

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»**

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ:  
ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**ВЫПУСК 26**

*Труды Всероссийской научной конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
17 – 18 мая 2022 г.*

**ЧАСТЬ II**

Под общей редакцией профессора С.В. Коновалова

**Новокузнецк  
2022**

ББК 74.48.288  
Н 340

Редакционная коллегия:

канд. техн. наук, доцент Баклушина И.В.,  
канд техн. наук, доцент Темлянцева Е.Н.

Н 340

Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 17–18 мая 2022 г. Выпуск 26. Часть II. Технические науки / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. С.В. Коновалова – Новокузнецк; Издательский центр СибГИУ, 2022. – 317 с. : ил.

ISSN 2500-3364

Представлены труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ. Вторая часть сборника посвящена актуальным вопросам в области теории механизмов, машиностроения, транспорта, экологии, безопасности, рационального использования природных ресурсов.

Материалы сборника представляют интерес для научных и научно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

ISSN 2500-3364

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2022

# I ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

УДК 656

## ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ

**Новиков Р.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Дружинина М.Г.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: sstll@yandex.ru*

В статье выполнен анализ методов управления на промышленном железнодорожном транспорте, который является неотъемлемой частью транспортной системы России.

Ключевые слова: российские железные дороги, методы управления на железнодорожном транспорте, система товарных перевозок.

В современных условиях рыночной экономики промышленный железнодорожный транспорт является неотъемлемой частью транспортной системы России, полноправным участником перевозочного процесса и взаимодействует с железнодорожным транспортом общего пользования на начально-конечных операциях перевозки грузов, обеспечивая транспортное обслуживание организаций и предприятий всех отраслей экономики: металлургической, угольной, машиностроительной, лесной, стройиндустрии и других.

Участники процесса перевозок выполняют функции в зависимости от вида железнодорожных перевозок и своей роли, согласно утверждённых регламентов.

Компании, принимающие участие в организации железнодорожных перевозок, различаются по форме и видам выполняемых функций.

1. ОАО «Российские железные дороги» (РЖД) – главный оператор железнодорожного сообщения в РФ. Именно РЖД формирует политику в области перевозок и является основным владельцем дорожной инфраструктуры и средств доставки. РЖД выполняет функции управления, диспетчеризации и развития сети железных дорог.

2. Региональные управления железной дороги, например «Восточно-Сибирская железная дорога», «Забайкальская железная дорога», «Приволжская железная дорога» - участвуют, как отдельные субъекты железнодорожных перевозок.

3. Владельцы подвижного состава – вагонов, цистерн, платформ – как частные, так и государственные компании.

4. Владельцы локальной дорожной инфраструктуры – подъездных путей и железнодорожных станциям, железнодорожных тупиков на предприятиях и складских комплексах.

5. Логистические компании – занимающиеся комплексной организацией железнодорожных перевозок – подготовкой документов, коммуникацией с владельцами подвижного состава, ж/д станциями и локальными операми пути.

Законодателем и регулятором отношений между участниками организации железнодорожных перевозок является ОАО «РЖД».

Существует два вида железнодорожных перевозок: регулярные – движение груза организовано по установленным, маршруту и расписанию; периодические – перевозка организована на основании сформированных заявок.

Регулярное движение осуществляется на основании договора с участниками перевозки, договор может быть многосторонним – подписанным двумя и более, заинтересованными лицами. Периодические перевозки осуществляются на основании договоров и заявок, поданных в региональное управление железной дороги. Грузоотправитель обязан подать заявку на перевозку не позднее 10 дней при внутренней перевозке и 15 дней при экспортной. Подавая заявку необходимо понимать, что выделение подвижного состава, подача под загрузку, а затем на ж/д станцию заявкой не предусматривается. Традиционно, компании нуждающиеся в грузовых перевозках по железной дороге, формируют план отправления грузов заранее, на определенный период. Собранные заявки региональные отделения, передают в центральный офис РЖД, для планирования графика движения грузовых и пассажирских поездов.

Экономические отношения могут успешно развиваться, а товарооборот может расти только при условии, если система товарных перевозок будет четко отлажена. В настоящее время есть множество различных методов перевозки грузов. Железнодорожный транспорт отличается не только своей надежностью, но и своей дешевизной и быстротой. Поэтому для развития железнодорожных перевозок совершенствуются системы управления движением поездов. Контролировать передвижение железнодорожного транспорта необходимо с использованием инновационных технических средств, информационных технологий.

Все это, в первую очередь, включает в себя спутниковые технологии, базой которых являются современные цифровые сети связей. Развитие современных систем управления стало возможным благодаря переходу стандартных схем повышения грузопотока к динамическим. Благодаря данным динамическим схемам направление и пропускную способность грузопотока можно изменять в абсолютно любой момент. Процедура железнодорожной транспортировки включает три этапа: Планирование транспортировки грузопотока. Прием железной дорогой грузопотока к перевозке. Выдача грузопотока потребителю. Вместе с управленческими центрами организуются ситуационные центры. Наряду с этим информационные системы переходят к управляющим. Для осуществления поставленных задач увеличивается объем информации в геометрической прогрессии, а также разрабатываются новейшие идентификационные системы подвижного состава. Транспортировка

грузопотоков осуществляется парком грузовых вагонов и контейнеров, который является общим для всех железнодорожных путей.

