукта.

Известно [1], что расход электроэнергии, составляет: для дробления материалов 10–21 Дж/г, для тонкого и сверхтонкого помола 360–3600, Дж/г. Поэтому исследования направленные на

совершенствование технологии помола и оборудования с целью снижения энергоемкости процесса являются актуальными.

При производстве цемента, ежегодный объем которого в мире все возрастает и в настоящее время превышает 2,5 миллиарда тонн, на процессы помола сырьевых и цементных материалов, осуществляемые главным образом в шаровых мельницах, затрачивается от 40 до 70% от всей электроэнергии процесса [2].

Вопросами разработки нового и повышения эффективности существующего помольного оборудования занимались ученые и практики как у нас в стране, так и за рубежом. Ими разработана энергосберегающая технология получения цемента в помольном комплексе, состоящем из двух агрегатов пресс-валкового измельчителя и шаровой мельницы (ПВИ-ШМ) [3-5].

В результате проведенных исследований установлено, что измельчаемый в ПВИ материал после обработки его давлением между валками значительно отличается от исходного, он имеет форму в виде спрессованных пластин, а его частицы - микродефектную структуру, что требует особых условий для их помола в ШМ (рис.1, 2).



Рис.1. Исходный материал (клинкер)

Как показали исследования, предварительно измельчаемый в ПВИ материал целесообразно подвергать кратковременному ударному воздействию в первой камере мельницы для дезагломерации спрессованной ленты и раздавливающее-истирающему воздействию мелющих тел во второй камере для окончательного его помола. Такие условия измельчения материалов можно получить в шаровой мельнице, оснащенной лопастными энергообменными устройствами (ЛЭУ): лопастью двухстороннего действия (ЛДД) и лопастным эллипсным сегментом (ЛЭС).



Рис.2 Клинкер после измельчения в ПВИ

С целью определения режимов работы мелющих тел при различных схемах установки ЛЭУ, исследования проводились на модели шаровой мельницы с прозрачным корпусом размером $\varnothing 0,1 \times 0,5$ м. (рис. 3 а-г).

В результате исследований установлено, что на характер динамического воздействия мелющих тел в ШМ существенное влияние оказывает взаимное расположение ЛЭУ как в продольном, так и в поперечном сечении корпуса мельницы.

Так, в результате использования схемы установки лопастных энергообменных устройств, когда ЛЭС установлен у разгрузочного конца барабана мельницы наклоненным к днищу и его большая ось совпадает с большей осью ЛДД (рис. 3а) происходит их одновременное воздействие, с промежутком через 360° на мелющие тела. Это приводит к сосредоточению их в середине второй камеры, что отрицательно скажется на эффективности процесса помола.

При повороте ЛЭС относительно ЛДД на угол 180° (смещение их больших осей составляет угол 180°) приводит к поочередному воздействию ЛЭУ на мелющие тела, что приводит к их большей подвижности, перемещению и сосредоточению то у ЛДД, то у ЛЭС (рис. 3 б). Такая схема установки ЛЭУ должна способствовать интенсивности процесса помола предварительно измельченных материалов во второй камере мельницы.

Однако, установка ЛЭС, наклоненным к разгрузочному днищу, приводит к захвату им части мелющих тел и поднятию их на большую высоту. Это способствует к созданию водопадного режима, что снизит эффективность их работы во второй камере.

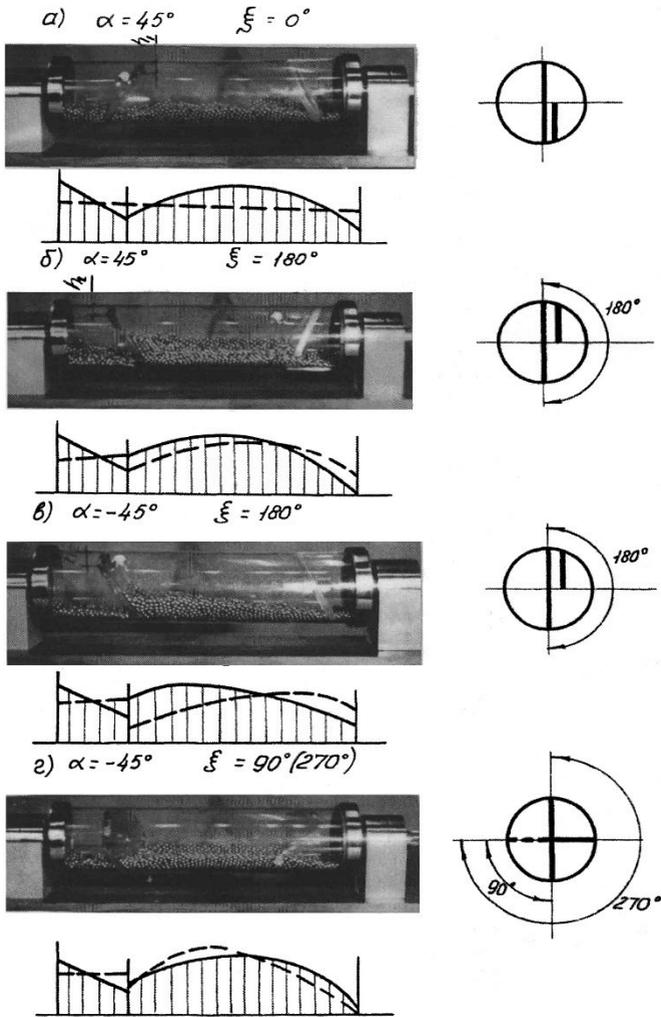


Рис. 3. Схемы установки ЛЭУ в ТШМ и эпюры движения мелющих тел.

Изменение угла наклона ЛЭС на противоположный, установив его под наклоном от разгрузочного днища (рис. 3 в), приводит к исчезновению «водопадного эффекта» во второй камере мельницы, так как такое расположение ЛЭС не поднимает мелющие тела на высоту, а лишь усиливает свое воздействие на них в продольном направлении, что позитивно сказывается на процессе помола материала.

При изменении угла поворота ЛЭС относительно ЛДД на угол отличный от 180° (например, на 90° или 270°) (рис. 3,г) приводит к частичному сосредоточению мелющих тел в центре камеры. Это происходит от взаимного наложения импульсов от воздействия ЛДД и ЛЭС на мелющие тела, что так же отрицательно скажется на эффективности процесса помола материалов.

Установка лопасти двойного действия обеспечит ударно-истирающее воздействие мелющей загрузки на измельчаемый материал в первой камере мельницы. Управление величиной импульса от ЛДД кроме угла ее наклона позволяет обеспечивать наличие горизонтальных участков перегордки.

Таким образом, проведенные нами исследования характера движения мелющих тел в ШМ, оснащенной ЛЭУ, показали, что режим работы мелющих тел во многом зависит от схемы установки и взаимного расположения ЛДД и ЛЭС. Рациональной схемой установки ЛЭУ в барабане мельницы при помоле материалов, предварительно измельченных в ПВИ, является схема (рис. 3 в) при которой в первой камере мельницы, осуществляется ударно истирающее воздействие мелющих тел, а во второй - раздавливающе-истирающее.

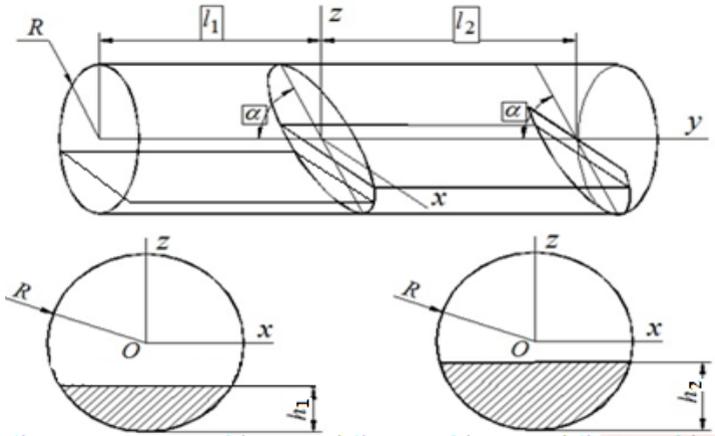


Рис.4. Схема установки ЛЭУ в барабане шаровой мельницы.

Как показали проведенные исследования, установка лопастных энергообменных устройств в виде лопасти двухстороннего действия ЛДД и лопастного эллипсного сегмента в барабане шаровой мельницы позволяет интенсифицировать движение мелющих тел. Однако в зависимости от угла поворота барабана мельницы периодически

меняется их уровень в первой камере, а в зоне активного влияния ЛЭУ – происходит подъем на высоту части мелющих тел вместе с измельчаемым материалом, и придание им продольно-поперечного движения, отличающегося от создаваемого в мельницах без ЛЭУ (рис. 4). При этом совершается дополнительная работа, на которую расходуется дополнительная мощность двигателя, а отсутствие научно-обоснованной методики расчета её величины для мельниц оснащенных ЛЭУ тормозит их внедрение в промышленность.

Дополнительно потребляемая мельницей мощность связана (по сравнению с мельницами с вертикальными перегородками) с перемещением центра масс мелющей загрузки вдоль оси барабана мельницы за счет влияния на мелющую загрузку в продольном направлении ЛДД и ЛЭС.

Мощность N за некоторый промежуток времени T вычисляется по формуле:

$$N = \frac{A}{T}, \quad (1)$$

где A – работа, выполненная за тот же промежуток времени T .

За промежуток времени T , если мельница совершает n оборотов в минуту, то один оборот осуществляется за время равное

$$T = \frac{1}{n}, \text{ мин} \quad (2)$$

или

$$T = \frac{60}{n}, \text{ сек.} \quad (3)$$

Поскольку,

$$n = \psi n_{\text{кр}}, \quad (4)$$

где ψ – относительная частота вращения, $n_{\text{кр}}$ – критическая частота вращения.

Так как

$$n_{\text{кр}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{R}}, \quad (5)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения, R – радиус барабана мельницы, то формулу (3) можно записать в следующем виде:

$$T = \frac{2\pi\sqrt{R}}{\psi\sqrt{g}} \text{ сек.} \quad (6)$$

За один оборот барабана мельницы центр масс мелушей загрузки в каждой камере переместится из одного крайнего положения в другое и обратно. Для первой камеры перемещение центра масс загрузки за один оборот барабана мельницы определяется по формуле:

$$S_1 = 2|y_c - y'_c|, \quad (7)$$

Согласно [6] y_c и y'_c вычисляются, соответственно, по формулам:

$$\begin{aligned} \tilde{y}_c \tilde{V}_1 &= -\frac{\lambda_1^2}{2} \left(\chi_1 \sqrt{1 - \chi_1^2} + \arcsin \chi_1 - \frac{\pi}{2} \right) - \frac{2\lambda_1 \text{ctg} \alpha}{3} (1 - \chi_1^2)^{\frac{3}{2}} + \\ &+ \frac{\text{ctg}^2 \alpha}{8} \left(\chi_1 (1 - 2\chi_1^2) \sqrt{1 - \chi_1^2} - \arcsin \chi_1 + \frac{\pi}{2} \right). \\ \tilde{y}'_c \tilde{V}_1'' &= -\frac{\lambda_1^2}{2} \left(\chi'_1 \sqrt{1 - \chi_1'^2} + \arcsin \chi'_1 - \frac{\pi}{2} \right) + \frac{2\lambda_1 \text{ctg} \alpha}{3} (1 - \chi_1'^2)^{\frac{3}{2}} + \\ &+ \frac{\text{ctg}^2 \alpha}{8} \left(\chi'_1 (1 - 2\chi_1'^2) \sqrt{1 - \chi_1'^2} - \arcsin \chi'_1 + \frac{\pi}{2} \right). \end{aligned}$$

Перемещение центра масс загрузки за один оборот барабана мельницы во второй камере определяется по формуле:

$$S_2 = 2|y_{c2} - y'_{c2}|, \quad (8)$$

Вычисление y_{c2} и y'_{c2} согласно (4) производим по формулам:

$$\begin{aligned} \tilde{y}_{c2} \tilde{V}_2' &= \frac{\text{ctg}^2 \alpha}{8} \left(\chi_2 (2\chi_2^2 - 1) \sqrt{1 - \chi_2^2} + \arcsin \chi_2 - \frac{\pi}{2} \right) - \\ &\frac{\lambda_2^2}{2} \left(\chi_2 \sqrt{1 - \chi_2^2} + \arcsin \chi_2 - \frac{\pi}{2} \right). \\ \tilde{y}'_{c2} \tilde{V}_2'' &= \frac{\lambda_2^2}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \chi'_2 - \chi'_2 \sqrt{1 - \chi_2'^2} \right) + \frac{2l_2 \text{ctg} \alpha}{3} \sqrt{(1 - \chi_2'^2)^3}. \end{aligned}$$

Поскольку работу совершает сила трения, то:

$$A = |F_{\text{тр}} S| = F_{\text{тр}1} S_1 + F_{\text{тр}2} S_2. \quad (9)$$

В свою очередь,

$$F_{\text{тр}1} = f G_1 = f M_1 g = f g \gamma V_{1\text{зарп}} = f g \gamma \phi_1 V_1, \quad (10)$$

где f – коэффициент трения скольжения мелюшей загрузки по корпусу барабана мельницы; G_1 – вес мелюшей загрузки в первой камере; M_1 – масса мелюшей загрузки в первой камере; γ – объемная масса мелюшей загрузки; $V_{1\text{загр}}$ – объем мелюшей загрузки в первой камере; ϕ_1 – коэффициент загрузки мелющими телами первой камеры; V_1 – объем первой камеры.

Аналогичная формула имеет место и для второй камеры:

$$F_{\text{тр}2} = f G_2 = f M_2 g = f g \gamma V_{2\text{загр}} = f g \gamma \phi_2 V_2. \quad (11)$$

Проведенные сравнительные результаты, полученные расчетным и экспериментальным путем при следующих значениях входных параметров: радиус барабана мельницы $R = 0,5$ м; длина первой камеры $l_1 = 0,65$ м; коэффициент загрузки первой камеры $\phi_1 = 0,18$; длина второй камеры $l_2 = 1,3$ м; коэффициент загрузки второй камеры $\phi_2 = 0,3$; коэффициент трения скольжения $f = 0,4$; объемная масса мелюшей загрузки $\gamma = 4\,550$ кг/м³; угол наклона ЛДД и ЛЭС к оси барабана мельницы $\alpha = 60^\circ$; относительная частота вращения барабана мельницы $\psi = 0,76$ (соответствует 45,5 мин⁻¹), показали, что разница между экспериментально полученными и расчетными данными не превышает 10%.

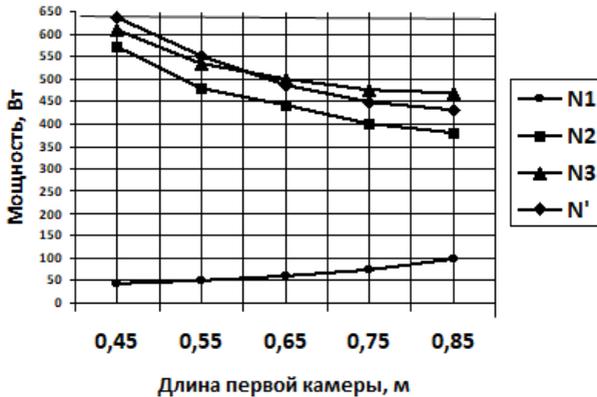


Рис. 5. Зависимость дополнительно потребляемой мощности от длины первой камеры

При указанных значения входных параметров дополнительно потребляемая мощность, полученная расчетным путем составила: для

первой камеры – 62,2 Вт; для второй камеры – 441,0 Вт; в целом для мельницы – 503,2 Вт, экспериментально полученная – 545 Вт.



Рис. 6. Зависимость дополнительно потребляемой мощности от угла наклона ЛДД и ЛЭС к оси барабана мельницы

Анализ полученных графических зависимостей (рис. 5-8), позволил изучить влияние на величину дополнительно потребляемой мощности длины первой камеры (длина второй камеры при этом была такой, чтобы сумма длин камер равнялась длине мельницы – 1,95 м), угла наклона ЛЭУ и коэффициентов загрузки первой и второй камер мелющими телами.

На графиках приняты следующие обозначения: $N1$ и $N2$ – дополнительно потребляемая мощность за счет перемещения мелющей загрузки в первой и второй камерах, соответственно, N^1 – суммарная дополнительно потребляемая мощность расчетная и $N3$ – суммарная мощность, измеренная экспериментальным путем.

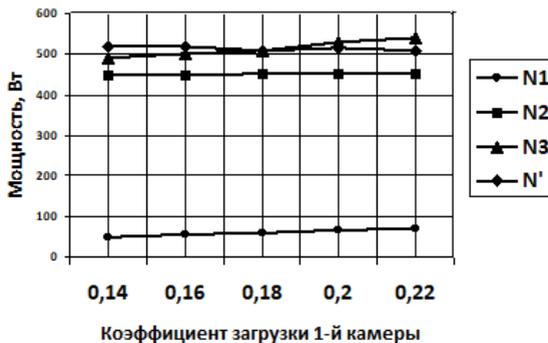


Рис. 7. Зависимость дополнительно потребляемой мощности от коэффициента загрузки первой камеры

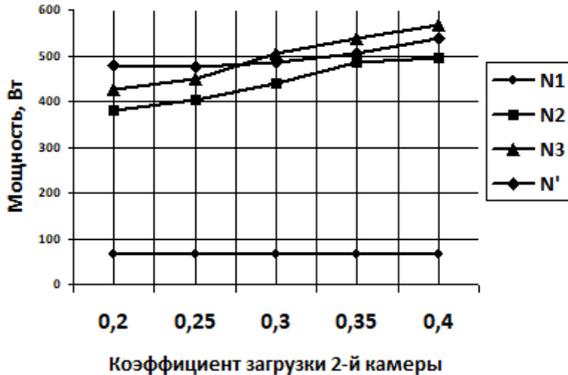


Рис. 8. Зависимость дополнительно потребляемой мощности от коэффициента загрузки второй камеры.

Как видно из графических зависимостей (рис. 5-8) установка в барабане мельницы энергообменных устройств позволяет интенсифицировать работу мелющей загрузки, на что указывает величина дополнительно потребляемой мощности приводом. Изменение длины первой камеры в сторону её увеличения приводит к уменьшению суммарной загрузки мелющих тел в барабане мельницы, что приводит одновременно к снижению потребляемой мощности приводом и к ухудшению качества помола (рис.5). Рациональная же длина первой камеры при помоле клинкера с предварительно деформированной структурой равна 0,65м, что равняется 1/3 от полной длины барабана мельницы.

Анализ графической зависимости (рис. 6) показал, что изменение угла наклона лопастных энергообменных устройств к оси барабана мельницы от 40 до 80° приводит к уменьшению дополнительно потребляемой мощности. Это объясняется тем, что при этом уменьшается зона действия в первой камере лопасти двойного действия, а во второй камере лопастного эллиптического сегмента на мелющую загрузку, что приводит к уменьшению дополнительно потребляемой мощности.

При увеличении коэффициентов загрузки мелющими телами первой камеры мельницы от 0,14 до 0,22 и второй – с 2,2 до 0,4 (рис. 7 и 8) ведет к увеличению суммарной массы мелющих тел, находящихся в барабане мельницы, что пропорционально сказывается на росте дополнительно потребляемой мощности агрегата.

Проведенный сравнительный анализ графических зависимостей (рис. 5-8) построенных по экспериментально полученным данным и

расчетным путем показывает, что разница между экспериментально полученными и расчетными данными не превышает 10%.

Таким образом в результате проведенных исследований, установили, что расположение лопастных энергообменных устройств в виде лопасти двухстороннего действия ЛДД и лопастного эллипсного сегмента в барабане шаровой мельницы позволяет интенсифицировать движение мелющих тел. В зависимости от угла поворота барабана мельницы периодически меняется их уровень мелющих тел в первой камере, а в зоне активного влияния ЛЭУ – происходит подъем на высоту части мелющих тел вместе с измельчаемым материалом, и придание им продольно-поперечного движения, отличающегося от создаваемого в мельницах, работающих в традиционном режиме. При этом совершается дополнительная работа, на которую расходуется дополнительная мощность двигателя. Полученные аналитическим путем уравнения (10) и (11) позволяют рассчитать величину дополнительно потребляемой мощности мельницей, оснащенной ЛЭУ, которые с достаточной точностью отражают реальный процесс.

Список литературы

1. Башкирцев А.А. Анализ эффективности машин для тонкого измельчения строительных материалов / А.А. Башкирцев // сб. науч. тр. МАДИ.- 1986.
2. Богданов В.С. Оптимизация процесса помола в производстве цемента/ В.С. Богданов, Р.Р. Шарапов, Ю.М. Фадин // Междунар. конгресс производителей цемента 9-12 октября 2008г. БГТУ им. В.Г. Шухова в Белгороде: сб. докл. – М: Европейский технич. ин-т, 2008. – С. 20-39.
3. Романович А.А. Энергосбережение при производстве строительных изделий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 69-7.
4. Богданов В.С., Воронов В.П., Потапов Ф.П. Расчет величины работы затрачиваемой на разрушение материала при каскадном режиме работы шаровой мельницы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 61-64.
5. Богданов В.С. Шаровые барабанные мельницы: учеб. пособие/ В.С. Богданов. –Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002.-258с.-ISBN.
6. Романович А.А. Определение центра масс шаровой загрузки первой камеры мельницы, оснащенной лопастными энергообменными устройствами: Научный вестник НГТУ, -2013. № 2(51). С.166-171.

УДК 69:691

ПЕРЕРАБОТКА ХВОСТОХРАНИЛИЩ ДЛЯ ДОРОЖНЫХ
МАТЕРИАЛОВ

Синегулова М.М.¹, Орехова Т.Н.¹

*1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

Переработка хвостохранилищ для дорожных материалов представляет собой важный процесс, направленный на извлечение полезных компонентов из отходов горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Хвостохранилища часто содержат значительное количество минералов и металлов, которые можно использовать для производства дорожных покрытий и других строительных материалов. В статье рассмотрены преимущества переработки хвостов, технология переработки, практические примеры.

Ключевые слова: переработка хвостохранилищ, дорожные материалы.

PROCESSING OF TAILINGS FOR ROAD MATERIALS

Sinegubova M.M.¹, Orekhova T.N.¹

*1. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod*

Processing of tailings for road materials is an important process aimed at extracting useful components from waste from the mining and processing industries. Tailings often contain a significant amount of minerals and metals that can be used to produce road surfaces and other building materials. The article discusses the advantages of tailings processing, processing technology, and practical examples.

Keywords: tailings processing, road materials.

Современные технологии строительства требуют постоянного поиска эффективных и экономичных решений. Одной из актуальных задач является переработка хвостохранилищ — отходов, образующихся при добыче и переработке минерального сырья. Эти отходы представляют собой значительные объемы и, при неэффективном управлении, могут наносить вред окружающей среде. Однако при правильном подходе они могут быть использованы для производства дорожных материалов. Дорожное строительство является одной из самых быстро развивающихся отраслей и занимает ключевое место в

формировании экономики, поэтому большое внимание уделяется качеству используемых материалов [1].

Хвостохранилища содержат большое количество нерудных материалов, таких как песок, глина и различные минералы. Накапливаясь, они занимают большие площади и могут вызывать экологические проблемы, включая загрязнение водоемов и почвы. Кроме того, оставшиеся после переработки хвосты содержат тяжелые металлы и другие токсичные вещества, что требует особого внимания к их утилизации.

Преимущества переработки хвостов:

1. Экономия ресурсов: Переработка хвостов позволяет уменьшить потребность в природных нерудных материалах. Это особенно важно в условиях истощения запасов минеральных ресурсов.

2. Снижение воздействия на экологию: Использование хвостов в качестве строительных материалов помогает снизить объемный выброс отходов и минимизировать негативное влияние на природу.

3. Повышение прочности и долговечности: Хвосты могут быть переработаны в высококачественные дорожные материалы, которые обладают хорошими прочностными характеристиками и способны выдерживать серьезные нагрузки.

4. Улучшение устойчивости: Переработанные хвосты могут быть использованы в качестве заполнителей, что улучшает устойчивость дорожных покрытий к внешним воздействиям.

Технологии переработки:

Переработка хвостов может включать в себя несколько этапов:

1. Сортировка и классификация: На первом этапе происходит отделение крупных частиц от мелких, а также классификация материалов по их физико-химическим свойствам.

2. Механическая переработка: Мелкие фракции могут быть измельчены и переработаны в различные гранулы, подходящие для использования в дорожном строительстве.

3. Химическая обработка: Если состав хвостов включает токсичные вещества, могут применяться технологии химической обработки для нейтрализации вредных компонентов.

4. Составление композитов: Создание дорожных материалов на основе переработанных хвостов требует разработки специфических рецептов с учетом всех характеристик.

5. Измельчение и дробление: На этом этапе происходит измельчение частиц хвостов до мелкодисперсных фракций, что позволяет использовать их в различных дорожных материалах.

Используются различные дробилки и мельницы, которые обеспечивают нужный размер и однородность фракций.

6. Обогащение и очистка: Следующий шаг включает обогащение материала для удаления нежелательных примесей, таких как тяжелые металлы и другие токсичные вещества. Для этого применяются методы, такие как магнитная сепарация и флотирование. Это позволяет значительно улучшить качество переработанного материала и соответствовать современным стандартам безопасности.

7. Смешивание и формование: Переработанные хвосты могут быть смешаны с другими компонентами, такими как вяжущие вещества и добавки, чтобы получить готовые здания и дороги. На этом этапе могут применяться различные технологии, такие как асфальтирование или бетонирование, в зависимости от предполагаемого применения.

Практические примеры:

Многие страны уже начали внедрять переработку хвостов в строительстве дорожных объектов. В Европе и Северной Америке использование переработанных материалов стало стандартом, что позволило значительно снизить затраты на строительство.

Например, в Германии активно используются переработанные материалы из хвостохранилищ для создания асфальтовых смесей. Подобные практики успешно применяются и в других странах, что доказывает эффективность такого подхода.

Примеры применения переработанных хвостов:

1. Асфальтовые покрытия: Переработанные хвосты могут использоваться в качестве заполнителей для асфальта. Это улучшает физико-механические характеристики смеси и снижает количество используемого природного щебня.

2. Бетонные смеси: Хвосты могут быть применены в производстве бетона, что позволяет снизить спрос на первичный заполнитель и улучшить характеристики бетона за счет добавления минеральных добавок.

3. Дорожные основания: Переработанные материалы могут быть использованы в качестве основания для дорожных покрытий, обеспечивая отличную устойчивость и долговечность.

4. Заделка и стабилизация: Хвосты могут использоваться для заделки дамб, укрепления берегов и стабилизации земельных участков, где требуется повышенная прочность [2].

Устойчивое управление отходами

Для успешной переработки хвостов необходимо разработать системы устойчивого управления, которые будут включать в себя:

- Мониторинг и контроль: Важно осуществлять надзор за экологическим состоянием хвостохранилищ и качеством переработанных материалов.

- Образование и обучение: Кадры должны быть обучены современным методам переработки и обращения с отходами.

- Сотрудничество с местными сообществами и организациями: Это поможет повысить осведомленность и обеспечить поддержку со стороны населения.

Можно использовать в качестве наполнителя бетонной смеси отход обогащения горной промышленности (хвосты), который состоит из пустой породы с низким содержанием ценного компонента и образуется в процессе обогащения полезных ископаемых [4], а также уже применяется при изготовлении, например, плит для устройства полов и площадок [5]. Выбор в качестве наполнителя хвостов обусловлено необходимостью решения проблемы утилизации отходов горного производства, широко развитого в Ростовской области. Из всей горной массы на долю обогащённого угля приходится около 70-75%, остальная масса поступает в породные отвалы, где степень их переработки не превышает 3%. Отходы хвостохранилищ являются токсичными и негативно влияют на природную окружающую среду [6], так как отсутствуют технологии по их утилизации в полной мере. Предлагаемый вариант использования отходов позволит решить ряд насущных задач: утилизацию отходов хвостохранилищ, рациональное использование природных ресурсов и снижение затрат на выполнение строительных работ [3].

Переработка хвостохранилищ для производства дорожных материалов представляет собой не только экологически обоснованное решение, но и выгодный экономический подход. Странам следует продолжать развивать технологии переработки, укрепляя сотрудничество между государственными структурами, научными институтами и бизнесом. Это позволит не только решить проблему утилизации отходов, но и значительно улучшить качество дорожного строительства, сделав его более устойчивым и ресурсосберегающим. Переработка хвостохранилищ для производства дорожных материалов представляет собой не только практическую, но и экологическую необходимость. Это позволяет значительно снизить негативное воздействие на окружающую среду и эффективно использовать имеющиеся ресурсы. Совершенствование технологий переработки и устойчивое управление отходами являются ключевыми факторами для достижения устойчивого развития в строительной отрасли. Таким

образом, отходы могут стать ценным ресурсом, способствуя как экономическому развитию, так и защите окружающей среды.

Список литературы

1. Елкин С.В., Боцман А.Н., Лунев Р.С. Использование цементнобетонных покрытий в дорожном строительстве // Международная научнотехническая конференция молодых ученых БГТУ Им. В.Г. Шухова. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. С. 1531-1536.
2. Патент № 2783893 С1 Российская Федерация, МПК В09С 1/00, С09К 3/22, А62D 3/00. Состав для рекультивации поверхности хвостохранилищ, содержащих токсичные отходы переработки минерального сырья : № 2021129031 : заявл. 04.10.2021 : опубл. 21.11.2022 / Л. Т. Крупская, Н. А. Леоненко, А. В. Леоненко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тихоокеанский государственный университет", Федеральное бюджетное учреждение "Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства". – EDN BONMUУ.
3. Яхонина Д.В., Ляшенко Н.В., Вяльцев А.В., ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ// Инженерный вестник Дона. – 2022. -№11
4. Евдокимов П.Д., Сазонов Г.Т. Проектирование и эксплуатация хвостовых хозяйств обогатительных фабрик, М.:Недра, 1978. 439 с.
5. Еличев К.А., Петровнина И.Н., Козицын, В.С., Андриюхина Е.О. Исследование свойств заполнителей из горных пород для производства декоративного бетона // Инженерный вестник Дона, 2022, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2022/7626.
6. Araujo, F.S.M., Taborda-Llano, I., Nunes, E.B., Santos, R.M. Recycling and Reuse of Mine Tailings: A Review of Advancements and Their Implications // Geosciences (Switzerland). 2022. №12 (9). № 319. URL: doi.org/10.3390/geosciences12090319.

УДК 551

ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ: ОТ ГОРНЫХ ПОРОД ДО НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Сырых А.А.¹, Орехова Т.Н.¹

1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Смектиты обладают уникальными свойствами, такими как высокая адсорбционная способность, химическая стойкость и термическая стабильность. Эти свойства делают их перспективными материалами для использования в различных областях, включая экологию, химическую промышленность, энергетику и медицину. В

работе приводится исследование глинистых минералов. Более подробно описана структура смектитов и их применение.

Ключевые слова: глинистый минерал, сапонит, глины.

CLAY MINERALS: FROM ROCKS TO NANOTECHNOLOGY

Sryh A.A.¹, Orehova T.N.¹

*1. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov,
Belgorod*

Smectites have unique properties such as high adsorption capacity, chemical resistance and thermal stability. These properties make them promising materials for use in various fields, including ecology, chemical industry, energy and medicine. The paper presents a study of clay minerals. The structure of smectites and their application are described in more detail.

Key words: clay mineral, saponite, clays.

Глинистые минералы – это своеобразные "кирпичики" земной коры, играющие важную роль в формировании ее внешнего облика и обладающие широким спектром свойств, которые находят применение в различных областях человеческой деятельности.

Глинистые минералы представляют собой гидратированные слоистые силикаты, то есть соединения кремния с кислородом и водой, образующие тонкие, слоистые структуры. Они формируются преимущественно в процессе химического выветривания или гидролиза горных пород, когда вода и кислород разрушают первичные минералы, такие как полевые шпаты, слюды, пироксена и амфиболы. Другой путь образования – гидротермальный, когда при взаимодействии горячих водных растворов с горными породами происходит перекристаллизация и образование глинистых минералов.

Глинистые минералы отличаются от других слоистых силикатов высокой дисперсностью, то есть размером частиц менее 1 мкм. Эта особенность делает их практически невидимыми глазу и обеспечивает высокую удельную поверхность, которая обуславливает их ключевые свойства. Глинистые минералы обладают высокой способностью поглощать и удерживать на своей поверхности различные вещества, как органические, так и неорганические. В глинистых минералах часть ионов может легко заменяться другими, находящимися в окружающей среде. Это свойство лежит в основе многих технологических процессов, например, очистки воды или почвы. При добавлении воды глинистые минералы становятся пластичными и способны удерживать форму, что используется в керамической, строительной и других отраслях промышленности.

Глинистые минералы – одни из самых распространенных породообразующих минералов на нашей планете. Они встречаются в самых разных геологических формациях, как на суше, так и в океанах. По разным оценкам, их содержание в верхней части земной коры составляет до 40-50% от общего состава пород [1].

Глина – порошкообразная осадочная горная порода, образующаяся в результате химических превращений. Она встречается в сухом состоянии, как рассыпчатые минеральные частицы, напоминающие почву, и в влажном состоянии, как мягкий и пластичный материал. Природные глины обычно образуются естественным путем из вулканического пепла или за счет изменения вулканических горных пород. Их цвет зависит от содержания тяжелых металлов и может быть: серым, красным, черным и белым, желтым и коричневым, может иметь синеватый оттенок.

Чистота глины имеет важное значение для получения наноматериалов с определенными свойствами. Параметры, которые необходимо контролировать: чистота глины, ее тип, относительная длина наночастиц глины, тип полимера и метод введения глины в композиционный материал. Когда получаемые из слоистых силикатов наночастицы будут однородны по составу, это обеспечит высокие физико-механические свойства композиту.

Среди глинистых минералов для получения нанокомпозитов особый интерес представляют минералы, способные к разбуханию (смектиты). Смектиты (подкласс слоистые силикаты) – наиболее распространенные породообразующие глинистые минералы. Они находятся в самой верхней оболочке Земли. Их характерной особенностью является способность к внутрикристаллическому набуханию. Благодаря набухающей решетке вбирают в себя значительные объемы воды [1].

Более широкое распространение получили также монтмориллониты (ММТ). ММТ является минералом подгруппы смектитов подкласса слоистых силикатов. Если в его полимере отчасти разделены частицы тактоиды, их называют нанокомпозитами с включениями, а при полном разделении на отдельные пластины – расслоенными или эксфолированными. Введение в структуру композита ММТ позволяет увеличить теплостойкость, модуль упругости, формоустойчивость и огнестойкость.

Бентониты – это тонкодисперсные глины, состоящие не менее чем на 70 % из минералов группы смектита (монтмориллонита, бейделлита, нонтронита, сапонита). Смектиты являются наиболее подходящими минералами среди слоистых силикатов для образования органоглин.

Добавка органоглины в полимерную массу позволяет повысить термостойкость, газонепроницаемость, водоотталкивающие свойства, и придать высокую механическую прочность некоторым видам пластмасс [1].

Таким образом, наиболее распространенными глинистыми минералами являются:

- каолинит: белый, мягкий, используется в фарфоровом производстве, как наполнитель в бумаге и пластике.

- монтмориллонит: обладает высокой поглощательной способностью, применяется в качестве сорбента, наполнителя, в косметике.

- иллит: встречается в почвах, глинистых сланцах, используется в качестве компонента керамических изделий.

- смектит: в почвах, используется в качестве сорбента, наполнителя, в керамике.

- хлорит: зеленый цвет, в почвах, глинистых сланцах, используется в качестве компонента керамических изделий.