Функции и принципы управления железнодорожными перевозками. Управление железнодорожными перевозками включает в себя следующие главные функции:

- предприятие должно обеспечиваться подвижным составом, чтобы организовывать транспортировки грузов;

- железнодорожные пути и сооружения, подвижной состав и другие основные фонды должны содержаться, эксплуатироваться и ремонтироваться;

- обеспечение координации транспортно-экспедиционной деятельности организации касательно внутрипроизводственной и внешней транспортной железнодорожной транспортировки;

- создание договоров и контрактов, касающихся транспортировки грузов, транспортно-экспедиционного обслуживания, ремонта подвижного состава, подачи и уборки вагонов, аренды вагонов. Дороги и дорожные отделения, которые и есть органы управления, являются одновременно и организаторами, и производителями продукции транспорта.

Основные принципы управления железнодорожным транспортом:

- Системность. Данный принцип включает единство государственного и хозяйственного руководства, а также сочетание отраслевого управления с территориальным. Общественные интересы имеют единство с коллективными и личными.

- Иерархичность и многомерность. Управленческие функции распределяются по горизонтали и вертикали, при этом соблюдаются требования централизма. – Целенаправленность. Составляется план управления, который будет действовать на всех участках работы. Это главные принципы. Централизованное управление железнодорожными перевозками.

В условиях дефицита парка грузовых вагонов и контейнеров наиболее действенным и эффективным способом управления является централизованное регулирование, а также распределение по регионам. Это позволяет эффективно применять все имеющиеся технические средства и подвижной состав. Данный способ управления подразумевает, что все звенья этого вида транспорта могут взаимодействовать в совместной технологии. Данная технология, в свою очередь, предоставляет непрерывное централизованное руководство эксплуатационной работы в границах всей сети железных дорог в соответствии с повышенными требованиями, связанными с обеспечением безопасности движения подвижного состава, а также координацией работы множества участников транспортировочного процесса. Благодаря такому способу управления можно оперативно выполнять задачи первостепенного вывоза важных грузов в соответствии с имеющимися потребностями. Такое управление может осуществляться также в условиях аварий или стихийных бедствий. Также для того, чтобы обеспечивать устойчивую работу поездов, вагонов (подвижной состав) и постоянных устройств на данном виде транспорте существует мощная промышленная и научная база. Также функциони-

рует собственный комплекс, предназначенный для ремонтно-строительной деятельности. Основанием централизованного управления железнодорожным транспортом являются хозрасчетные взаимоотношения внутри производственных систем и между ними. Несмотря на это перевозка в законченном виде образуется на уровне отрасли.

Таким образом, на железнодорожном транспорте используются различные методы управления железнодорожными перевозками. Они применяются и на других видах транспорта. В условиях рыночной экономики совокупность всех этих приемов и методов и правильная организация для решения управленческих задач являются наиболее необходимыми.

#### Библиографический список

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Дата официальной публикации: 30.03.2011 г. Ссылка на ресурс: <http://doc.rzd.ru>;

2. Козырев, В. А «Управление персоналом на железнодорожном транспорте»/ Козырев В. А. – Москва, 2007. – 304 с.

УДК 624.072.327.2

### **К ВОПРОСУ О НАХОЖДЕНИИ МНОГООБРАЗИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ СТРОИТЕЛЬНЫХ АРОК**

**Устименко А.Е.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Баклушина И.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: baklushina-is@mail.ru*

В статье решается вопрос нахождения многообразия конструктивных схем двухопорных арок с использованием многозвенных групп Ассура. Представлены возможные варианты организации дугообразных стержней арки из звеньев группы нулевой подвижности, выведена зависимость для подсчета вариантов схем и организованы все конфигурации четырехстержневых строительных арочных конструкций.

Ключевые слова: структурный синтез, кинематические цепи нулевой подвижности, замкнутый изменяемый контур, универсальная структурная система, стержневая конструкция, строительная арка.

Вопрос нахождения многообразия структур вызывает интерес как у исследователей, занимающихся общей теории механических систем, так и весьма актуален для инженеров – строителей, решающих частные задачи проектирования стержневых конструкций.

Опыт синтеза конструктивных схем строительных арок при научной школе профессора Дворникова Л.Т. показал получение реальных стержне-

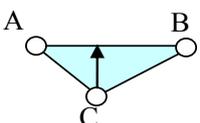
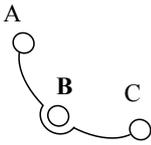
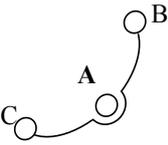
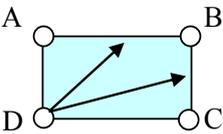
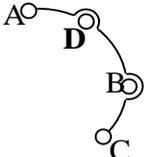
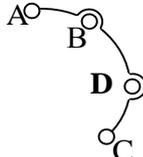
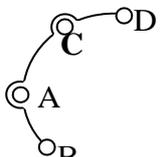
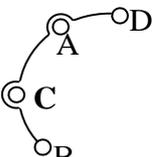
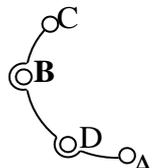
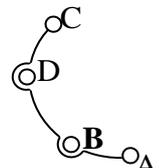
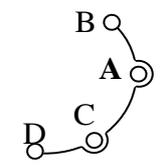
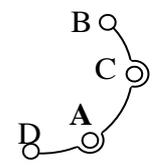
вых систем, подтвержденных патентами РФ [1, 2, 3]. В работе автора настоящей статьи [4] подробно показаны этапы построения стержневой конструкции с преобразованием зависимостей, определяющих возможные значения основных параметров на примере десятистержневой двухопорной арки.