Остановимся на более подробном изучении группы смектита. Смектиты – группа глинистых минералов, обладающих способностью к сорбции, ионному обмену, а также к набуханию при внутрикристаллическом внедрении органических молекул. Характер этих взаимодействий определяется природой поверхности смектитов, которая, в свою очередь, обусловлена условиями их кристаллизации, составом и кристаллическим строением силикатных слоев. Наиболее устойчивый компонент структуры смектитов представлен двумя кремнекислородными тетраэдрическими сетками, соединенными между собой октаэдрической сеткой. Все вершины тетраэдров каждого слоя повернуты к центру октаэдрического слоя. Характерной особенностью этих минералов является возможность изоморфных замещений практически по всем кристаллографическим позициям. Так, в высокожелезистых смектитах, нонтронитах, присутствует трех- и двухвалентное железо в тетраэдрических и октаэдрических позициях соответственно. Такие замещения являются нестехиометрическими и создают в слое дефицит положительных зарядов, компенсируемый межслоевыми катионами. Величина слоевого заряда и его локализация в октаэдрической и/или тетраэдрических сетках определяют характер взаимодействия между слоями и, соответственно, ионообменные и сорбционные свойства минералов, зависящие также и от свойств катионов в межслоевом пространстве: их размера, заряда, координационного числа, строения внешних электронных оболочек и т.д. [2].

Сапонит – это минерал, принадлежащий к группе смектитов, обладающий уникальным набором свойств, обусловленным его специфической структурой. Структура сапонита представляет собой слоистую решетку, состоящую из тетраэдрических и октаэдрических слоев. Тетраэдрические слои состоят из атомов кремния, окруженных четырьмя атомами кислорода, образуя тетраэдры. Октаэдрические слои формируются из атомов магния или алюминия, окруженных шестью атомами кислорода, создавая октаэдры. Между слоями сапонита располагаются слабосвязанные катионы, такие как натрий, калий, кальций и магний. Эти катионы легко обмениваются на другие катионы из раствора, что обуславливает высокую емкость катионного обмена сапонита.

Сапонит характеризуется малым размером частиц, обычно в пределах 1-10 микрон, и большой удельной площадью поверхности, которая может достигать 700 м²/г. Это свойство связано с его слоистой структурой и наличием межслоевых пространств, которые легко доступны для взаимодействия с другими веществами. Взаимодействие сапонита с водой приводит к его набуханию. Молекулы воды проникают в межслоевые пространства, раздвигая слои и увеличивая объем материала. Этот процесс также влияет на реологические свойства сапонита, придавая ему тиксотропные свойства, то есть способность изменять свою вязкость под действием внешних воздействий. Дегидратация происходит при удалении воды, что приводит к уменьшению объема. Благодаря своей слоистой структуре и большой удельной площади поверхности, сапонит обладает высокой связывающей способностью. Он может связывать различные вещества, такие как ионы металлов, органические молекулы, а также токсичные вещества. Сапонит способен реагировать с различными неорганическими и органическими реагентами. Например, он может реагировать с кислотами, щелочами, солями, а также с органическими растворителями.

Сапонит отличается от других смектитов тем, что отрицательный тетраэдрический заряд из-за замещения Si⁴⁺ на Al³⁺ намного больше и всегда перевешивает любой возможный положительный заряд октаэдрического слоя. Сапониты входят в тройку распространенных минералов группы смектита [3].

Глинистые минералы широко используются в различных сферах нанотехнологий.

– Композитные материалы: наночастицы глины могут быть введены в композиционные материалы для улучшения их механических свойств, например, увеличения прочности и жесткости. Использование

сапонита в качестве добавки, оказывающей комплексное воздействие на свойства бетонной смеси (регулирование подвижности, плотности, повышение прочности, морозостойкости) позволит выделить новое направление использования отходов и уменьшить антропогенную нагрузку на регионы, а также снизить стоимость конечной продукции (замена химических составляющих на минеральное сырье), получить новый экологически чистый продукт.

– Сорбенты: глинистые наночастицы обладают повышенной поверхностью и способностью поглощать различные вещества. Их используют для очистки воды и почвы от загрязнений, в медицине для удаления токсичных веществ.

– Катализаторы: глинистые наночастицы могут действовать как катализаторы в различных химических реакциях.

– Электроника: глинистые наночастицы используются в разработке новых электронных устройств, например, батарей и солнечных элементов.

– Нефтяная и газовая промышленность: сапонит используется как добавка в буровые растворы для улучшения их реологических свойств и стабилизации стенок скважины.

– Фармацевтика: глинистые наночастицы используются в разработке новых лекарственных препаратов и систем доставки лекарств [4-5].

Таким образом, глинистые минералы – это не просто горные породы, они являются важным сырьем для различных отраслей промышленности и технологий. Свойства глинистых минералов, от сорбции и ионного обмена до пластичности и наноразмерных характеристик, открывают широкие перспективы для их применения в различных областях жизни [6].

Список литературы

1. Михеева, А.Р. Нанонаполнители на основе глины / А. Р. Михеева, С. В. Илюшина, А. И. Бугаева, О. О. Мошечкова // Новые технологии и материалы легкой промышленности : XVI Всероссийская научно-практическая конференция с элементами научной школы для студентов и молодых ученых. Сборник статей, Казань, 19–23 мая 2020 года. –2020. – С. 490-492.
2. Пальчик, Н.А. Кристаллохимические особенности и сорбционные свойства природных и синтетических смектитов / Н. А. Пальчик, Л. И. Разворотнева, Т. Н. Мороз, Л. В. Мирошниченко // Журнал неорганической химии. – 2019. – Т. 64. – № 3. – С. 251-259.
3. Миненко, В. Г. Научное обоснование процесса электрохимической сепарации и конструкции аппаратов для эффективного извлечения сапонитсодержащего продукта и обесшламливания техногенных вод ОФ АО

«СЕВЕРАЛМАЗ» / В.Г. Миненко // К 300-летию Российской Академии Наук. – 2023. – Т. 2. – С. 467-471.

4. Морозова, М. В. Сорбция водной фазы минеральной сапонит-содержащей добавкой в мелкозернистые бетоны / М.В. Морозова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. – 2018. – №. 4. – С. 20-25.

5. Калинин, И. В. Использование кислотно активированных сапонитов в качестве природных сорбентов / И.В. Калинин, В.А. Богатыренко, В.А. Нестеровский // Ukrainian Journal of Ecology. – 2018. – Т. 8. – №. 2. – С. 134-139.

6. Сивальнева, М.Н. Методы оценки механоактивированного минерального сырья для композиционных вяжущих / М. Н. Сивальнева, В. В. Строкова, В. В. Нелюбова [и др.] // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2023. - № 9. - С. 8-22.

УДК 693.542.526

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС МАЛОГАБАРИТНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ ПОЛИСТИРОЛБЕТОННОЙ СМЕСИ**

Таволжанский М.Р.¹, Сырых А.А.¹, Орехова Т.Н.

1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Представлена конструкция малогабаритного комплекта оборудования, где базовой машиной был смеситель самотечного действия для приготовления высококачественной полистиролбетонной смеси с добавлением волокнистых элементов и дальнейшего ее использования в производстве. Все оборудование, входящее в комплект поставки, работает на одном и том же производстве при одновременном совмещении операций. Приведена конструкция базовой машины - смесителя, работающего в каскадном режиме. Также приведены зависимости для определения основных показателей работы машин (производительность, мощность), которые показывают их взаимосвязь друг с другом.

Ключевые слова: строительные смеси, смеситель, полистеролбетон, мощность привода.

**TECHNOLOGICAL COMPLEX OF SMALL-SIZED EQUIPMENT
FOR THE PREPARATION OF PRODUCTS FROM POLYSTYRENE
CONCRETE MIXTURE**

, Tavolzhansky M.R., Syryh A.A.¹, Orehova T.N.¹

1. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod

The design of a small-sized set of equipment is presented, where the basic machine was a gravity mixer for the preparation of a high-quality polystyrene concrete mixture with the addition of fibrous elements and its further use in production. All the equipment included in the delivery package works at the same production facility while simultaneously combining operations. The design of the basic mixer machine operating in cascade mode is given. Dependencies are also given to determine the main performance indicators of machines (productivity, power), which show their relationship with each other.

Keywords: building mixes, mixer, polystyrene concrete, drive power.

В наше время материалы на основе полистиролбетонной смеси находят применение при возведении одноэтажных строений и домов необычной конструкции. Эта смесь применяется для формирования как отдельных строительных блоков, так и целых конструкций здания, выполняя функцию изолятора. Обычно для её изготовления используются крупные производственные установки на заводе, а затем готовые продукты или блоки доставляются на место строительства. Однако такой способ работы создает временные простои между этапами, что приводит к снижению эффективности строительных процессов.

В связи с этим, актуально разработать и внедрить технологический комплекс оборудования, способный работать с непрерывной скоростью, не ухудшая при этом качество получаемой смеси и изделий из полистиролбетона. Инвестиция в такой комплекс оборудования позволит уменьшить простои машин, повысить производительность производственной линии и, что наиболее важно, обеспечить выпуск высококачественной продукции.

Исследуя различные модели смесителей для создания полистиролбетонных растворов, можно отметить, что в качестве ключевых и широко применяемых выделяются модели с самотекой или принудительной механикой, которые могут быть одновальными или двухвальными.

Простейшим способом смешивания является использование стандартной циклической установки для бетона, которая работает по принципу гравитации и предназначена для производства мобильных бетонных растворов.

В свою очередь, смеситель с принудительной механикой – это установка RSG-1000, которая представляет собой герметичный горизонтальный смеситель, используемый для изготовления и

транспортировки пенобетонных и полистиролбетонных растворов разной плотности на место укладки.

Установка для смешивания включает в себя два шнека с противоположными направлениями движения, что гарантирует высококачественное перемешивание компонентов и равномерность готовой смеси.

Данная конструкция смесителя позволяет избежать необходимости применения дополнительных насосных систем для перемещения смеси. Транспортировка смеси к месту ее использования осуществляется благодаря избыточному давлению, которое генерируется компрессором внутри смесителя. Устройство также оснащено защитным клапаном, который служит для контроля и регулировки давления при выгрузке смеси. Смесь может быть перемещена на расстояние до 20-30 метров в горизонтальном направлении и до 5-6 метров в вертикальном.

Автоматизированный генератор пены высокой производительности позволяет создавать однородную пористую пенную смесь с возможностью изменения плотности.

Пульт управления, установленный на корпусе смесителя, дает возможность одному оператору контролировать все функции генератора. Эта установка может быть установлена на производственных комплексах с автоматизированной системой управления.

Технологические комплексы для производства изделий из полистиролбетонной смеси различаются в зависимости от конфигурации базовой машины, линии производства и типа изделия.

Автоматизированные конвейерные комплексы полностью освобождают от необходимости привлечения ручного труда. Хотя такие комплексы обладают высокой стоимостью, они гарантируют максимальную производительность. Благодаря точной дозировке компонентов и строгому соблюдению технологии, изделия, произведенные на таком оборудовании, отличаются точными геометрическими размерами и высоким качеством.

Структура комплекса включает в себя бункеры для хранения компонентов смеси, смеситель для приготовления полистиролбетона, ручной вибропресс и дробилку для измельчения пенопласта. Благодаря указанным технологиям, из полистиролбетона можно производить блоки и кирпичи. Примером успешного применения полистиролбетона являются купольные дома от SunHouse (рис. 1).



Рис. 1. Купольный дом из полистиролбетона

Для возведения здания применяется инновационная опалубка из многослойного стеклопластика. Каркас может иметь три разных диаметра: 4,7 м, 7 м и 9 м. Бетонная смесь подается в опалубку с помощью бетононасоса. В данной конструкции нет необходимости в использовании армирования. После снятия опалубки поверхность стен остается гладкой и не требует дополнительной выправки.

Существуют компактные устройства, входящие в состав технологического комплекса, которые обладают такой же производительностью. Они предназначены для приготовления бетонных смесей, их транспортировки и работ по торкретированию. Эти устройства отличаются мобильностью, компактностью и автоматизированным функционированием.

После изучения имеющегося оборудования и технологических процессов в производстве изделий из полистиролбетона был разработан технологический комплект компактного оборудования (см. рис. 2). Этот набор позволяет приготовить высококачественную смесь полистиролбетона с добавлением волокнистых материалов. Присутствие фрезы для измельчения волокон обеспечивает однородность смеси и повышает прочность готовых изделий.

Комплект оборудования включает в себя основную машину - смеситель с принудительным перемешиванием, измельчитель волокон, ленточный конвейер для подачи компонентов смеси, шнековый транспортер для перемещения готовой смеси. Все устройства смонтированы на одной раме и работают согласованно (в зависимости от производительности смесителя), что уменьшает время подачи компонентов смеси.

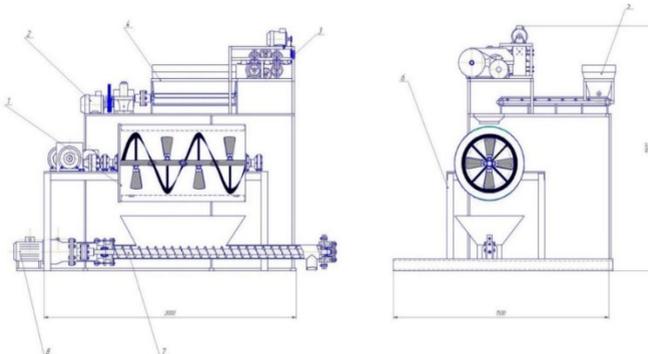


Рис. 2. Комплект оборудования для приготовления полистиролбетонной смеси 1 - самотечно-принудительный смеситель; 2 - двигатель ленточного питателя; 3 - резак для волокна; 4 - ленточный питатель; 5 - бункер для компонентов; 6 - рама; 7 - шнековый питатель; 8 - двигатель шнекового питателя

Принцип работы комплекта оборудования заключается в следующем. Компоненты смеси хранятся в бункере 5 и затем по ленточному конвейеру 4 перемещаются к загрузочному отверстию смесителя 1. В это время волокна нарезаются волоконрезом 3 и равномерно распределяются на ленточном конвейере 4. Готовая смесь полистиролбетона выгружается из смесителя 1 в приемный бункер двигателя 8 и затем транспортируется к месту формирования изделий.

При анализе существующих конструкций смесителей, применяемых для приготовления полистиролбетонных смесей, следует отметить следующие особенности:

- неопределенность в возможности получения однородных смесей;
- проблемы с адгезией смеси к поверхности смесителя;
- длительный процесс приготовления смеси.

Учитывая недостатки существующих машин, для приготовления таких смесей предлагается использовать бетоносмеситель самотечного действия, работающий в каскадном режиме.

Конструкция самотечного бетоносмесителя, примененная для создания бетонных смесей с низкой обрабатываемостью и минимальным осадком, успешно прошла проверку на производстве.

Новое конструктивное решение такого смесителя, которое по параметрам будет соответствовать условиям приготовления полистиролбетонных смесей с волокнистыми элементами, представлено на рисунке 3.

Самотечный смеситель имеет цилиндрический корпус, в середине которого находится горизонтальный ленточно-лопастной вал с лопастями, закрепленными по винтовой линии.

Корпус смесителя и ленточно-лопастной вал вращаются в противоположных направлениях. Во время работы ленточно-лопастного вала создается дополнительное вращение корпуса смесителя в обратном направлении при использовании мелкого заполнителя (песка) для приготовления полистиролбетонной смеси. Кроме того, если объемный коэффициент k_f превышает 0,5, рекомендуется использовать одновременное вращение как вала ленточного ножа, так и корпуса смесителя.

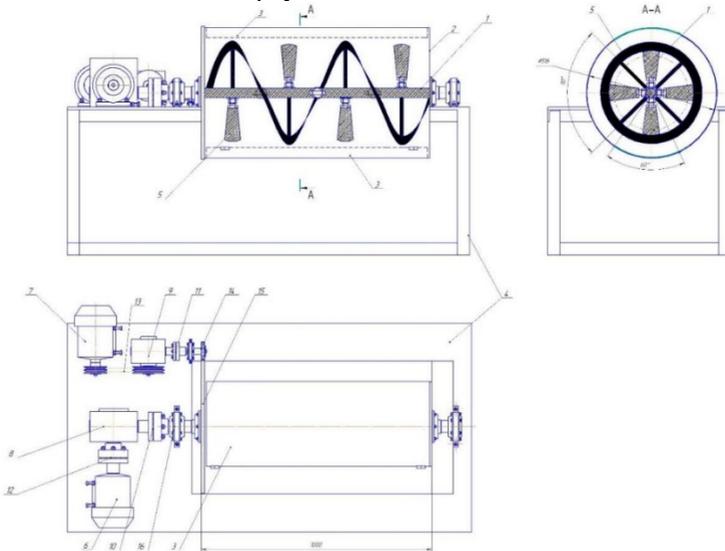


Рис. 3. Принципиальная схема смесителя самотечного типа: 1 - вал шнека; 2 - корпус; 3 - крышка; 4 - рама; 5 - лопасть корпуса; 6, 7 - электродвигатель; 8, 9 - червячный редуктор; 10, 11, 12 - соединительная коробка; 13 - Клиноременная передача; 14 - звездочка цепной передачи; 15 - цепь; 16 - роликовая каретка

Принцип функционирования устройства заключается в передаче крутящего момента от электродвигателя 6 через соединительный блок 12 на редуктор 8. Затем, через соединительный блок 10, с вала редуктора 8 начинает вращаться горизонтальный вал 1 с неподвижными лопастями 5.

Электродвигатель 7 передает крутящий момент на редуктор 9 через клиноременную передачу 13. Далее, через соединительный блок 11, крутящий момент с вала редуктора 9 приводит в движение корпус бетоносмесителя 2 с помощью цепной передачи, состоящей из

звездочки 14 и цепи 15, закрепленной на внешней поверхности корпуса бетоносмесителя.

Корпус бетоносмесителя 2 оборудован крышками 3, которые открывают и закрывают загрузочное и разгрузочное отверстия машины по необходимости.

Проведя анализ существующих конструкций смесителей для приготовления полистиролбетонных смесей, рекомендуется использовать бетоносмеситель самотечного действия (работающий в каскадном режиме). Этот смеситель не только обеспечивает высокое качество смеси, но также отличается высокой производительностью. Также подробно рассмотрены конструктивные особенности смесителя, работающего в каскадном режиме.

Работа выполнена при поддержке комплексного проекта (Постановление Правительства Российской Федерации № 218) «Создание высокотехнологичной системы подготовки оборотной воды обогатительной фабрики АО «Севералмаз» с переработкой отходов в товарную продукцию» (Соглашение № 075-11-2023-013 от 15.02.2023).

Список литературы

1. Рахманов В.А., Довжик В.Г. Амханицкий Г.Я. «Улучшение свойств и оптимизация составов полистиролбетона». Труды II Всероссийской (международной) конференции по бетону и железобетону. М. 2005. Т. 4, стр. 135-147.
2. Орехова Т.Н., Раков А.М., Качаев А.Е., Аналитические исследования процесса сепарации частиц в дизинтеграторе. Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях. Материалы международной научно-практической конференции. Белгород, 2022. С. 148-156.
3. Евстифеев В.Н. Гидравлические местные сопротивления при движении бетонных смесей и строительных растворов по трубопроводам / В.Н. Евстифеев, Г.М. Батарина // Строительные и дорожные машины. – 1978. – № 4. – С. 28–29.
4. Густов Ю.И., Степанов М.А., Кайтуков Б.А. Анализ конструктивно-расчетных схем бетоносмесителей // Механизация строительства. 2013. № 12. С. 10-12.
5. Шестаков Ю.Г., Стрыжаков С.Д., Орехова Т.Н., «Сухие строительные смеси». Наука и инновации в строительстве. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 360-364.
6. Новицкий Н.В., Михайлова С.Н. Удельные характеристики бетоносмесителей// Бетон и железобетон. 1987. № 6.
7. Сергеев В.П. Строительные машины и оборудование: Учеб. для вузов по спец. «Строит. машины и оборудование». – М.: Высш. шк., 1987. С. 300-376.

УДК 693.542.526

**АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ СМЕСИ В КОРПУСЕ СМЕСИТЕЛЯ С
ВЕРТИКАЛЬНЫМ ШНЕКОМ СО СМЕННОЙ ОБРАЗУЮЩЕЙ**

Таволжанский М.Р.¹, Сырых А.А.¹, Орехова Т.Н.¹

*1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

Теоретически исследованы кинематические особенности движения смеси в вертикальном растворосмесителе принудительного действия, шнековые ленты которого имеют образующую с переменным углом наклона к оси лент в зависимости от высоты размещения. Получены схемы движения и зависимости для расчета перемещений, скоростей и ускорений частей смеси, что позволяет проектировать растворосмесители с новыми геометрическими параметрами.

Ключевые слова: строительство, приготовление строительных растворов, шнек, образующая шнека, эллипс.

**ANALYSIS OF THE KINEMATICS OF THE MIXTURE IN THE
MIXER HOUSING WITH A VERTICAL SCREW WITH A
REPLACEABLE GENERATOR**

Tavolzhansky M.R., Syryh A.A.¹, Orekhova T.N.,

*1. Belgorod State Technological University named after V.G.
Shukhov, Belgorod*

The kinematic features of the movement of the mixture in a vertical forced-action mortar mixer, the screw tapes of which have a formative with a variable angle of inclination to the axis of the tapes, depending on the height of placement, are theoretically investigated. Motion schemes and dependencies for calculating displacements, velocities and accelerations of parts of the mixture are obtained, which makes it possible to design mortar mixers with new geometric parameters.

Keywords: construction, preparation of mortars, auger, forming auger, ellipse.

При создании растворосмесителей необходимо учитывать множество факторов. Их конструкция должна быть простой, производительность высокой, энергопотребление низким, надежность высокой, а качество приготовления строительных смесей разнообразным. При проектировании смесителя важно учитывать механику процессов, происходящих внутри. Это зависит от расположения рабочих органов и их параметров, а также от движения частиц смеси, определяемого кинематикой смешивания. Основное

влияние на механику смешивания оказывают кинематические факторы, определяющие характер движения частиц смеси. Анализ кинематики помогает выбрать оптимальное расположение рабочих органов, отвечающее требованиям к смесителям, и предоставляет данные для определения усилий, моментов и потребляемой мощности.

Среди известных технологий смешивания растворителей принудительного действия с рабочим органом в виде шнека или шнековой ленты особое место занимают конструкции с винтовой поверхностью шнеков, образующей постоянный угол с осью. Подобные решения актуальны для современных машин последних моделей, а также для более ранних разработок с вертикальным или горизонтальным расположением вала. В этом случае смесь в смесителе движется радиально в одном направлении относительно оси на всей длине шнековой поверхности, что существенно влияет на интенсивность перемешивания при вертикальном расположении вала. Для обеспечения разнонаправленного радиального движения смеси вдоль корпуса и достижения более эффективной циркуляции компонентов шнековые поверхности изготавливаются с изменяемым углом наклона к оси вдоль всей высоты.

При улучшении технических характеристик смесителей и изменении параметров возникает вопрос оценки эффективности предлагаемых решений. Одним из ключевых аспектов эффективности работы смесителя является количество энергии и мощности, затрачиваемых на перемешивание для обеспечения качественного приготовления строительных растворов. Выявление уравнений для определения расходуемой на перемешивание мощности для стандартных конструкций смесителей, а также при изменяющихся геометрических параметрах системы, становится все более значимым и актуальным для разработки новых оборудования. Это можно осуществить через анализ сил сопротивления, возникающих в процессе работы смесителя, и коэффициента полезного действия привода. Один из методов определения сил основан на принципах механики, что требует изучения кинематики перемешивания при новых условиях.

Цель данного исследования заключается в изучении кинематики процесса смешивания вертикального растворосмесителя с принудительным действием, шнековые ленты которого имеют возможность менять угол наклона к оси в зависимости от высоты их размещения. Также целью является получение исходных данных для расчета сил сопротивления и потребляемой мощности для подобных конструкций смесителей, а также разработка рекомендаций по оптимальной схеме размещения рабочих элементов в пространстве.

Для достижения поставленных целей для каждой дискретной частицы смеси, перемещающейся по внешней поверхности ленты шнека, решались следующие задачи:

- вывести расчетные зависимости для перемещения;
- определить направления и величины скоростей движения;
- определить направления и величины ускорений движения.

Кинематические аспекты смешивания анализируются в конструкции смесительного устройства, представляющего собой цилиндрический корпус с вертикально вращающимся рабочим элементом в форме шнека (см. рис. 1а и 1,б). Рабочий элемент включает в себя вертикальный вал 1, опирающийся на подшипники, расположенные на дне корпуса. На кронштейнах 2 и 3, расположенных по периметру смесительной камеры, закреплены две шнековые ленты 4 с изменяющейся геометрией. Эта геометрия регулируется таким образом, что в самом низу шнековой ленты она находится перпендикулярно оси шнека, а возвышаясь по ленте, изменяется, увеличивая свой угол наклона θ вверх вдоль шнека до периферии в вертикальной плоскости (см. рис. 2). Максимальный угол наклона достигается в самой верхней точке ленты и соответствует углу, под которым расположены внешние шнековые ленты относительно горизонтальной плоскости (см. рис. 1,б). Для достижения такого изменения геометрии ленты, ее изготавливают в виде плоской поверхности, полученной на плоскости, проходящей через ось нижнего кронштейна 3 под определенным углом к горизонтальной плоскости.

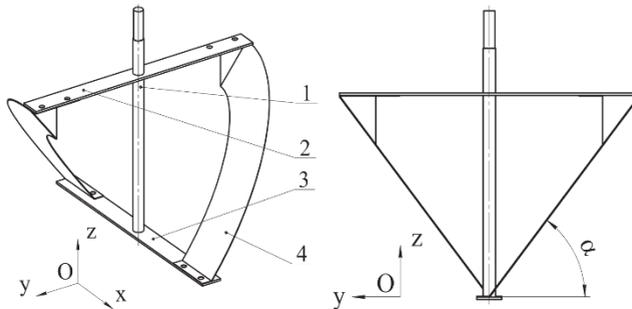


Рис. 1. Рабочий орган смесителя: а-вид аксонометрии; б-вид в плоскости yOz ; 1-вертикальный вал – 2-верхний кронштейн, 3-нижний кронштейн, 4-шнековая Лента со сменной образующей

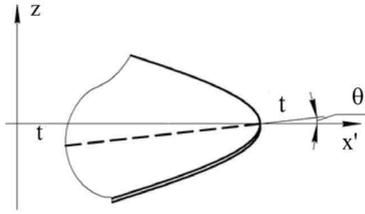


Рис. 2. средний участок шнековой ленты в вертикальной плоскости, проходящей через ось z : t - t -образующая шнековой ленты в вертикальной плоскости;

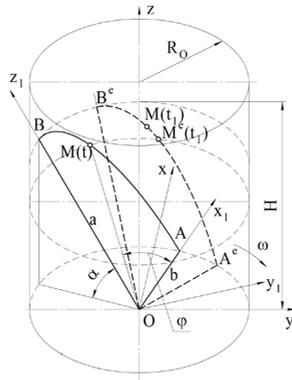


Рис. 3. Схема движения частицы смеси в корпусе смесителя

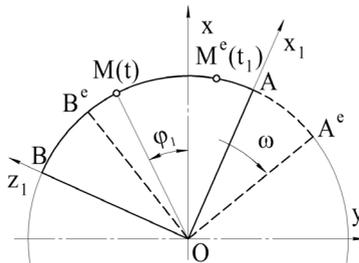


Рис. 4. Схема движения частицы смеси в корпусе смесителя в плоскости xOy

Механику процесса, происходящего в корпусе смесителя, можно исследовать, используя принципы механики сплошных сред. Для этого принято предположение, что перемешиваемая среда однородна по

всему объему. Частота вращения смесителя является постоянной, что соответствует установленному режиму работы оборудования и движению среды. А точкой отсчета является ось симметрии корпуса смесителя Oz (рис. 3), движение частиц смеси в этой системе отсчета принимается за относительный. Рассмотрим кинематику движения элементарной дискретной частицы смеси в виде точки M вокруг оси корпуса смесителя Oz . Принимаем две системы координат с началом координат O в центре окружности днища корпуса смесителя (рис. 3). Оси фиксированной системы координат x, y, z и оси системы координат x_1, y_1, z_1 , которая будет иметь плоскость x_1Oz_1 , которая совпадает с плоскостью ленты, и будет вращаться вместе с рабочим органом смесителя. Схема движения частицы смеси в корпусе смесителя в плоскости xOy показана на рис. 4. Точка M , которая находится в прямом контакте со шнековой лентой и стенкой корпуса крана, будет выполнять сложное движение. Распределим его на переносное движение по кругу с радиусом RO в плоскости xOy (например, из положения AOB в положение A^eOB^e с угловой скоростью рабочего органа I) и относительное движение в плоскости x_1Oz_1 , которая будет размещена под углом α к горизонтали. Относительное движение будет перемещением по ленте вверх. Поскольку шнековая лента является плоскостью под углом к оси цилиндрического корпуса смесителя, то такое перемещение будет происходить по эллиптической траектории от точки A до точки B . Эллипс траектории будет иметь малую полуось b , которая будет равна радиусу корпуса смесителя, $b=R_0$, и большую полуось.

Проведенными исследованиями установлены особенности кинематики процесса смешивания для вертикального шнекового растворосмесителя со сменной образующей. Получены зависимости позволяющие производить расчеты координат перемещения частиц смеси при относительном движении.

Таким образом, рассматриваемый анализ смеси дает возможность получить исходные данные для определения сил сопротивления движению рабочего органа смесителя и его потребляемой мощности, может быть полезным при выборе рациональной схемы расположения рабочих органов в пространстве. Это позволит основательно проектировать растворосмесители с новыми специфическими геометрическими параметрами, когда применяются шнековые поверхности, которые строятся по образующим с переменным углом наклона к оси смесителя.

Работа выполнена при поддержке комплексного проекта (Постановление Правительства Российской Федерации № 218)

«Создание высокотехнологичной системы подготовки оборотной воды обогатительной фабрики АО «Севералмаз» с переработкой отходов в товарную продукцию» (Соглашение № 075-11-2023-013 от 15.02.2023).

Список литературы

1. Орехова Т.Н., Раков А.М., Качаев А.Е., Аналитические исследования процесса сепарации частиц в дизинтеграторе. Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях. Материалы международной научно-практической конференции. Белгород, 2022. С. 148-156.
2. Евстифеев В.Н. Гидравлические местные сопротивления при движении бетонных смесей и строительных растворов по трубопроводам / В.Н. Евстифеев, Г.М. Батарина // Строительные и дорожные машины. – 1978. – № 4. – С. 28–29.
3. Шестаков Ю.Г., Стрыжаков С.Д., Орехова Т.Н., «Сухие строительные смеси». Наука и инновации в строительстве. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 360-364.
4. Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скель В.И. Определение оптимальных скоростей движения лопастей роторных бетоносмесителей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №3. С. 80-84.
5. Шарапов Р.Р., Уваров В.А., Орехова Т.Н. Теория наземных транспортно-технологических машин. Учебное пособие. Белгород, 2014. 160 с.
3. Бредуля В.Г., Михайлова С.Н. Исследование нагруженности рабочего органа бетоносмесителя // Сборник трудов ВНИИСДМ № 109. «Проблемы повышения производительности и снижения энергоемкости машин для бетонных работ» М:1987.
4. Кайтуков Б.А., Скель В.И., Гоева Е.М. Повышение эффективности работы гравитационных бетоносмесителей // Механизация строительства 2017. № 12.С. 50-53.
5. Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скель В.И. Определение оптимальных скоростей движения смесительных барабанов гравитационны бетоносмесителей // Вестник БГТУ им. Шухова 2017. № 12. С. 147-152.

УДК 625.76:626.226

ЗАЩИТА ЭКСКАВАТОРА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИДРОУДАРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Угрюмов И.А.¹, Семенова И.А.¹

1. *Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск*

Защита гидравлических экскаваторов от вредного воздействия гидроимпульсного оборудования является весьма актуальной задачей, решение которой может быть выполнено применением специальных устройств амортизирующих колебания. При работе активных рабочих органов, осуществляющих ударное воздействие на мерзлый грунт с

высокой скоростью возникают вредные колебания (вибрации), поэтому предлагается использовать специальный уравнивающий гидроневмоамортизатор, который крепится к рукояти экскаватора и защищает рабочее оборудование экскаватора благодаря своей конструкции.

Ключевые слова: гидрипульсная техника, гидроневмоамортизатор, экскаватор, гидромолот

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A WATER HAMMER DEVICE WITH NON-SLIP STRIKERS

Ugrumov I.A.,¹ Semenova I.A.¹

1. The Siberian State Automobile and Highway University, Omsk

Increasing the power of modern hydraulic excavators makes it possible to effectively use these machines with significant amounts of excavation work. When working with frozen soils, it is necessary to use active working bodies that act on frozen soil at a higher speed than static working bodies. Such machines do not require significant energy costs. A promising design of a hydraulic hammer with several hydraulic hammers in one block is proposed, which has a number of advantages over the traditional design.

Keywords: ground, momentum, energy, impact, frozen

Гидроударное оборудование (гидромолоты, ковши активного действия, пневмомолоты) относятся к ударным импульсным системам, которые являются предметом исследований не только в России, но и за рубежом и могут применяться в различных отраслях [1-3].

К основным параметрам их относятся значительная энергия и частота ударов [4].

При работе гидромолота или ковша активного действия, в качестве навесного оборудования экскаватора оказывается негативное воздействие в виде вибраций от импульсов определенной частоты и силы на его рабочее оборудование (стрелу, рукоять) [4].

Решение данной проблемы является актуальной задачей, так как это может привести как поломкам оборудования, так и простоя экскаватора.

Для более эффективной и безопасной работы данных устройств необходимо обеспечить гашение колебаний вызванных работой гидроимпульсного оборудования.

Гашение колебаний основывается на превращении кинетической энергии в другую (тепловую или электрическую).

Защиту от вибраций, создаваемых от работы гидроимпульсной техники можно разделить на конструктивную и от внешнего источника.

Теоретически и экспериментально установлено, что применение гидропневматических амортизаторов, которые являются наименее материалоемкими и компактными имеет ряд преимуществ:

- доступность для регулировки;
- стабильность рабочих характеристик в широком интервале частот колебаний.

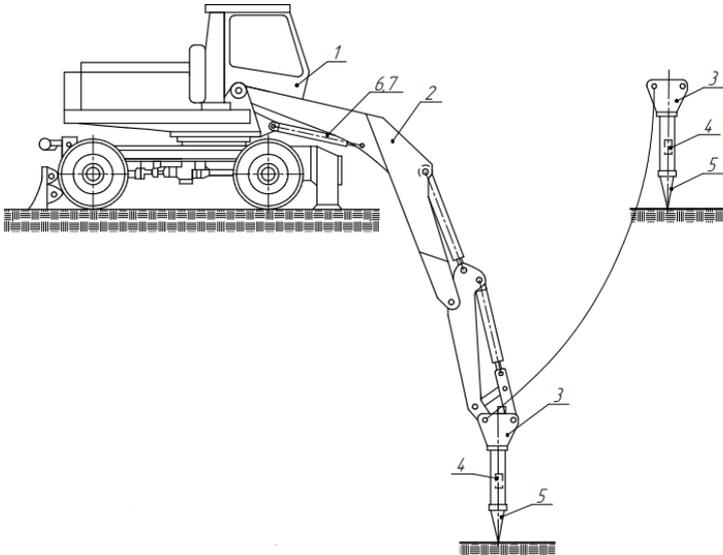


Рис. 1 Общий вид экскаватора с гидромолотом с уравновешивающим гидропневмоамортизатором [5]

- 1 – экскаватор (базовая машина); 2 - стрела; 3 - гидромолот; 4 - боек;
5 - ударник; 6,7 - гидроцилиндры

Но не существует достаточных исследований о методике выбора, расчета и проектирования данного оборудования.

Превращение механической энергии колебаний в гидравлических гасителях в тепловую с последующим ее рассеиванием обуславливает их нагрев.

Жидкость перекачивается внутри замкнутого контура, поэтому гидропневмоамортизаторы относятся к одной из разновидностей объемных гидравлических машин, к основным параметрам которой относятся номинальное давление и рабочий объем [1].

Обеспечение требуемого давления достигается правильным выбором размеров дросселей, которые должны обеспечивать безопасность работы системы и необходимую интенсивность гашения колебаний.