Становится очевидным, что задача синтеза сегодня вполне теоретически разрешаема, т. к. практические результаты подтверждены охранными документами

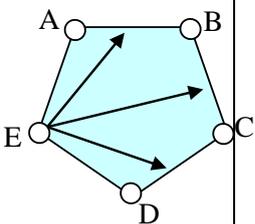
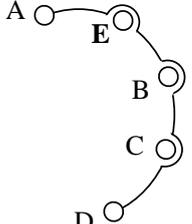
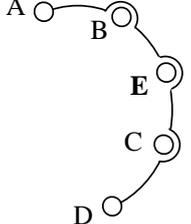
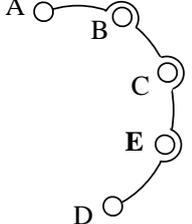
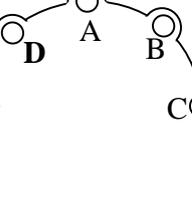
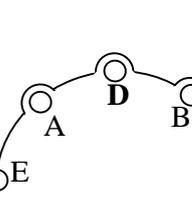
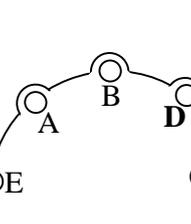
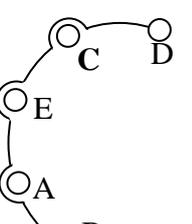
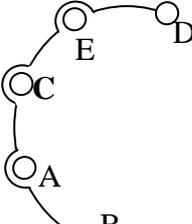
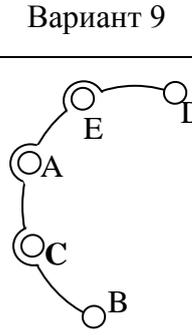
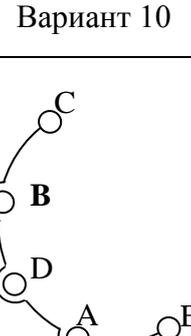
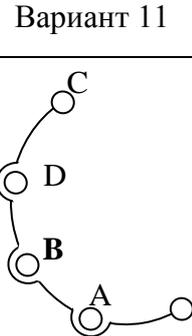
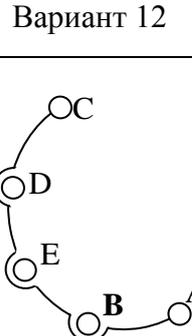
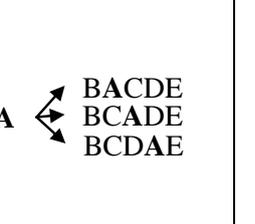
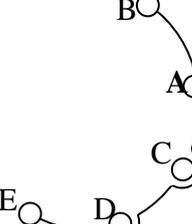
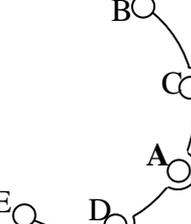
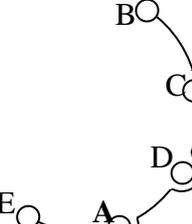
Зная, процедуру организации строительных арок из группы нулевой подвижности возникает вопрос о нахождении всего многообразия их структур.

Проведём исследование по установлению возможных комбинаторик конструктивных схем. Не вызывает сомнений, что линейное звено группы при переходе в двухопорный стержень арки имеет только один вариант. Треугольная сложность звена выявляет три различных варианта (таблица 1, а), а именно АСВ, ВАС, АВС. Четырёхугольное звено даёт уже восемь вариаций (таблица 1, б), т.е. каждый шарнир может переместиться на две стороны, не имеющие с ним связь. Пятиугольник имеет пятнадцать возможных вариантов организации дугообразных стержней (таблица 1, в), шестиугольник – двадцать четыре (таблица 1, г) и т. д. Далее усложнять звено не будем, т. к. мног шарнирные стержни вряд ли найдут применение в реальных строительных конструкциях, хотя количество комбинаций положений узлов легко вычислить у звеньев любой сложности.