Предлагается в качестве защиты экскаватора от воздействий гидромолота использовать дополнительный уравнивающий гидропневмоамортизатор, который имеет пневматическую и гидравлические камеры (рис. 1, рис. 2).

Перед проведением проектно-конструкторских работ был проведен патентный поиск в результате которого выбран один из вариантов защиты экскаватора от вибраций, вызванных работой гидромолота.

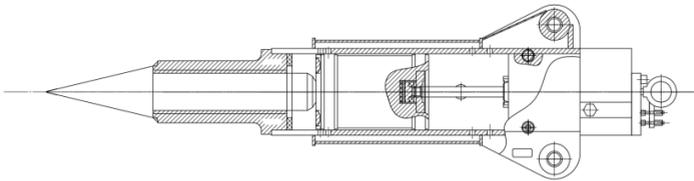


Рис. 2 Гидромолот [2]

Для защиты рукояти от вибраций предлагается использовать гидропневмоамортизатор.

В его пневматической камере происходит накопление энергии, а поршневые полости работают от рабочей жидкости гидросистемы базовой машины (рис. 3).

Рабочий процесс гидропневмоамортизатора определяется совместным действием упругой силы сжатого газа и неупругого сопротивления жидкости, вытесняемой через дросселирующую систему поршнем.

Процесс сжатия газа в объеме является изотермическим, то есть протекает при постоянной температуре.

При работе данного устройства возникают силы сопротивления сжатию и силы отдачи, а также силы сопротивления жидкости, вытесняемой через дроссели.

В большинстве случаев используются гидропневмоамортизаторы с гибким тонкостенным разделителем газа и жидкости (рис. 3).

Для эффективной работы проектируемой системы необходимо выбрать правильный режим и параметры системы.

При выборе основных параметров гидропневматических амортизаторов необходимо учитывать такие факторы как номинальное давление в гидросистеме и эксплуатационные характеристики базовой

машины и гидромолота.

Гидропневматические гасящие устройства, работающие при высоких давлениях, чувствительны к недостаточной зарядке перед рабочим ходом.

Итак, основные гидроцилиндры экскаватора могут быть защищены от нагрузки за счет предлагаемой механической системы обеспечиваемой гидропневмоамортизатором.

Таким образом, при учете всех факторов использование гидропневматического амортизатора в качестве защиты от вибраций может по своим функциональным и стоимостным параметрам находиться на уровне лучших мировых образцов техники, так как решается ряд задач: компенсация сил, демпфирование, поддержание фиксированного значения давления.

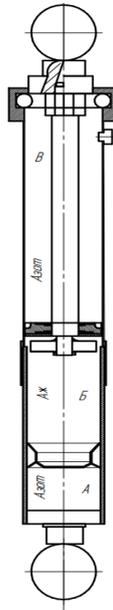


Рис. 3. Уравновешивающий гидропневмоамортизатор [6]

- А – полость, заполненная азотом;
- Б – полость, заполняемая жидкостью;
- В – полость, заполняемая азотом.

Дальнейшим результатом научно-исследовательской деятельности будет методика расчета и исследование основных параметров системы защиты.

Список литературы

1. Галдин Н.С. Гидравлические машины, объемный гидропривод: учебное пособие.-2-е изд., стер.-Омск: СибАДИ,2014.-272 с.
2. Галдин Н.С. Многоцелевые гидроударные рабочие органы дорожно – строительных машин: Монография. – Омск; Изд – во СибАДИ, 2005. – 223 стр.
3. Семенова И.А. Автоматизация моделирования зубьев – рыхлителей активного действия на основе гидроударников для экскаватора : Дис. Канд. Техн. наук.- Омск 2006.- 155 стр.
4. Семенова И.А. Автоматизация моделирования зубьев-рыхлителей активного действия на основе гидроударников для экскаваторов: автореф. дис... канд. техн. наук : 05.13.12 / И. А. Семенова ; науч. рук. проф. Н. С. Галдин ; СибАДИ. – Омск, 2006. – 19 с.
5. Патент №2343246 Российская Федерация, МПК E02F 9/22 (2006.01), C2. Способ защиты экскаватора от воздействий гидромолота и устройство для его осуществления: №2007107277/03: заявл. 26.02.2002: опубл.10.01.2009/ Тарасов В.Н., Тарасов Е.В., Коваленко М.В., Бояркина И.В..-9 с.
6. Дербаремдикер А.Д. Амортизаторы транспортных машин: учебное пособие / А.Д. Дербаремдикер. – М. : Машиностроение, 1985. 200 с.

УДК 625.144

АНАЛИЗ РОССИЙСКОЙ И ШВЕДСКОЙ ПУТЕВОЙ СНЕГОУБОРОЧНОЙ ТЕХНИКИ

Чалова М.Ю.¹, Кирсанов А.Д.¹

*1. ФГАОУ ВО Российский университет транспорта (МИИТ), г.
Москва*

В статье приведены факторы, влияющие на работу путевой снегоуборочной техники в России и Швеции в зависимости от климатических условий обеих стран. В работе рассмотрены путевые снегоуборочные машины, аналогов которых не существует в России. Проведен анализ парка путевых снегоуборочных машин России.

Ключевые слова: путевая снегоуборочная техника, климатические условия, снег, железнодорожный путь

ANALYSIS OF RUSSIAN AND SWEDISH RAILWAY SNOW REMOVAL EQUIPMENT

Chalova M.Yu.¹, Kirsanov A.D.¹

1. FSAOU VO Russian University of Transport (MIIT), Moscow

The article presents the factors affecting the operation of track snow removal equipment in Russia and Sweden, depending on the climatic conditions of both countries. The paper considers track snowplows, which have no analogues in Russia. The analysis of the fleet of travel snowplows in

Russia has been carried out.

Keywords: track snow removal equipment, climatic conditions, snow, railway track.

Снег является серьезной проблемой для железнодорожного транспорта. В зимний период, когда снежные завалы могут достигать нескольких метров, возникает необходимость в эффективной уборке и очистке железнодорожных путей от снега. Для решения этой задачи используются специальные путевые снегоуборочные машины.

Отечественные и западные производители предлагают различные модели путевых машин, каждая из которых имеет свои особенности и преимущества. Эффективность работы путевой машины зависит не только от ее технических характеристик, но и от правильного выбора модели под конкретные условия эксплуатации.

Влияние климата России и Швеции на борьбу со снегом на железнодорожных путях подчеркивает значительные проблемы, с которыми сталкиваются обе страны из-за их сурового зимнего климата. Россия, характеризующаяся резко континентальным климатом, испытывает экстремальные холода и обильные снегопады, особенно в северных регионах, при этом ежегодное накопление снега достигает 125 сантиметров (49 дюймов) в определенных районах. И наоборот, климат Швеции характеризуется сочетанием морских и континентальных влияний, что приводит к более мягким зимам на побережье, но по-прежнему к большому количеству снега и экстремальным погодным явлениям внутри страны [1].

При сравнении российской и шведской путевой техники для очистки железнодорожных путей от снега рассматриваются технологические и эксплуатационные различия между снегоуборочной техникой, используемой обеими странами. Россия и Швеция, известные своими сложными зимними условиями, разработали специализированную технику для эффективного обслуживания железнодорожной инфраструктуры.

В обеих странах существуют разные подходы к уборке снега, обусловленные их специфическими климатическими условиями и эксплуатационными требованиями. Российские машины предназначены для экстремальных холодов и больших нагрузок и способны работать при температурах до -52°C . И наоборот, шведские машины часто оснащены передовыми системами обогрева и эргономичными элементами, которые повышают их производительность на заснеженной местности, отражая стремление к эффективности и удобству в использовании.

Технологические достижения и адаптация в обеих странах очевидны в их соответствующих методологиях уборки снега, в которых приоритет отдается безопасности, мобильности и экономической эффективности. Спорно, что, хотя обе страны используют различные показатели производительности для оценки эффективности уборки снега, возникают различия в принципах эксплуатации. Швеция делает упор на структурированные методы сравнительного анализа для постоянного совершенствования, в то время как Россия уделяет особое внимание технике следующего поколения, направленной на решение экологических проблем наряду с операционной эффективностью.

Это расхождение в стратегиях подчеркивает более широкий дискурс о будущем технического обслуживания железных дорог в ответ на изменение климата и инициативы в области устойчивого развития, поскольку обе страны делают большие шаги в направлении более экологичных технологий. В конечном счете, продолжающаяся эволюция снегоуборочной техники в России и Швеции отражает сочетание исторических инноваций и современных потребностей, демонстрируя важность эффективного технического обслуживания железных дорог для обеспечения безопасности перевозок в суровых зимних условиях.

Последние достижения в области путевой техники включают такие функции, как трехступенчатая система управления энергопотреблением при работе воздуходувок, системы обнаружения снега и высокопроизводительные снегоочистители, разработанные R.P.M. Tech и другими производителями [2].

Адаптивность российских машин проявляется в их многочисленных конфигурациях для различных задач, включая обновление путей, очистку от балласта и вывоз снега.

Аналогичным образом, шведские путевые машины отличаются универсальностью и предлагают варианты эргономичного навесного оборудования, которое удовлетворяет конкретным потребностям в уборке снега на различных территориях.

Исследования показывают, что Швеция использует структурированный метод сравнительного анализа МРІ, который служит основой для постоянного улучшения обслуживания железнодорожной инфраструктуры, особенно в зимних условиях [3].

Администрация железных дорог Швеции (Banverket) провела тематические исследования, посвященные эффективности уборки снега в рамках нескольких процессов, включая чистку щеткой, погрузку в поезд для перевозки снега и уборку снега с железнодорожных платформ. Этот сравнительный подход направлен на оценку

эффективности старых по сравнению с новыми методами и техникой, подчеркивая важность адаптации к изменяющимся условиям и совершенствования операционных стратегий с течением времени.

В отличие от этого, российская практика может включать различное оборудование и принципы эксплуатации. Акцент на разработке железнодорожных машин следующего поколения стал отличительной чертой российских инноваций в области уборки снега.

Этот сдвиг в сторону модернизации свидетельствует о проактивном подходе к решению проблем, связанных с зимними погодными условиями, при одновременном уделении приоритетного внимания экологическим соображениям.

На примере России и Швеции рассмотрим различия путевой снегоуборочной техники.

В последнее десятилетие парк путевых машин Швеции пополнился несколькими новыми моделями снегоочистительных машин.

Для стрелок, перекрестков и платформ, где трудно подъехать и растопить автомобильный лед, сугробы и метель обычными методами используется небольшая установка с вакуумным всасыванием для быстрой и гибкой работы Snow Removal 100.

Снегоочистительная путевая машина SR 200 имеет специальный плуг, который разделен на четыре секции (общая ширина 8,3 м), предназначен для станций и небольших депо.

Снегоочистительная путевая машина Snow Removal 300 оптимален для расчистки полос (разменных дорог) с высокой пропускной способностью. Снегоочиститель среднего класса с функцией одной щетки. Предназначен для железнодорожных переездов, поддержание функции двойного пути [4].

Система быстрой уборки снега (RSRS) - это мощная усовершенствованная конструкция для уборки снега на железной дороге. Она состоит из снегоочистителя роторного вентиляторного типа, желоба и подметальной машины, позволяющей сдувать снег с рельсов и расчищать железнодорожные шпалы. Также можно добавить дополнительную выдвижную боковую метлу для уборки третьего рельса. Отбрасывает снег на высоту до 38 м (125 футов) и убирает до 3000 тонн снега в час [5].

Система очистки рельсов Cameleon hi-rail предназначена для установки на Cameleon серии 2 (небольшой трактор на комбинированном ходу) для выполнения задач по техническому обслуживанию рельсов, таких как удаление льда и песка, находящихся между рельсами и ограждением на переезде, уборка снега и мусора вокруг стрелочных переводов и рельсов, заключительная уборка после

операций по удалению обледенения и льда, а также другие задачи по очистке [6].

Используя окружающий воздух, воздуходувка AF1 EVO холодного воздуха развивает скорость ветра 860 км / ч (535 миль / ч) и поток воздуха в 19 500 куб. м, чтобы очистить и сдуть скопившийся снег, наледь и плотно слежавшийся сугроб со стрелочных переводов, третьих рельсов и железнодорожных путей без образования конденсата [7].

Более подробно остановимся на двух машинах. На крайнем севере Швеции используется снегоуборочная машина ZAUGG AG EGGIWIL ZRR10000M (рис. 1). Они оснащены двумя независимыми снегоуборочными машинами на передней панели. Для целенаправленной уборки снега каждая из них оснащена регулируемым выталкивающим дымоходом [8].



Рис.1 Снегоуборочная машина ZRR10000M

Две фрезерные мельницы можно перемещать как по высоте, так и по горизонтали. Выталкивающие дымоходы также можно регулировать индивидуально в зависимости от направления и дальности заброса.

В задней части верхнего вагона установлен плуг с гидравлической регулировкой колеи. Его можно регулировать по высоте с водительского места, поворачивать влево и вправо в направлении уборки или ориентировать вперед в форме клина.

Транспортное управление Швеции Trafikverket сотрудничало с Railcare для разработки машины SR 700, которая была разработана специально для уборки снега на сортировочных станциях и в депо.

SR 700 (рис. 2) работает по принципу всасывания снега с путей и хранения растаявшего снега в двух вагонах, после чего выгружается в указанное место или в обычную дренажную систему.



Рис.2 Снеготаятельная машина SR 700

Щетки в блоках удаляют снег и лед с площади до 5 м перед машиной. Снег сгребается в центр пути, и когда головка щетки машины и всасывающий блок, расположенный за кабиной, проезжает, он всасывает очищенный снег, перемещая его в бак в первом вагоне.

Резервуар нагревается генератором мощностью 12 МВт до 25°C, что расплавляет снег и лед, поэтому его можно легко перекачать в резервуар для хранения объемом 50 м³, который изолирован, чтобы вода не замерзала снова. Отсюда воду можно легко слить в обычные путевые стоки или в специально отведенное место, при этом полный слив занимает 7-8 минут.

SR 700 может работать до 25 минут, прежде чем потребуется дренаж, и есть возможность добавить больше единиц для увеличения времени работы, если это необходимо. Система также относительно эффективна: она использует 1 литр дизельного топлива для очистки 1 м³ снега и нагревает водяные баки до 25°C за две минуты [9].

Для очистки пути от глубоких снежных заносов высотой до 4,5 м используют роторные снегоочистители ФРЭС-2 и ЭСО-3. Главными рабочими органами роторных снегоочистителей являются роторы-питатели и выбросные роторы. Для увеличения ширины захвата снегоочистители оборудованы боковыми крыльями. Тяговой и энергетической единицей роторных снегоочистителей является тепловоз с переоборудованной электрической схемой. Эта схема позволяет, кроме «поездного» режима, иметь «снеговой» режим движения. Трехроторный снегоочиститель ФРЭС-2 в отличие от ЭСО-3 имеет на режущих барабанах спиралевидные лопасти вместо прямых лопаток, что обеспечивает более эффективную работу рабочих

органов. Основные технические характеристики ЭСО-3 и ФРЭС-2 отличаются незначительно [10].

Для выполнения работ по очистке от снега железнодорожных путей и стрелочных переводов путём обдува путей воздухом предназначена пневмоочистительная машина ПОМ [11].

Снегоочистители двухпутные плужные предназначены для очистки путей от снежных заносов на двух и многопутных линиях железных дорог. Они могут использоваться и на однопутных участках. Снег при движении двухпутного плужного снегоочистителя отбрасывается в одну сторону, как правило, в правую по направлению движения.

Снегоочистители СДП, СДП-М, СДП-М2 очищают путь от заносов глубиной до 1,0 м при рабочей скорости до 70 км/час. Ширина захвата составляет 3,18 м при закрытых крыльях и 4,95 м при открытых [12].

Несамоходный снегоуборочный поезд СМ-2М предназначен для очистки и уборки станционных железнодорожных путей, горловин и стрелочных переводов в снежный период года от снега и льда, а в бесснежный период года - от загрязнителей с поверхности пути с последующей погрузкой снега, льда или засорителей в полувагоны, вывозкой их и механизированной выгрузкой в отведенных местах. В состав снегоуборочных поездов входят: головная машина, первый промежуточный полувагон, второй промежуточный полувагон и концевой полувагон [11].

Снегоуборочная одновагонная самоходная машина СМ-5 предназначена для очистки от снега и мусора станционных путей, в том числе стрелочных переводов и горловин железнодорожного пути, погрузки в собственный кузов с последующей механизированной выгрузкой в отведенных местах [11].

Поезд снегоуборочный самоходный ПСС-1К предназначен для очистки от снега и засорителей железнодорожных путей, в том числе станционных путей, стрелочных переводов и горловин, погрузки в собственный кузов с последующей механизированной выгрузкой в отведенных местах или в процессе работы на сторону, и состоящий из машины головной, полувагонов промежуточных (одного или двух), полувагона концевого и секции тягово-энергетической ТЭС ПСС-1К (мощностью 656 или 800 кВт) [11].

Струги-снегоочистители ССГ-1, СС-3, СС-1М, ССГС-1, СС-ПОМ, УСМн [11] используются для очистки от снега путей на станциях и перегонах, сколки льда на станционных путях, отвалки снега в местах его выгрузки, очистки кюветов от снега из выемок. Благодаря наличию снегоочистительных устройств шарнирным соединением крыльев и

переднего щита струг-снегоочиститель может производить очистку от снега на однопутных участках, как однопутный снегоочиститель, а на двухпутных участках, как двухпутный. При установке крыльев в виде скрепера можно использовать струг-снегоочиститель для удаления снега из выемок [13].

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что российский парк снегоборочной путевой техники более гибкий и универсальный. Мы располагаем машинами для любой ситуации на железнодорожном пути. Однако техника стареет и через несколько лет следует утилизировать некоторые модели, а альтернатива на данный момент отсутствует. С этой точки зрения мы, к сожалению, отстаем от Швеции. Они активно обновляют путевые машины и внедряют современные технологии. Снеготаятельная машина SR 700 и снегоборочная машина ZRR10000M – два ярких примера удачной разработки, которые успешно выполняют поставленные задачи в нынешних реалиях.

Список литературы

1. National Snow and Ice Data Center [электронный ресурс] – Режим доступа <https://nsidc.org/learn/parts-cryosphere/arctic-weather-and-climate> (дата обращения: 02.09.2024)
2. Progressive railroading [электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.progressiverailroading.com/mow/article/Maintenance-of-way-Snow-and-ice-removal-products-and-services--26588> (дата обращения 02.09.2024)
3. Thomas Åhrén. Maintenance performance indicators (MPIs) for benchmarking the railway infrastructure: A case study / Thomas Åhrén, Aditya Parida // Benchmarking: An International Journal. – 2009. – Vol. 16. – No. 2. – P.247-258.
4. Trafikverket [электронный ресурс] – Режим доступа <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/jarnvag/arstidsstyrda-beredskapsplaner---jarnvag/beredskapsplan-vinter---jarnvag/snorojningsmaskiner/> (дата обращения 02.04.2024)
5. RPM Tech [электронный ресурс] – Режим доступа <https://grouperpmtech.com/en/equipments/rsrs> (дата обращения 02.04.2024)
6. RPM Tech [электронный ресурс] – Режим доступа <https://grouperpmtech.com/en/equipments/cameleon-hi-rail> (дата обращения 05.04.2024)
7. RPM Tech [электронный ресурс] – Режим доступа <https://grouperpmtech.com/en/equipments/af1-evo-for-railroads> (дата обращения 05.04.2024)
8. bundesrundschau [электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.bundesrundschau.ch/zaugg-schneefraesschleuder-zrr10000m-raeumt-den-schnee-auf-schwedischen-gleisen/> (дата обращения 05.04.2024)

9. International Railway Journal [электронный ресурс] – Режим доступа https://www.railjournal.com/in_depth/bringing-snow-clearance-in-from-the-cold/ (дата обращения 05.04.2024)
10. Studbooks.net [электронный ресурс] – Режим доступа https://studbooks.net/2594974/tehnika/harakteristika_elektricheskikh_rotornyh_snego_ochistiteley_fres#124 (дата обращения 05.04.2024)
11. Альбом специальных железнодорожных путевых машин. – Текст : непосредственный // Москва: Проектно-конструкторское бюро по инфраструктуре. – 2024. – 156 с.
12. Studbooks.net [электронный ресурс] – Режим доступа https://studbooks.net/2594972/tehnika/harakteristika_snegoochistiteley_ochistki_put_i_snega_peregonah_stantsiyah#188 (дата обращения 05.04.2024)
13. Studbooks.net [электронный ресурс] – Режим доступа https://studbooks.net/2594973/tehnika/harakteristika_strugov_snegoochistiteley#559 (дата обращения 05.04.2024)

УДК 625.144

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
И РЕМОНТЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
УКЛАДОЧНОГО КРАНА УК-25/25

Чалова М.Ю.,¹ Трошко И.В.¹, Красных С.Ю.¹

1. ФГАОУ ВО Российский университет транспорта (МИИТ),
г. Москва

Развитие железнодорожного транспорта требует повышения эффективности его производства и непрерывности его обновления на основе ускорения научно-технического прогресса. Увеличение мощности пути железных дорог, требует усовершенствования технологии и организации ремонтно-путевых работ. Поэтому необходимо проектировать и создавать путевые машины, модернизировать существующие, которые будут удовлетворять современным требованиям.

Ключевые слова: укладочный кран, рельсоопальная решетка, дополнительная грузовая лебедка, траверса.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY IN THE CONSTRUCTION
AND REPAIR OF RAILWAY TRACKS USING THE LAYING CRANE
UK-25/25

Chalova M.Yu.,¹ Troshko I.V.¹, Krasnykh S.Yu.¹

1. FSAOU VO Russian University of Transport (MIIT), Moscow

The development of railway transport requires an increase in the efficiency of its production and the continuity of its renewal based on the

acceleration of scientific and technological progress. Increasing the capacity of the railway track requires improvement of technology and organization of repair and track work. Therefore, it is necessary to design and create travel vehicles, upgrade existing ones that will meet modern requirements.

Keywords: laying crane, rail grating, additional cargo winch, traverse.

Развитие современной России, не может проходить без применения новых технологических решений, внедрения информационных технологий и искусственного интеллекта. Транспортное развитие, это одна из приоритетных задач, любой промышленной революции. В России огромная сеть железных дорог, и строительство новых и поддержания старых уже существующих железнодорожных путей, одна из основных задач, так как железные дороги это кровеносные сосуды нашей страны.

Стратегия научно-технологического развития холдинга "РЖД" на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга) (далее - Стратегия) разработана на основании положений Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145 [1], а также с учетом других документов стратегического планирования, определяющих развитие железнодорожного транспорта. Стратегия определяет направления научно-технологического развития холдинга "РЖД" и является основой для разработки документов стратегического планирования в области научно-технологического развития для филиалов ОАО "РЖД", их подразделений и дочерних обществ ОАО "РЖД" (далее - ДО).

Так как, железнодорожный путь, представляет собой комплекс инженерных сооружений и обустройств, образующих дорогу с направляющей рельсовой колеей для движения поездов [2], его содержание, ремонт, и прокладка новых железнодорожных путей, представляет собой сложный технологический процесс. Любой процесс при проведении работ, должен быть в первую очередь безопасным для персонала, второе технологичным в плане проведения различных операций, и что не маловажно производительным. При всей насыщенности железнодорожной, и строительно-дорожной техники, у нас еще применяется ручной труд (для вспомогательных видов работ). Минимизировать применение ручного труда путевого рабочего, это одна из основных задач.

Модернизация существующей техники, приспособлений (внесение в конструкцию оборудования частичных изменений и усовершенствований с целью приближения их технического уровня до

уровня современного технологического оборудования аналогичного назначения) поможет усовершенствовать технологический процесс, при строительстве, ремонте железнодорожных путей.

При строительстве и усиленном капитальном ремонте железных дорог, как правило, используются путеукладочные или путеразборочные поезда, в комплект которого входят укладочные краны, предназначенные для разборки и укладки рельсошпальной решетки железнодорожного пути, моторная платформа и четырехосные железнодорожные платформы с оборудованием для закрепления и передвижения по ним звеньев рельсошпальной решетки. Укладочный кран является самоходной головной машиной путеукладочных и путеразборочных поездов.

Современный укладочный кран УК-25/25 (рис. 1), выпускаемый АО «СТМ», имеет повышенную до 25 т грузоподъемность, что облегчает работу по разборке пути при необходимости поднимать звенья с железобетонными шпалами из слежавшегося и загрязненного балласта. Стрела 3 может поворачиваться в плане приводом 10 на угол 3° в любую сторону, что значительно облегчает укладку и разборку пути звеньями в кривых. Он оснащен более мощными дизель-генераторными установками, что позволяет достигать при работе большей производительности [3].

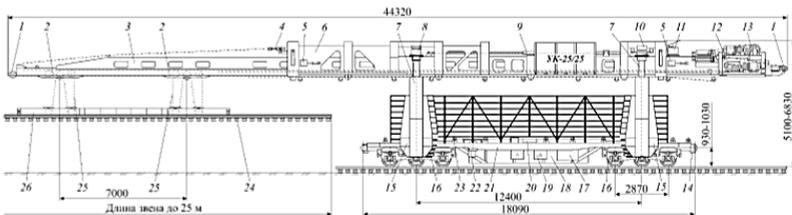


Рис. 1 Укладочный кран УК 25/25

1 – обводной блок; 2 – крановая грузовая тележка; 3 и 6 – передвижаемая и объемлющая стрелы; 4 – ограничитель грузоподъемности; 5 – фиксатор передвижаемой стрелы; 7 – выдвигаемая каретка механизма подъема стрелы; 8 и 10 – поперечные балки с шарнирными узлами кронштейнов – передняя с пятником и задняя с механизмом поворота стрелы; 9 – гидроцилиндр продольного смещения стрелы; 3, 11 и 17 – насосные станции; 12, 13 – грузовые и тяговая лебедки; 14 – автосцепка; 15 – порталная стойка механизма подъема стрелы; 16 – ходовые тележки; 18 – отсек с дизель-электрическим агрегатом; 19 – электрооборудование; 20 – пульт

управления; 21 – рама; 22 – лебедка для перетяжки пакетов звеньев; 23 – роликовый транспортер; 24 – звено; 25 – полиспасть; 26 траверса

При работе укладочного крана звено захватывается за головки специальной траверсой на высоту 0,5 м от пакета, перемещается со звеном по стреле крана и опускается на земляное полотно. При приближении звена к поверхности основной площадки монтеры пути принимают звено, стыкуют один конец его с ранее уложенным звеном и направляют укладываемое звено по оси пути, после чего оператор крана опускает звено на земляное полотно.

Траверса также выполняет функцию строповочного устройства, что усложняет процесс ориентирования и центровки. При этом конструкция такой траверсы обладает следующими недостатками: при изгибе звена ввиду жесткости крепления захватов для рельсов к раме в горизонтальной плоскости происходит проскальзывание головок рельсов звена в захватах для рельсов траверсы, что отрицательно сказывается на надежности строповки звена; при строповке звена в большинстве случаев продольная ось траверсы в плане не совпадает с продольной осью звена, что требует ручной коррекции захватов для рельсов относительно головок рельсов, и, следовательно, связано с работой обслуживающего персонала на высоте; отсутствие механизма для продольного перемещения застропованного звена относительно траверсы снижает темп укладки из-за потери времени на осуществление движения задним ходом самого путеукладчика для стыковки звена; отсутствие на траверсе механизма для достыковки второй рельсовой нити звена также снижает темп укладки [4].

Для упрощения ориентирования звена на балластной призме на концах стрелы установлены две грузовые лебедки грузоподъемностью 5 т (рис.2).

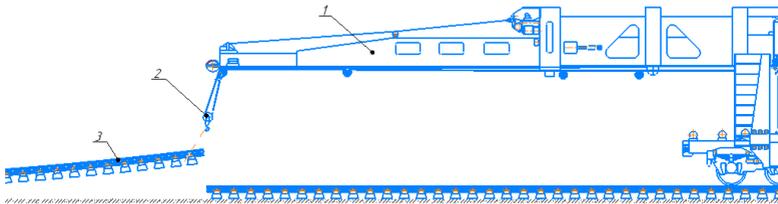


Рис.2 Укладочный кран УК 25/25 с дополнительной грузовой лебедкой:

1 – укладочный кран УК 25/25; 2 – крюковая подвеска дополнительной лебедки; 3 – рельсошпальная решетка

После укладки рельсошпальной решетки с небольшим смещением с помощью дополнительной грузовой лебедки звено приподнимается, монтер пути с применением путевого домкрата производит выправку решетки с последующим опусканием ее на балластную призму. Если необходима досыпка щебеночного балласта и выравнивание балластной призмы под рельсошпальной решеткой, то после поднятия звена с помощью бульдозера производится досыпка и выравнивание балластной призмы под рельсошпальной решеткой с последующим опусканием ее на прежний уровень.

Также дополнительные грузовые лебедки выполняют вспомогательные работы при перетяжке пакетов звеньев по вагонам унифицированного съемного оборудования (УСО). С использованием дополнительной грузовой лебедки приподнимается звено и подтягивается до роликовых транспортеров.

Таким образом, совершенствование конструкции укладочного крана УК-25/25 позволяет повысить уровень механизации при строительстве и капитальном ремонте пути.

Список литературы

1. Стратегия научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга) [электронный ресурс] – Режим доступа: [http://science.stu.ru/userfiles/files/Белая%20книга%202018\(2\).pdf](http://science.stu.ru/userfiles/files/Белая%20книга%202018(2).pdf) (Дата обращения 09.09.2024)
2. Большая российская энциклопедия. Железнодорожный путь [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://bigenc.ru/c/zheleznodorozhnyi-put-0311d3> (Дата обращения 09.09.2024)
3. Путьевые машины: учебник / под редакцией М.В. Поповича, В.М. Бугаенко. – М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2019, 960 С.
4. Пат. № 2 026 447, МПК E01B 29/02 Траверса путеукладочного крана / С.В. Коновалов. - № 5046325/11, заявл. 28.04.2022, опубл. 09.01.1995.

УДК 658.5.012.14

ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГРУНТА РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Четвериков Б.С.¹, Новоселов А.А.¹, Роговая Л.А.¹, Колесников А.А.¹

1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

В работе исследовано влияние удельной энергоемкости на процесс разрушения грунтового массива при использовании рабочего органа динамического воздействия. Также было установлено, что увеличение

скорости внедрения режущего элемента в массив позволяет уменьшить энергоемкость разделения элементов массива грунта.

Ключевые слова: траншеекопатель, динамическое воздействие, производительность, энергоемкость.

RESEARCH OF SPECIFIC ENERGY CAPACITY OF SOIL
DESTRUCTION BY DYNAMIC ORGANS

Chetverikov B.S.¹, Novoselov A.A.¹, Rogovaya L.A.¹, Kolesnikov A.A.¹

¹. *Belgorod State Technological University named after
V.G. Shukhov, Belgorod*

The work studies the influence of specific energy capacity on the process of destruction of a soil massif when using a working element of dynamic action. It was also found that an increase in the speed of penetration of the cutting element into the massif allows to reduce the energy capacity of separation of elements of the soil massif.

Keywords: trencher, dynamic impact, productivity, energy intensity.

Традиционная схема работы землеройных машин характеризуется тем, что энергия от двигателя передается на рабочий орган при помощи передаточного, напорного, ходового, тягового механизмов в различных сочетаниях. Это приводит к значительным потерям энергии в трансмиссиях этих механизмов и снижение КПД машин.

Необходимость повышения рабочих нагрузок и производительности обуславливает увеличение массы машин и мощности установленных на них двигателей, а эти показатели не могут расти бесконечно.

Ударное разрушение применяется в породах любой прочности, но более эффективное в хрупких. Благодаря практически мгновенному переходу энергии удара в породу, способ позволяет получить на режущем элементе в момент удара большие усилия ($1 \dots 4 \cdot 10^3$ кН), что трудно осуществить в статике [2, 5].

Современные ударные устройства, используемые в активных исполнительных органах машин, позволяющих обеспечить эффективное разрушение пород прочностью до 100 МПа. Применение ударного способа на более крепких породах возможно за счет увеличения удельной ударной энергии на зубе экскаватора, а также повышение его надежности и долговечности.

В исследованиях процессов резания доказано [2], что с увеличением прочности разрабатываемых грунтов возрастает дисперсия высокочастотной части спектра нагрузки, с понижением категории – дисперсия низкочастотных составляющих.

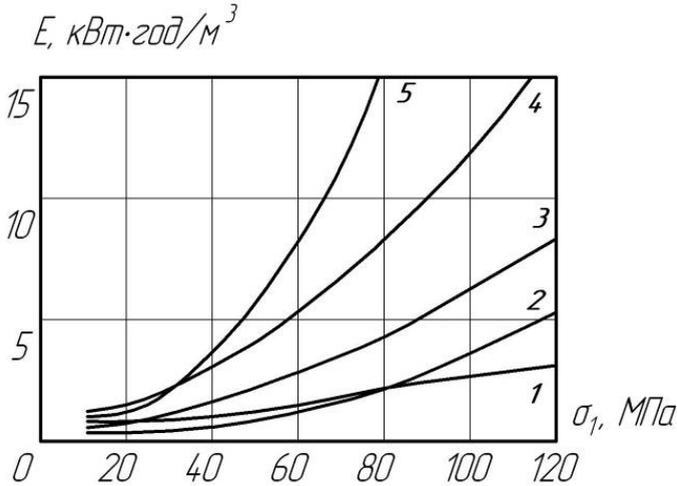


Рис. 1. Зависимость удельной энергоёмкости разрушения от прочности пород:

1 – взрывной; 2 – послыйное ударное разрушение; 3 – повторно-блокировано разрушения дисковыми шарошками; 4 – разрушение вращательными тангенциальными резцами; 5 – свободное резки шарошками

В работе [4] отмечено, что при увеличении скорости вхождения режущего элемента в массив, влияние свойств почвы на силу сопротивления его разрушению уменьшается. Такое нагружение получило название динамического. Целесообразно применять его при разрушении грунтов выше III категории.

При динамическом нагружении сила сопротивления грунта и скальных пород разрушению зависит от скорости V_0 вхождения рабочего органа в массив, предела прочности σ_d грунта на сжатие, его модуля деформации E_d (МПа), удельного веса γ_r , плотности $\rho = \gamma_r/g$, коэффициента Пуассона μ , удельного динамического сопротивления разрушению K_d , скорости прохождения волн, что определяется как [5]:

$$U = \sqrt{\frac{E_d(1-\mu)}{\rho(1-\mu-2\mu^2)}}, \quad (1)$$

и коэффициента, учитывающего угол заострения рабочего органа K_α .

Удельное сопротивление разрушению при этом находят:

$$K_d = \rho V^2_0 + \varepsilon_d \sigma_d, \quad (2)$$

где $\varepsilon_d = \sigma_d/E_d$ – относительная деформация рабочей среды.

Сила сопротивления грунта разрушению определяется по формуле:

$$P = \frac{RU_{\text{Д}}S}{2V_0K_{\alpha}} \text{ или } P = \frac{RU_{\text{Д}}mV_0}{4E_{\text{ПИТ}}K_{\alpha}}, \quad (3)$$

где S – площадь контакта рабочего органа с грунтом, м²; m – масса рабочего органа, кг; $E_{\text{ПИТ}}$ – кинетическая энергия рабочего органа, Дж.

Средний период колебаний сил резания, возникающих при разработке части массива:

$$t = \frac{\lambda}{V_0}, \text{ где } \lambda = \frac{\mu}{\gamma_{\text{об}} \cdot V_0}, \quad (4)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости; V_0 – объемная масса рабочей среды.

Процесс распространения импульса проходит постепенно, время импульса для клинообразного рабочего органа, согласно:

$$\tau = \frac{2E_{\text{ПИТ}}K_{\alpha}}{S(U-V_0)K_{\text{Д}}}. \quad (5)$$

Энергоемкость процесса за единицу времени:

$$E = \frac{K_{\text{Д}}^2 S(U\delta + V_0)}{4K_{\alpha}^2 V_0 E_{\text{ПИТ}} t_{\text{ОБ}}} \text{ или } E = \frac{K_{\text{Д}}}{K_{\alpha} t_{\text{ОБ}}} \quad (6)$$

где $t_{\text{ОБ}} = \tau n$ – длительность процесса разрушения, τ – длительность импульса, n – число импульсов, δ – величина внедрения режущего элемента в грунт; l – расстояние, на котором выполняется разрушение.