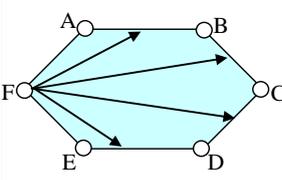
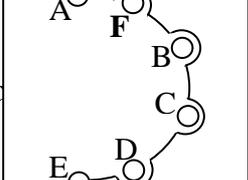
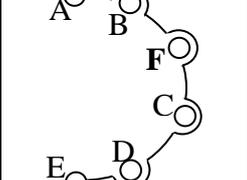
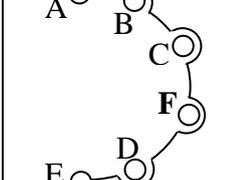
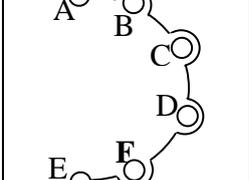
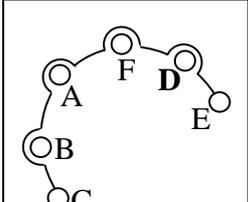
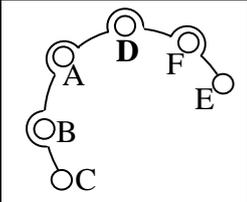
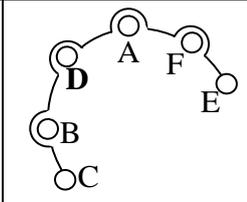
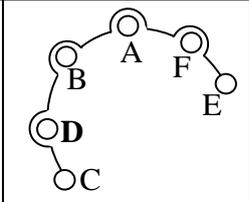
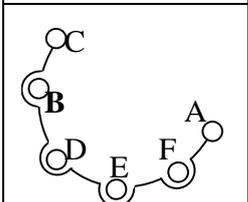
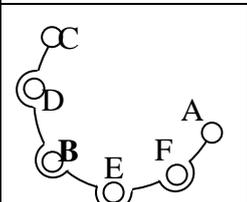
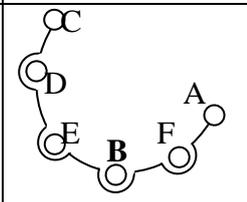
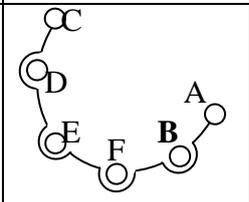
Рисунок 1 – Возможные варианты организации стержней арки из звеньев группы нулевой подвижности

а)	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	
 <p> <b>C</b> → АСВ  <b>B</b> → АВС  <b>A</b> → САВ         </p>				
б)	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
 <p> <b>D</b> ↗ АDBC                  ↘ ABDC  <b>C</b> ↗ DCAB                  ↘ DACB  <b>B</b> ↗ CBDA                  ↘ CDBA  <b>A</b> ↗ BACD                  ↘ BCAD         </p>				
	Вариант 5	Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8
				

Продолжение таблицы 1

в)	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
				
<b>E</b>	Вариант 5	Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8
<b>D</b>				
<b>C</b>	Вариант 9	Вариант 10	Вариант 11	Вариант 12
<b>B</b>				
<b>A</b>	Вариант 13	Вариант 14	Вариант 15	
				

Окончание таблицы 1

Г)	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
				
<p>F → AFBCDE          F → ABFCDE          F → ABCFDE          F → ABCDFE</p> <p>E → FEABCD          E → FAEBCD          E → FABECD          E → FABCED</p>	Вариант 5	Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8
<p>D → EDFABC          D → EFDABC          D → EFADBC          D → EFABDC</p>				
<p>C → DCEFAB          C → DECFA B          C → DEFCA B          C → DEFACB</p>	Вариант 9	Вариант 10	Вариант 11	Вариант 12
<p>B → CBDEFA          B → CDBEFA          B → CDEBFA          B → CDEFBA</p>				
<p>A → BACDEF          A → BCADEF          A → BCDAEF          A → BCDEAF</p>	Вариант 13	Вариант 14	Вариант 15	Вариант 16
<p>Вариант 17</p>				
	Вариант 21	Вариант 22	Вариант 23	Вариант 24

Известно [5], что сложность звена определяется количеством сторон или числом кинематических пар. Обозначим через  $N$  число сторон звена, тогда каждый шарнир  $p$  этого звена может быть перемещен на  $(N - 2)$  сторон, т.е. свободных, не имеющих с ним кинематическую связь. Тогда, чтобы сосчитать комбинации  $(S_p)$  звена достаточно найти произведение количества пар, определяющих его сложность, и числа свободных сторон звена. В таблицу 2 сведены результаты вычислений.

Таблица 2 – Результаты вычислений вариантов схем звеньев различной сложности

Сложность звена	Число сторон или число пар, ( $N$ или $p$ )	Количество свободных сторон звена, ( $N - 2$ )	Количество вариантов схем звена, ( $S_p = p \cdot (N - 2)$ )
Треугольник	3	1	3
Четырехугольник	4	2	8
Пятиугольник	5	3	15
Шестиугольник	6	4	24
...	...	...	...

Тогда общее количество вариаций конструкций арок может быть определено, перемножением всех вариантов схем звеньев, составляющих группу.

$$S_{общ} = S_3 \cdot S_4 \cdot S_5 \cdot S_6 \cdot \dots \cdot S_i, \quad (1)$$

учитывая, что  $S_p = [p \cdot (N - 2)]^k$ , где  $k$  – количество звеньев соответствующей сложности  $p$  или  $N$ .