Величина внедрения режущего элемента в грунт [5]:

$$\delta = \frac{2E_{\text{ПИТ}}K_{\alpha}V_0}{SUK_{\text{Д}}}, \quad (7)$$

где S – площадь контакта режущих элементов с грунтом.

В работе [4] отмечено, что процесс разрушения почвы имеет случайный характер, а значение силы сопротивления почвы разрушению (3) характеризует ее среднее значение.

Наиболее приемлемым для воспроизведения силы резания как случайной функции является метод канонического представления силы резания почвы через ее корреляционную функцию, которая является не случайной характеристикой случайного процесса.

В общем виде сила резания простым ножом может быть представлена следующим образом:

$$P(t) = \bar{P}(t) + \sum V_v x_v(t); \quad (8)$$

где $\bar{P}(t)$ – среднее значение силы резания; V_v – некоррелируемые между собой случайные величины, математическое ожидание которых равно 0; x_v – неслучайные координатные функции.

В работе [82] исследованы корреляции сил резания грунта III категории и определено, что разброс максимумов силы резания составляет 20...50% и определяется непостоянством физико-механических свойств грунта в процессе его разрушения.

Поэтому, при такой резкой смене физико-механических свойств почвы, появляется необходимость принудительного управления силовым потоком исполнительного рабочего органа.

Для климатического пояса Черноземья РФ наиболее характерными являются грунты III-IV категорий, которые занимают около 60% всего объема разрабатываемых грунтов. По данным [6] такой грунт характеризуется следующими показателями: $\rho = 1880...2200 \text{ кг/м}^3$; влажность $W = 20...28$; фракция 10...20 мм; угол внутреннего трения $80^0...82^0$, скорость распространения волн деформаций в грунте составляет 50...100 м/с, пористость почвы 20 %, сцепление 26 кН/м².

Динамическое разрушение почвы со скоростью 15...35 м/с сопровождается частотой сколов элементов грунта III-IV категории 35...45 Гц, а разброс максимумов силы сопротивления почвы разрушению не превышает 50 % [80].

В работе [6] отмечено, что при скорости внедрения режущего элемента в массив 15...35 м/с и частоте направленных колебаний 40...50 Гц перед лобовой частью режущего элемента создается ослабленная зона на глубине 0,25...0,33 м, плотность которой грунта меняется с 2200 кг/м³ на 1800 кг/м³.

Поэтому, для снижения энергоемкости процесса разрушения грунта, рабочий орган должен сочетать основные положения работы энергосберегающей техники.

Таким образом, анализ зависимости (6) показывает, что увеличение скорости внедрения режущего элемента в массив позволяет уменьшить энергоемкость разделения элементов массива грунта. Также одновременное уменьшение продолжительности процесса разрушения почвы приводит к уменьшению энергозатрат на разрушение почвы.

Исследование выполнено в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

Список литературы

1. Рашковский В.П. Математическое моделирование импульсного гидропривода рабочих органов землеройных машин // Вестник Кременчугского политехнического университета: Научные труды КГПУ. – Кременчук: КДПУ, 2004. - С. 113-115.
2. Баладинский В.Л. Динамическое разрушение грунтов. – К.: КГУ, 1971. – 221 с.
3. Романович А.А. Исследование влияния скорости вращения валков на выходные показатели процесса измельчения и разработка рекомендаций по

повышению износостойкости их рабочих поверхностей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. - 2011. - № 4. - С. 71-73.

4. Романович А.А. Повышение долговечности рабочих органов прессвалковых измельчителей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2015. - № 4. - С. 83-87.

5. Захарчук Б.З., Шлойдо Г.А., Яркин А.А., Телушкин В.Д. Навесное тракторное оборудование для разработки высокопрочных грунтов. – М.: Машиностроение. 1979. – 189 с.

6. Власов В.В., Крупко В.А., Смирнов В.Н. Прогнозирование сил резания при разработке сложноструктурного грунтового массива // Горн., строит. и доп. машины: вып. 42. Респ. межвед. научн.-техн. сб. – К.: Техника, 1989, С. 41-45.

7. Gerasimov M.D. Comparative analysis of the parameters of generators with circular and asymmetric oscillations /Gerasimov M.D., Lubimiyi N.S., Yakovlev E.A. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945. Pp. 12003-12010. doi:10.1088/1757-899X/945/1/012003.

8. Любимый Н. С., Чепчуров М.С., Четвериков Б.С. Патент РФ № 155384. Датчик для точных измерений линейных размеров. опублик.10.10.2015, Бюл. № 28.

9. N. S. Lubimiyi, A. A. Polshin, M. D. Gerasimov [et al.] Justification of the Use of Composite Metal-Metal-Polymer Parts for Functional Structures / N. S. Lubimiyi, A. A. Polshin, M. D. Gerasimov [et al.] // Polymers. – 2022. – Vol. 14. – No 2. – DOI 10.3390/polym14020352.

УДК 658.5.012.14

АНАЛИЗ СИЛОВЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОРЦЕВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ТРАНШЕЕКОПАТЕЛЯ

Четвериков Б.С.¹, Новоселов А.А.¹, Роговая Л.А.¹, Помельников А.А.¹

¹. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород

В работе проведен анализ силовых и энергетических показателей торцевого рабочего органа траншеекопателя. Установлено, что импульсный режим движения режущих элементов торцевого рабочего органа позволяет адаптировать его под физико-механические свойства грунта и получить перед лобовой поверхностью диска ослабленные зоны.

Ключевые слова: траншеекопатель, торцевой рабочий орган, производительность, энергоемкость.

ANALYSIS OF POWER AND ENERGY INDICATORS OF THE END WORKING ELEMENT OF A TRENCH DIGGER

Chetverikov B.S.¹, Novoselov A.A.¹, Rogovaya L.A.¹, Pomelnikov A.A.¹

¹. *Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod*

The paper analyzes the power and energy indicators of the end working element of the trench digger. It was found that the pulse mode of movement of the cutting elements of the end working element allows it to be adapted to the physical and mechanical properties of the soil and to obtain weakened zones in front of the frontal surface of the disk.

Keywords: trencher, end working body, productivity, energy intensity.

Использование для возведения траншей землеройных машин непрерывного действия получает все большее распространение при подготовительных работах на строительных объектах и при прокладке коммуникационных линий. Особенно эффективно использовать траншекопатели непрерывного действия для прокладки локальных коммуникационных линий.

Траншекопатель с торцевым рабочим органом (рис. 1) представляет собой базовую машину 1, на раму которой установлено навесное оборудование 2, которое установлено торцевой рабочий орган 3, который представляет собой диск, который лобовой поверхностью сориентирован в массив. На лобовой поверхности размещены режущие и грунтовыносные элементы. По характеру рабочего процесса машины с исполнительным органом торцевого типа относятся к породоразрушающим механизмам мелкого скола.

В методике инженерного расчета торцевого рабочего органа траншекопателя [7] приведены алгоритмы определения силовых и кинематических параметров.

В работах [2, 3] отмечено, что значение силы сопротивления почвы разрушению для торцевого рабочего органа, которое определяется теорией динамического разрушения Баладинского, уменьшается при увеличении скорости внедрения режущего элемента в массив.

В работе [4] определены границы рационального увеличения этой скорости, которые для грунта IV категории достигают 35 м/с.

Для торцевого рабочего органа скорость внедрения режущего элемента в массив в основном определяется скоростью его вращения диска вокруг оси, которая в свою очередь зависит от размера диска и может корректироваться в широких пределах. Скорость внедрения режущего элемента в массив грунта III и IV категории составляет 10...30 м/с [5], причем скорость подачи определяется из условия оптимального стружкообразования.

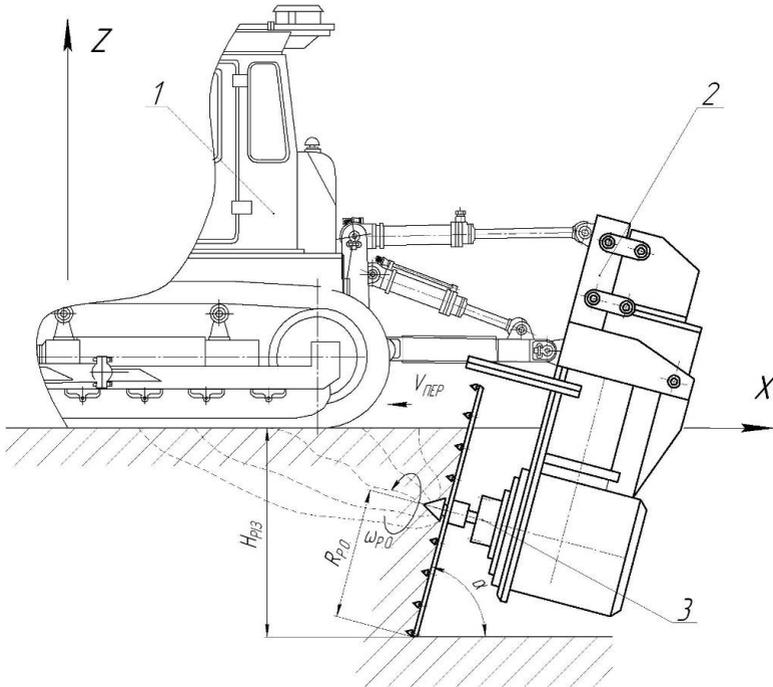


Рис. 1. Схема траншекопателя с торцевым рабочим органом

Общие затраты энергии при работе торцевого рабочего органа представляют собой сумму затрат энергии на упругую деформацию $E_{СТ}$ и затрат энергии на образование новых поверхностей разрушения E_p [6]:

$$E_{\text{ПИТ}} = E_{СТ} + E_p. \quad (1)$$

Согласно [6]:

$$E_{СТ} = \frac{SK_d}{2K_\alpha},$$

$$E_p = \frac{S\delta K_d U}{2V_0 K_\alpha},$$

$$E_{\text{ПИТ}} = \frac{SK_d}{2V_0 K_\alpha} [U\delta + IV_0], \quad (2)$$

где S – площадь контакта режущих элементов с грунтом; K_d – удельное сопротивление динамическому разрушению; V_0 – скорость внедрения режущего элемента в массив; K_α – коэффициент, учитывающий угол заострения режущего элемента; U – скорость распространения волн

деформаций в грунте; δ – величина внедрения режущего элемента в грунт; l – расстояние, на котором выполняется разрушение.

Выражение для определения удельной энергоёмкости при этом будет иметь вид [6]:

$$e = \frac{k_D^2 SV}{2k_\alpha E_{\text{ПИТ}}}. \quad (3)$$

Для сравнения статического и динамического процесса разрушения выражение (3) примет вид:

$$e = \frac{k_D^2 S}{mV k_\alpha}. \quad (4)$$

Удельный вес разрушения уменьшается с увеличением массы рабочего органа и ростом угла заострения рабочего органа.

Эффект уменьшения энергоёмкости относится к процессу на рабочем органе без учета общей энергоёмкости машины. При этом значение общей энергоёмкости существенным образом зависит от типа привода, который определяет общий КПД.

В работах [3, 5] определено, что для торцевого рабочего органа диаметр диска $D = 0,6$ м, скорость вращения $80...90 \text{ с}^{-1}$, скорость перемещения $0,1...0,12$ м/с, фракция разработанного грунта составляет $0,01...0,02$ м, энергоёмкость разрушения грунта составляет около $0,6 \text{ кВт ч/м}^3$.

Торцевой рабочий орган сочетает в себе основные положения создания энергосберегающей техники.

Режим работы торцевого рабочего органа слабо учитывает изменение физико-механических свойств почвы, что приводит к увеличению энергозатрат в процессе работы.

Импульсный режим движения режущих элементов торцевого рабочего органа позволяет адаптировать его под физико-механические свойства грунта и получить перед лобовой поверхностью диска ослабленные зоны.

Импульсный режим движения обеспечивается силовым импульсным приводом рабочего органа, конструкция которого определяет амплитуду, скорость, частоту колебаний и КПД системы.

Список литературы

1. Рашковский В.П. Математическое моделирование импульсного гидропривода рабочих органов землеройных машин // Вестник Кременчугского политехнического университета: Научные труды КГПУ. – Кременчук: КДПУ, 2004. - С. 113-115.

2. Баладинский В.Л. Динамическое разрушение грунтов. – К.: КГУ, 1971. – 221 с.
3. Романович А.А. Исследование влияния скорости вращения валков на выходные показатели процесса измельчения и разработка рекомендаций по повышению износостойкости их рабочих поверхностей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. - 2011. - № 4. - С. 71-73.
4. Романович А.А. Повышение долговечности рабочих органов прессвалковых измельчителей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2015. – № 4. – С. 83-87.
5. Захарчук Б.З., Шлойдо Г.А., Яркин А.А., Телушкин В.Д. Навесное тракторное оборудование для разработки высокопрочных грунтов. – М.: Машиностроение. 1979. – 189 с.
6. Власов В.В., Крупко В.А., Смирнов В.Н. Прогнозирование сил резания при разработке сложноструктурного грунтового массива// Горн., строит. и дор. машины: вып. 42. Респ. межвед. научн.-техн. сб. – К.: Техника, 1989, С. 41-45.
7. Gerasimov M.D. Comparative analysis of the parameters of generators with circular and asymmetric oscillations /Gerasimov M.D., Lubimyi N.S., Yakovlev E.A. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945. Pp. 12003-12010. doi:10.1088/1757-899X/945/1/012003.
8. Любимый Н. С., Чепчуrow М.С., Четвериков Б.С. Патент РФ № 155384. Датчик для точных измерений линейных размеров. опубли.10.10.2015, Бюл. № 28.
9. N. S. Lubimyi, A. A. Polshin, M. D. Gerasimov [et al.] Justification of the Use of Composite Metal-Metal-Polymer Parts for Functional Structures / N. S. Lubimyi, A. A. Polshin, M. D. Gerasimov [et al.] // Polymers. – 2022. – Vol. 14. – No 2. – DOI 10.3390/polym14020352.
10. Четвериков Б. С. Исследование параметров процесса импульсного разрушения грунта торцовым рабочим органом траншекопателя / Б. С. Четвериков, М. С. Бабкин, А. А. Шуринов // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях : Материалы международной научно-практической конференции, Белгород, 23–25 сентября 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 277-284.

УДК 621.92

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СИЛОВЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРАНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Лаптева М.А.¹, Пахомов Е.Г.¹, Барабашова К.Д.¹

*1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

В данной статье приведен анализа алгоритмов расчета силовых и конструктивно-технологических характеристик башенных кранов, направленных на повышение их эффективности в эксплуатации. Предложена методика расчета технических параметров башенного крана, позволяющая более качественно определять силовые параметры в

узлах его конструкции. В статье также представлен системный подход исследователей к выбору кранов на строительных площадках.

Ключевые слова: башенный кран, алгоритм расчета, конструктивно силовые параметры.

ALGORITHM FOR CALCULATING SYMBOLIC AND GEOMETRICAL CHARACTERISTICS OF A CRANE IN CONSTRUCTION

Lapteva M.A.¹, Pakhomov E.G.¹, Barabashova K.D.¹

1. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov, Belgorod

This article presents an analysis of algorithms for calculating the power and design-technological characteristics of tower cranes aimed at increasing their operational efficiency. A method for calculating the technical parameters of a tower crane is proposed, which allows for a better determination of the power parameters in the nodes of its structure. The article also presents a systematic approach of researchers to the selection of cranes at construction sites.

Keywords: tower crane, calculation algorithm, design-power parameters.

Все операции, которые осуществляются с кранами, что имеет существенное значение для своевременного и безопасного завершения процесса строительства. Это связано с тем, что краны задействованы в различных этапах работ, например на строительной площадке. С помощью кранов транспортируется и устанавливается большое количество строительных элементов. Так башенные краны, например, выполняют все операции в пределах заданной строительной зоны, мобильные же краны выполняют конкретные задачи по подъему, монтажу металлоконструкций, монтажа крыши и т.д. Они перемещаются по строительной площадке для выполнения этих важных задач.

Целью данного исследования является анализ вопроса поиска алгоритма расчета массовых и геометрических характеристик крана и поиска решения, что и обуславливает актуальность и интерес этой статьи. Правильно подобранная методика расчета параметров крана поспособствует повышению эффективности его эксплуатации, рациональности технического применения. Если будут произведены неверные расчеты, то могут возникнуть последствия для затрат в строительной сфере и безопасности на производстве строительных работ. Так, например, согласно анализу научной литературы

зарубежных и отечественных авторов [1-7], которые изучали методы расчета для выбора типа крана и модели крана определение их местоположения и эффективного использования на рабочем месте; (Hanna & Lotfallah, 1999; Mahalingam et al. 2000);, в то время как несколько разработанных систем используют трехмерную 3D-графику и технологии моделирования (Reddy, 2007) и др. Другие разработанные подходы были направлены на отбор мобильных кранов и определение их местоположения на рабочем месте; (Галдин, 2014; Хаметов, 2018; Романович, 2022 и др.). Проанализированные подходы к выбору методов и алгоритмов исчисления были основаны на расчетах с использованием табличных диаграмм грузоподъемности и учитывали ограничения при выборе, такие как грузоподъемность крана, высота подъема, зазор между кранами и объекты вокруг крана. Зазор между стрелой/кливером и оборудованием и давление на грунт также являются важными факторами, влияющими на безопасность подъема, эффективность работы, но они редко учитываются в существующих подходах. Кроме того, эти методы в основном ориентированы о выборе телескопической стрелы, установленной на тележке, но выбор крана с решетчатой стрелой с широким диапазоном комбинаций стрела/кливер, что приведет к сложности расчета зазора, изучался редко. Алгоритм, который будет рассмотрен в этой статье, основан на предыдущих подходах к выбору крана и учитывает все эти характеристики.

Например, рассмотрим расчет геометрических характеристик, а именно - расчет механизма подъема стрелы с исходными данными: где средняя скорость горизонтального передвижения проекции груза при изменении вылета $V=0,167\text{м/с}$; схемой расчета механизма изменения вылета (рис.1); длиной и весом стрелы $L_c = 16,3\text{ м}$ и $G = 6, 60\text{ кН}$.