Найдем все многообразие четырехстержневых двухопорных балок. Их организацию будем проводить из четырехзвенной группы нулевой подвижности с замкнутым изменяемым контуром (таблица 2, а). Группа Ассура имеет два линейных звена 2, 3 и два трехпарных (по  $p = 3$ ) звеньев 1 и 4. Подставим в формулу (1) значения и получим девять возможных вариаций  $S_{общ} = S_3 = [3 \cdot (3 - 2)]^2 = 9$ .

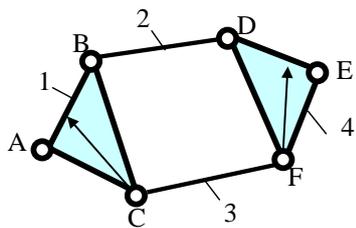
Построим все варианты схем арочных систем.

Построение ведется путем организации каждого звена группы в дугообразный стержень арки. Для реализации первого варианта схемы переместим шарнир С на ось стержня 1 и шарнир F на ось стержня 4 и получим четырехстержневую арку, показанную на рисунке 2,б на которую есть патент РФ [1], как на полезную модель.

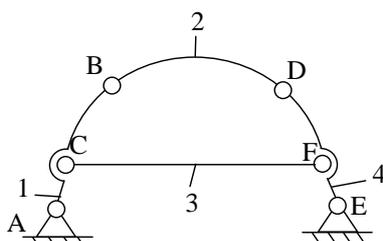
Применяя различные варианты возможных перемещений шарниров, найдены все конфигурации конструкций арок. Следует обратить внимание на аналогичность схем вариантов 1 – 4, 2 – 5 и зеркальность несимметричного исполнения 6 – 9, 7 - 8. Следовательно, четырехстержневых конструктивных схем арочных систем, отличающихся друг от друга, существует пять.

Таблица 2 – Многообразие схем четырехстержневых арок

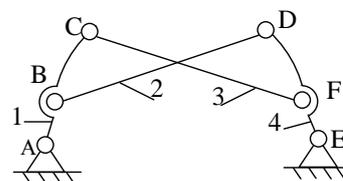
а)



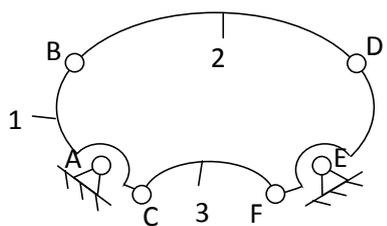
б) Вариант 1



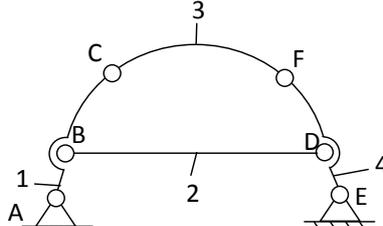
Вариант 2



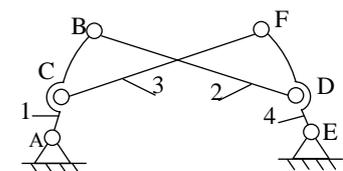
Вариант 3



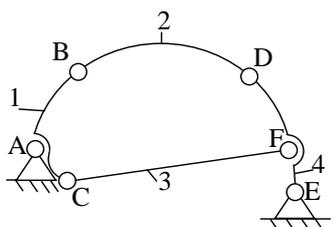
Вариант 4



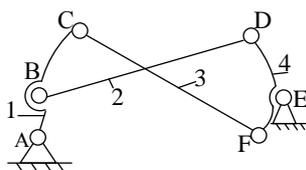
Вариант 5



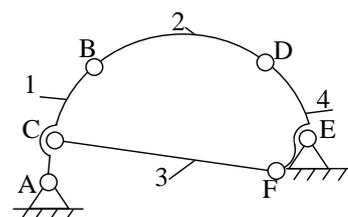
Вариант 6



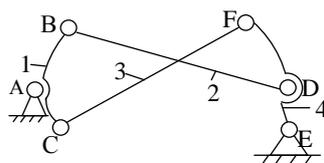
Вариант 7



Вариант 8



Вариант 9



Таким образом, можно осуществлять построение всего многообразия структур любых многостержневых арок, а разработка компьютерной программы ускорит этот процесс, проводя переборку вариантов и отбраковку идентичных схем.

### Библиографический список

1. Патент на полезную модель №185541. Четырехстержневая строительная арка. / Л.Т. Дворников, И.С. Баклушина, М.Х. Зокиров. – Новокузнецк, 2018г.
2. Патент на изобретение №2682290. Шестистержневая арка. / Л.Т. Дворников, И.С. Баклушина. – Новокузнецк, 2019г.
3. Патент на изобретение №197270. Восьмистержневая трехярусная арка.

/ Л.Т. Дворников, И.С. Баклушина, М.Х. Зокиров. – Новокузнецк, 2020 г.

4. Устименко А.Е. Структурный синтез десятистержневой строительной арки. / А.Е. Устименко, М.Х. Зокиров. – Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения труда Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 12 – 14 мая 2021 г. – Новокузнецк : СибГИУ, 2021. – Вып. 25. – Ч. 1 : Естественные и технические науки. – С. 129-133.