Рис. 1. Схема механизма варианта вылета стрелы

На рисунке 1 при проектировании мы брали для расчета: расстояние от корня стрелы до блоков на башне $L_0 = 4,95$ м; грузоподъемность крана $Q=30$ кН; наибольший угол наклона стрелы к горизонту $\beta_{max}=70^\circ$; наибольший вылет $A_{max}=18,99$ м; расстояние от оси вращения крана до корневого шарнира стрелы $r=0,99$ м; высоту расположения блоков стрелового полиспаста относительно корневого шарнира $h=5$ м; радиус грузового блока $r=0,125$ м; среднюю скорость перемещения горизонтальной проекции груза при изменении вылета стрелы подразумевали $V = 10$ м/мин.

При расчете геометрических и силовых параметров определялась мощность электродвигателя по средней квадратичной нагрузке, проверку по максимальным усилиям в стреловом полиспасте и по продолжительности времени пуска двигателя и торможения. Среднеквадратические усилия в стреловом полиспасте:

$$S_{cp} = \sqrt{\frac{\sum (S_{ni}^2 \cdot \Delta l_i)}{\sum \Delta l_i}}, \quad (1)$$

где S_{ni} - усилия в стреловом полиспасте, определенные для положений стрелы через равные промежутки угла наклона (чем больше участков, тем точнее расчет); Δl_i - длины стрелового полиспаста на каждом промежутке. Статическое усилие в стреловом полиспасте определяется из условия равновесия моментов всех сил относительно корневого шарнира стрелы:

$$S_{ni} = \frac{Q \cdot L_c \cdot \cos \beta_i + G_c \cdot a_i \cdot \cos \beta_i - S'_{cp} \cdot c_i}{c_i}, \quad (2)$$

где β_i - угол наклона стрелы, c_i - минимальное расстояние от корневого шарнира до линии действия усилия в полиспасте для разных положений стрелы, $S'_{гр}$ - усилие в грузовом канате, приведенное к стреловому полиспасту, $S'_{гр} = S_{гр} + S'_{ni}$.

Для определения $S'_{гр}$ рассмотрим рис. 2. Усилие в стреловом полиспасте будет уменьшаться не только на величину усилия в грузовом канате, а дополнительно на его часть, обусловленную трением в блоке. От усилия в грузовом канате на оси блока возникает реакция R и момент трения:

$$M_{mp} = R \cdot f \cdot \frac{d}{2}, \quad (3)$$

где $f = 0,05$ - коэффициент трения в подшипниках блока (работа в зимних условиях при температуре до -40 °С); $d = 0,04$ м - диаметр оси блока. Максимальная реакция R будет при верхнем положении и в

пределе при вертикальном положении стрелы. $R = 2S_{гр}$. При горизонтальном положении стрелового полиспаста:

$$R = \sqrt{S_{сп}^2 + S_{сп}^2}, \quad (4)$$

Окружные усилия на блоке:

$$S' = \frac{2M_{мп}}{D_{бл}}, \quad (5)$$

Усилие на блоке вид груза:

$$S_{сп} = \frac{Q_{сп}}{i_n \cdot \eta}, \quad (6)$$

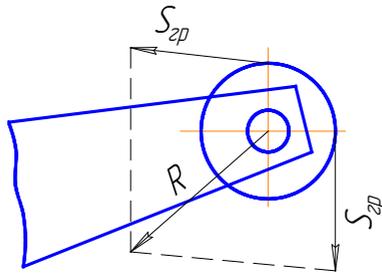


Рис. 2. Схема для определения приведенного усилия

Результаты расчетов силовых параметров с помощью MathCAD представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов силовых параметров с помощью MathCAD

Параметр	Значение для расчетных положений										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
β_i (°)	14,92	20,39	25,86	31,33	36,80	42,28	47,75	53,22	58,69	64,16	69,63
Δl_i (м)	18,14	17,72	17,28	16,82	16,36	15,59	15,41	14,94	14,47	14,02	13,57
c_i (м)	4,315	4,503	4,663	4,79	4,883	4,937	4,949	4,914	4,828	4,686	4,485
S_{ni} (кН)	103,44	94,83	86,56	78,54	70,70	62,98	55,32	47,63	39,83	31,79	23,32
$S_{сп}$ (кН)	70,061										

Для обеспечения эффективности расчетов была составлена программа в MathCAD. Все расчеты механизма производились с помощью этой программы, результаты расчетов сведены в табл.1

Используя расчетные данные табл.1, построим графическую зависимость усилия в полиспасте от угла наклона стрелы (рис.3).

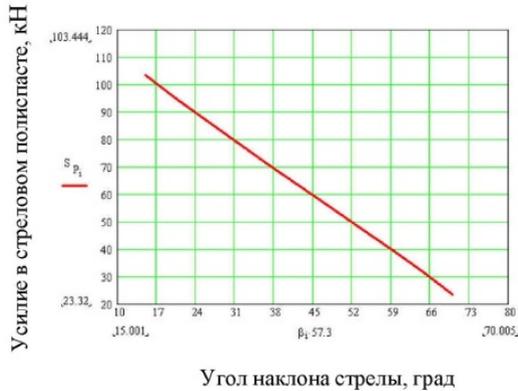


Рис. 3. Зависимость усилия в полиспасте от угла наклона стрелы

В данной статье был описан вопрос поиска алгоритма расчета массовых и геометрических характеристик крана и поиска решения, позволяющего решить установленный актуальный вопрос и увеличить производительность. Предложенное решение, а именно правильно подобранная методика расчета технических параметров крана поспособствует повышению эффективности его эксплуатации, рациональности технического применения. В статье был также представлен системный подход исследователей к выбору кранов на строительных площадках.

Список литературы

1. Hanna, A. S., and Lotfallah, W. B. (1999). "A fuzzy logic approach to the selection of cranes." *Autom. Constr.*, 8 (5), 597–608.
2. Mahalingam, A., Nair, H. S., and Varghese, K. (2000). "A computeraided heavy lift planning model." *Proc., 8th Int. Conf. on Computing in Civil and Building Engineering*, ASCE, Reston, Va.993.
3. Reddy, S. D., Varghese, K., and Srinivasan, N. (2007) "A computer-aided system for planning and 3D-visualization of multiple heavy lifts operations." *Proc., 24th Int. Symp. on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2007)*.
4. Галдин, Н. С. Алгоритм расчета массово-габаритных характеристик мостового крана / Н. С. Галдин, С. В. Еремина, О. В. Курбачкая // *Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование*, 2014. № 9(64). С. 13.
5. Клычков, А. А. Перспективы развития автомобильных кранов-манипуляторов / А. А. Клычков, М. А. Романович // *Надежность и долговечность машин и механизмов: Сборник материалов X Всероссийской*

научно-практической конференции, Иваново, 18 апреля 2019 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2019. С. 88-94.

6. Романович, А. А. Методы повышения износостойкости рабочих органов роторно-вихревой мельницы / А. А. Романович, С. А. Духанин, М. А. Романович // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, 2022. № 4. С. 116-123.

7. Хаметов, Т. И. Измерение геометрических параметров подкрановых путей мостовых кранов геодезическими методами // Региональная архитектура и строительство, 2018. № 1(36). С. 122-128.

УДК 621.92

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ХОДОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРАНА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Лаптева М.А.¹, Пахомов Е.Г.¹, Барабашова К.Д.¹

1. ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

В данной статье описан актуальный вопрос по поиску новых возможностей и решений повышения надежности ходовых элементов башенного крана. Предложен способ, позволяющий устранить недостатки механизма работы опорно-ходовой рамы и увеличить надежность работы башенного крана. Предложенное решение, связано с проектированием и установкой кранов на различных типах строительных площадок и иных поверхностях, где при увеличении площади опорного пространства уменьшается опрокидывающий момент. Это повлияет на надежность работы техники, в частности крана и способствует повышению эффективности его эксплуатации, оптимизации затрат по техническому обслуживанию и замене существующего.

Ключевые слова: башенный кран, опорно-ходовая часть, надежность конструкции.

INCREASING THE RELIABILITY OF CRANE RUNNING ELEMENTS DURING CONSTRUCTION OPERATION

Lapteva M.A.¹, Pakhomov E.G.¹, Barabashova K.D.¹

1. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov, Belgorod

This article describes a topical issue of finding new opportunities and solutions to improve the reliability of tower crane running gear. A method is proposed that allows eliminating the shortcomings of the operating mechanism of the support frame and increasing the reliability of the tower crane. The proposed solution is associated with the design and installation of cranes on various types of construction sites and other surfaces, where the overturning moment decreases with an increase in the area of the support space. This will affect the reliability of the equipment, in particular the crane, and will contribute to increasing the efficiency of its operation, optimizing the costs of maintenance and replacing the existing one.

Keywords: tower crane, support frame, reliability of the structure.

При осуществлении комплексной механизации и автоматизации, а также обновлении технологических процессов при проведении строительных работ значительно возрастает интенсивность работы кранового оборудования. При этом возникает необходимость в увеличении важных рабочих параметров, например таких как: грузоподъемность, скорость перемещений, их производительности. Важным аспектом является тот факт, что не всегда существует возможность иметь в наличии краны, соответствующие всем требованиям эксплуатации для обеспечения непрерывности технологического процесса. В этой связи возникает необходимость по их модернизации, тех, что непосредственно задействованных в процессе строительства. Согласно проведенным исследованиям существующих мнений и подходов авторов [1-4] требования, предъявляемые к показателям качества, надежности и долговечности постоянно возрастают. В этой связи существующие методы ремонта строительного оборудования и кранов, описанные в литературе, часто являются устаревшими и не актуальными.

Целью данного исследования является поиск новых путей повышение надежности ходовых элементов крана при эксплуатации в строительстве и его решения, что и обуславливает актуальность и интерес этой статьи. Правильно подобранная методика по ремонту и обслуживанию продлевающую надежность работы техники, в частности крана способствует повышению эффективности его эксплуатации, оптимизации затрат по техническому обслуживанию и замене существующего. Поскольку во всех направлениях и отраслях экономики нашей страны насчитывается несколько сотен тысяч кранов, вопрос их ремонта, обеспечения надежности и модернизации очень актуален.

Так, например, согласно анализу научной литературы зарубежных и отечественных авторов [5,7,8,9], которые изучали конструкций кранов, утверждают, что опорные части воспринимают нагрузки, действующие на кран, и передают их на земляное полотно и при неправильной эксплуатации снижается их надежность, появляются трещины, а так же возможно опрокидывание конструкции. Разрушению в основном подвергаются те элементы, которые подвергаются нагрузке за счет переменных напряжений. Алгоритм, который будет рассмотрен в этой статье, основан на предыдущих подходах к выбору крана и учитывает все эти параметрические особенности.

Для анализа принимаем за субъект исследования вариант модернизации, и принцип, предложенный изобретателем в патенте SU 770999 А1 [6]. Автор описал стандартную конструкцию рассматриваемого опорно-ходовой части башенного крана. Она состоит из: флюгера, которые опираются на ходовые тележки; вертикальные пальцы, служащие связным элементом с центральной рамой; проушины, которые соединяют рамы с башней. Цель предложенного изобретения — это изыскание способа уменьшение габаритов конструкции за счет металлоемкости опорно-ходовой части крана, что приведет к повышению надежности и безопасности крана при эксплуатации.

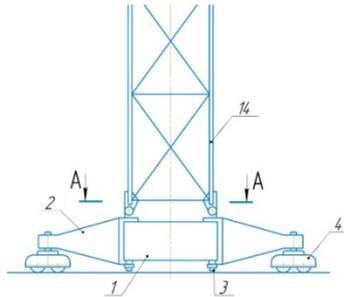


Рис. 1. Схематично представлена конструкция опорно-ходовой части башенного крана. Ее элементы: 1-центральная рама, 2-флюгер, 3-палец, 4-ходовая тележка, 14-башня

В этой связи, в предлагаемом на рассмотрение в нашем исследовании устройстве проушины выполнены в верхней части пальцев. На рисунке 1 схематично представлена опорно-ходовая часть крана, а так же ее общий вид: 2 - разрез А-А; 3 - разрез Б-Б. Исходя из предложенного варианта решения технической задачи, получим возможность повышение надежности ходовых элементов, за счет

уменьшения габаритов, а соответственно давления на все элементы и опору. Так же, при уменьшении транспортных габаритов и металлоемкости опорно-ходовой части крана, проушины для соединения рамы с башней должны быть установлены в верхней части пальцев.

Данное техническое решение, по мнению изобретателя в патенте SU 770999 A1 [6] при увеличении площади опорного пространства приведет к уменьшению опрокидывающего момента, а соответственно и к повышению надежности ходовых элементов.

Для обоснования выбранной для анализа конструкции мы имеем то, что описываемые опорные части принимают нагрузки под воздействием сил, которые действуют на кран, и затем передают их на опираемую поверхность.

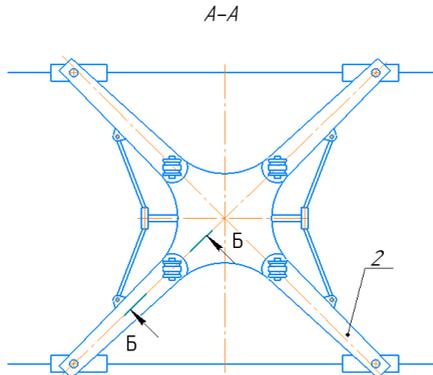


Рис. 2. Схематично представлен разрез по типу А-А (Вид сверху) опорно-ходовой части башенного крана: 2-фрюгер

Для обоснования выбранной для анализа конструкции мы имеем то, что описываемые опорные части принимают нагрузки под воздействием сил, которые действуют на кран, и затем передают их на опираемую поверхность. Конструкция и механизм работы опорно-ходовой рамы зависит напрямую от типа крана, может быть поворотная или неповоротная башня. Она определяется типом установленного ходового оборудования: гусеничный, рельсовый и т.д. Наиболее распространенный тип опорно-ходовой части кранов это с неповоротной башней, которая чаще встречается в исполнении на рельсовом ходовом устройстве. Для данного типа кранов рамы изготавливаются в виде портала, а продольные балки привариваются для повышения жесткости к стойкам конструкции.

В ходе проведенного полевого эксперимента с целью поиска новых путей по повышению надежности ходовых элементов крана, при эксплуатации в строительстве и в промышленности мы установили закономерность. А именно, нами было установлено, что на устойчивость крана и опорной части неповоротного крана, в частности на рельсовом ходовом оборудовании большое влияние тип опоры, а в данном случае это рельсы. Он находится в прямой зависимости от нагрузки, передаваемой на него ходовым колесом. Так, например, при нагрузке в 20-22т рекомендуют применять рельсы типа Р-43; 20-25т рельсы типа Р-50; 25-28т рельсы типа Р-65. Для расчетов протяженность пути может приниматься в расчете условий обслуживания краном всей рабочей зоны при проведении строительно-монтажных работ. Опорные элементы должны быть использованы при нагрузке колеса на рельс объемом до 250 кН включительно, например, на полшпалы или железобетонные плиты. При нагрузке колеса на рельс свыше объемом до 250 кН применяют железобетонные балки. Применение данных мероприятий и внедрение этих сведений с целью модернизации существующего оборудования, а именно кранов позволит продлить надежность работы техники, в частности крана. Это способствует повышению эффективности его эксплуатации, оптимизации затрат по техническому обслуживанию и замене существующего.

В данной статье был описан актуальный вопрос по поиску новых возможностей и решений повышения надежности ходовых элементов крана. Был предложен способ, позволяющий решить установленный затронутый в исследовании вопрос и увеличить надежность работы крана. Предложенное решение, связано с проектированием и установкой кранов на различных типах строительных площадок и иных поверхностях, где при увеличении площади опорного пространства уменьшается опрокидывающий момент. Это повлияет на надежность работы техники, в частности крана и способствует повышению эффективности его эксплуатации, оптимизации затрат по техническому обслуживанию и замене существующего.

Список литературы

1. Lovgren. Rolf. Radical Improvements in Crane Safety, 21-23, 2004.
2. Roosters Z., Bogoyavlensky V., Ducie V. Fatigue failure of metal structures of bridge cranes. Occupational safety in industry Moscow, 1995 (7). 39-40.
3. Бурлаков, С. М. Повышение надежности опорных элементов бойных кранов / С. М. Бурлаков, Н. Н. Огарков // Процессы и оборудование металлургического производства. Том Выпуск 6. – Магнитогорск:

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2004. – С. 75-77.

4. Клычков, А. А., Романович М. А. Перспективы развития автомобильных кранов-манипуляторов // Надежность и долговечность машин и механизмов: Сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 18 апреля 2019 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2019. С. 88-94.

5. Пат. SU 770999 A1 РФ. Опорно-ходовая часть башенного крана/ Ганин Р. В., Иванова Г. П., Смородинский И. М., Цинман А. А.; заявл. 1978.12.11; опубл. 1980.10.15, Бюл. № 38.

6. Романович, А. А. Методы повышения износостойкости рабочих органов роторно-вихревой мельницы / А. А. Романович, С. А. Духанин, М. А. Романович // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, 2022. № 4. С. 116-123.

7. Хаметов, Т. И. Измерение геометрических параметров подкрановых путей мостовых кранов геодезическими методами // Региональная архитектура и строительство, 2018. № 1(36). С. 122-128.

8. Хамоев, А. Д. Модернизация железнодорожного крана Сокол 60/ А. Д. Хамоев, Е. Н. Пирогов, М. В. Козлова // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство, 2015. Т. 8, № 8(8). С. 107-113.

Научное издание

**ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И
ОБОРУДОВАНИЕ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ,
ДОРОЖНОЙ И СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛЯХ - 2024**

Материалы Международной научно-практической
конференции

Ответственный за выпуск: Романович А.А.
Компьютерная верстка: Пахомов Е.Г.

Подписано в печать: 11.11.24 Формат: 60x84/16. Усл.печ.л. 14,5. Уч.изд.л. 15,5.

Тираж 25 экз

Заказ №

Цена Договорная

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете
им В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46