5. Дворников Л.Т. Начало теории структуры механизмов: учеб. пособие/Л.Т. Дворников. СибГГМА. – Новокузнецк, 1994. -102 с.

УДК 621.01

## **К ВОПРОСУ СИНТЕЗА РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ ПЛОСКИХ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Худаев К.А., Соколов А.А., Катан В.И.**

**Научные руководители: канд. тех. наук, доцент Баклушина И.С.,  
канд. тех. наук, доцент Гудимова Л.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: xudaev99@bk.ru*

В работе изложена актуальная проблема синтеза рациональной конструкции схемы безизбыточного механизма, создание которой позволяет исключить в приводе рычажного механизма ножниц вредных сил сопротивлений, т.е. существенно уменьшить энергетические расходы технологического цикла.

Ключевые слова: степень подвижности, плоский рычажный механизм, кинематические цепи, избыточные связи, структурная формула, замкнутые изменяемые контуры, класс кинематической пары, число независимых движений.

К созданию механизмов и машин на современном этапе развития промышленности предъявляют ряд требований, касающихся главным образом повышения коэффициента полезного действия, расширения функциональных возможностей механических систем и снижение энергетических затрат технологического цикла.

В настоящее время практически во всех отраслях промышленности нашли применение плоские рычажные механизмы. Такие механизмы имеют в своём составе двух- и одноподвижные кинематические пары, т.е. четвертого и пятого классов. Проектирование таких механизмов основано на кинематических и силовых исследованиях, подробно рассмотренных в теории механизмов и машин. Отметим, что при определении реакций в опорах, до настоящего времени, применяется принцип Даламбера, в котором при силовом анализе принято считать известными точки приложения реакций опор, находящиеся в центре шарнира, что дает возможность, используя условия равновесия, находить их направление и величину.

Однако, невозможно изготовить деталь, размеры которой соответ-

ствуют номинальным. Для осуществления сборочно-монтажных операций любого механизма на каждую деталь при изготовлении устанавливаются нормы точности. Учитывая, что шарниры обеспечивают только одно движение, то при сборке рычажной конструкции с числом звеньев более трех, приходится применять усилие для их соединения. В этом случае звенья нагружаются дополнительными изгибающими моментами и гарантировать, что они будут двигаться в параллельных плоскостях нельзя, следовательно, механизм считать плоским можно только условно. Становится очевидным, что точки приложения реакций опор располагаются не в центре шарнира. Устранить дефект подвижности при сборке и монтаже механической системы можно только введением в структуру кинематических пар с большей подвижностью. Механизмы, в структуре которых число звеньев, число и классы кинематических пар соответствует формуле Малышева А.П., собираются без принуждения и относятся к механизмам без избыточных связей.

Осознание того, что все механизмы, кроме нулевого семейства, собираются с принуждением, т.е. неизбежно появление “пассивных” связей, в теории машин пришло благодаря Добровольскому В.В. [1], который ввёл понятие числа общих связей, накладываемых на механизм.

Проблема исключения избыточных связей решалась с середины XX века, как важнейшая проблема синтеза самоустанавливающихся механизмов. В исследованиях Колчина Н.И. [2] даётся само понятие “избыточности”, приводится структурная классификация механизмов по числу избыточных связей. Профессором Решетовым Л.Н. введено понятие рациональных механизмов, созданы структурные схемы ряда безизбыточных механизмов, предложен “метод контуров” [3, 4]. Изучение проблемы избыточности связей в механизмах показало, что до 2018 года единого подхода к созданию самоустанавливающихся структур механизмов не существовало.

Метод, обоснованный в [5], основан на том, что установлению в структуре механизма число и класс кинематических пар, при которых механизм в целом освобождается от избыточных связей и становится самоустанавливающимся, адаптивным устройством, должны соответствовать такому числу звеньев, при которых передаваться через его звенья будут лишь те нагрузки, для которых он создаётся.

Разработанный алгоритм адресной замены кинематических пар позволяет сегодня частично или полностью (в механизмах третьего семейства) исключить избыточные связи.

Рассмотрим кинематическую схему привода плоского рычажного механизма ножниц ( $m = 3$ ), приведённого на рисунке 1. Соединение звеньев реализуется посредством одноподвижных кинематических пар, из которых девять совершают вращательное движение и одна – поступательное. Обозначим подвижные звенья арабскими цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и стойку 0. Согласно структурному анализу по Ассуру, механизм организуется путем наложения на ведущее звено – кривошип (1) трех групп нулевой подвижности и относится к рычажным механизмам II класса. Диада 2–3, присоединя-

ясь, шарнир В, создает классический кривошипно-ползунный механизм, к которому добавляются две диады Сильвестра 4-5 и 6-7, реализуя связи с ползуном в D и со стойкой в F.

По формуле Чебышева П.Л. определим подвижность для механизмов четвертого семейства:

$$W = 3n - 2p_5, \quad (1)$$

где  $n$  – количество подвижных звеньев;

$p_5$  – число кинематических пар пятого класса.

В рассматриваемой схеме присутствуют десять одноподвижных пар ( $p_5 = 10$ ) и семь подвижных звеньев ( $n = 7$ ). Подставив значения в формулу (1), получим, что  $W = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 = 1$ .

Двухзвенная группа нулевой подвижности 6-7 зеркально отображает диаду 4-5, что обеспечивает в процессе рабочего хода ножей непосредственный рез заготовки. Рассмотрим структуру привода нижнего ножа, как более нагруженную часть механизма, а именно кинематическую схему конструкции, состоящую из звеньев 1, 2, 3, 4 и 5.

Единичная подвижность по (1) сохраняется, т.е.  $W = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1$ , что доказывает работоспособность механизма.

Основываясь на исследованиях, рассмотренных в [5], определим число избыточных связей в пятизвенной механической системе рычажных ножниц:

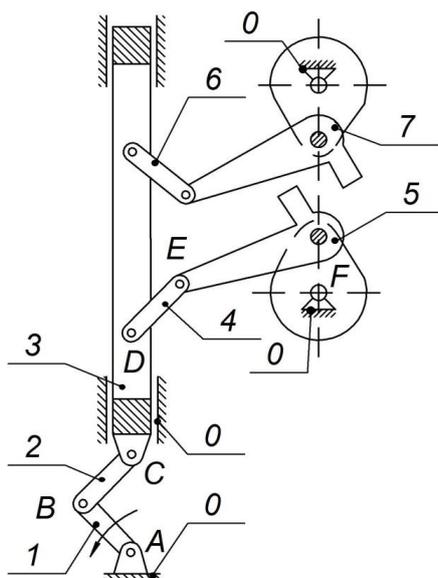
$$q = m \cdot (p - n), \quad (2)$$

где  $m$  – общее число связей, накладываемых на механизм в целом;

$p$  – общее количество кинематических пар;

$n$  – число подвижных звеньев.

$$q = 3 \cdot (7 - 5) = 6.$$



0 – стойка, 1 – кривошип, 2 – шатун, 3 – ползун,  
4 (6) – промежуточные шатуны, 5 (7) – ножи

Рисунок 1 – Кинематическая схема рычажных ножниц

Полученное значение убедительно доказывает наличие избыточных связей в структуре механизма ножниц и ставит перед авторами задачу полного или частичного их исключения. Созданная самоустанавливающаяся конструкция механизма рычажных ножниц позволит сократить энергетические затраты, уменьшить износ соприкасающихся деталей, и как следствие, увеличить коэффициент полезного действия.

#### Библиографический список

1. Добровольский В.В. Основные принципы рациональной классификации механизмов. // В кн. Добровольский В.В., Артоболевский И.И. Структура и классификация механизмов. М. – Л. Издательство АН СССР, 1939. – с. 49-66.
2. Колчин Н.И. Опыт построения расширенной структурной классификации механизмов и основанной на ней структурной таблицы механизмов. Анализ и синтез механизмов. // В кн.: Труды второго всесоюзного совещания по основным проблемам теории машин и механизмов – М. Машгиз, 1960. – с.85-97.
3. Решетов Л.Н. Самоустанавливающиеся механизмы: Справочник, – М.: Машиностроение, 1979. – 334с.
4. Решетов Л.Н. Самоустанавливающиеся механизмы. // Справочник, 2-е издание переработано и дополнено, – М.: Машиностроение, 1985. – 272с.
5. Гудимова Л.Н, Основы теории избыточности связей в механизмах. Л.Н. Гудимова Л.Н. Дворников Л.Г. – г. Новокузнецк: ООО Полиграфист 2018. – 174с.

УДК 622.6

### **К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕНИИ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВОГО ПРОФИЛЯ**

**Санжаровский А.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Гудимова Л.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: 7sanchop7@gmail.com*

Анализ напряженно-деформированного состояния рельсового профиля при копровых испытаниях является важным в производстве рельсов. В данной статье рассматриваются известные теоретические методы и подходы решения напряженно-деформируемого состояния рельсового профиля. Описаны ранее проработанные исследования с указанием известных работ ученых. Сформулированы задачи для дальнейшего исследования.

Ключевые слова: рельс, напряженно-деформированное состояние, копровые испытания, компьютерное моделирование.

Исследование проблем прочности и разрушения твердых тел в настоящее время представляется одной из актуальных задач, как в теоретическом, так и в прикладном плане.

Под разрушением твердого тела понимается не только механическое нарушение сплошности тела в результате внешнего воздействия, но и необратимое пластическое течение. Разрушение твердого тела является сложным процессом, который начинается с зарождения рассеянных по телу дефектов, развитие которых приводит к появлению и распространению дефектов типа трещин.

Ударная вязкость – одна из важнейших характеристик конструкционных сталей. Данная характеристика определяется при испытании на ударный изгиб и показывает величину работы, которую нужно потратить, чтобы разрушить стандартный образец с надрезом на специально разработанном для данного испытания оборудовании – маятниковом копре.

Измеряется ударная вязкость в  $\text{кгс/см}^2$  или в  $\text{Дж/см}^2$ , данная размерность показывает отношение работы, потраченной на разрушение испытываемого образца, к площади его поперечного сечения.

Одним из основных критерием качества сталей является способность сопротивления хрупкому разрушению, эта способность качественно выражена в величине ударной вязкости.

Отмечено, что в настоящее время основными методами исследования динамических свойств материалов при скоростях деформации являются копровые испытания, раздача кольцевых образцов, метод Тейлора, метод разрезного стержня Гопкинсона и его модификации, метод прямого удара.

В методе копровых испытаний для создания динамической нагрузки используются копры со свободно падающим грузом, копры с резиновыми или пружинными ускорителями, маятниковые или ротационные копры.

Основные регистрируемые параметры – скорость удара и усилие в образце, измеренное динамометрическим способом. В копровых испытаниях подбирают условия нагружения таким образом, что кинетическая энергия падающего груза во много раз превосходит работу по разрушению образца.

Рассмотрим несколько работ, выполненных ранее, связанных с моделированием напряженно-деформированного состояния рельсового профиля.

Исследование напряженно-деформированного состояния вершины усталостной трещины в головке рельса [1]. В этой работе В. П. Кутовой рассмотрел возможность развития усталостных трещин в поле внешних сжимающих напряжений. Автором выполнена конечно-элементная модель, имеющая узкий трещиноподобный дефект с вершин, очерченными по окружности, которая нагружалась пульсирующей сжимающей нагрузкой.

Муравьев В.В., Тапков К.А исследовали оценку напряженно-деформированного состояния рельсов при изготовлении [2]. Здесь авторы показывают расчет модели методом конечных элементов, который проводился в программной среде COMSOL. К головке и подошве рельса в продольном направлении были приложены силы, вызывающие сжимающие

напряжения, к шейке рельса – силы, вызывающие растягивающие напряжения. Уровень напряжений, полученный при расчете модели рельса, был сопоставлен с соответствующим расхождением паза, который является информативным параметром при оценке уровня остаточных напряжений согласно действующему стандарту. Экспериментальные измерения выполнялись акустическим структуроскопом СЭМА, в основе которого лежит использование явления акустоупругости. Измерения выполнялись на пяти полнопрофильных пробах рельса.

Кроме того, Тапков К. А. дал научное обоснование методики оценки остаточных напряжений в дифференцированно-упрочненных рельсах на основе явления акустоупругости и математического моделирования. В нем автор установил наличие обратной линейной зависимости между значениями напряжений, получаемых методом акустической тензометрии при прозвучивании со стороны поверхности катания, и напряжениями в шейке рельса, оцениваемых по расхождению прорезанного паза в образце рельса.

Моделирование напряженно-деформированного состояния рельсового профиля при копровых испытаниях приведенные в работе [3], автор провел анализ разрушения рельса с наличием подошвенных дефектов, привел аналитический и численный анализ в программе ANSYS для изучения влияния пластических деформаций на прочность.

Работа Куклина С.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния рельсового [3] может быть положена в основу для дальнейшего исследования в области моделирования напряженно-деформированного состояния рельсового профиля при копровых испытаниях.

При изучении поставленной задачи автором проведен патентный анализ на основе Государственного комитета СССР по делам изобретений и открытий, Федеральной службы по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ) и Федерального института промышленной собственности (ФИПС) по поиску патентных документов, которые описывают копры для ударных испытаний. В таблице 1 представлены результаты патентного поиска.

Таблица 1 – Результаты патентного поиска

Название, № патента	Дата публикации	Автор (ы)
Копер для ударных испытаний [4]; SU 712720	30.01.1980	Стихановский Б. Н. Павлович Э. Г. Кузьминов С. Т. Смирнов В.Г. Крячков Ю. Н.
Копер для ударных испытаний [5]; SU 842441	30.06.1981	Залмансон В. М.
Копер для испытания образцов на ударную прочность [6]; SU 879382	07.11.1981	Голобков С. Н. Виноградов А. Е. Захаров В. Е.

Продолжение таблицы 1

Название, № патента	Дата публикации	Автор (ы)
Способ испытания материалов на ударный изгиб [7]; SU 998915	23.02.1983	Журавлев С.В.
Стенд для испытаний материалов на ударный изгиб 8]; SU 1523955	23.11.1989	Лодус Е. В.
Копер для ударных испытаний [9]; SU 1538080	23.01.1990	Воронкин В. В. Горбачев С. Г. Ченчов А. Н. Лисенков Д. Б. Лисёнков В. В.
Способ испытания образцов элементов конструкций на ударный изгиб [10]; SU 1677580	15.09.1991	Купершляк-Юзефович Г.М Высоцкий Ю. В. Павлов Н. В.
Способ испытаний материалов на ударный изгиб [11]; SU 1679259	23.09.1991	Кокорин В.Г. Чиченев Н.А. Сотников В.М. Зотов А. Д. Зарапин Ю.Л. Князева И.А. Ашихмин Г. В.

Копры, предоставленные в данной таблице, предназначены для испытания на ударные нагрузки образцов рельсов, толстого листа и других образцов прокатного производства металлургических заводов. Ударные испытания рельсов на копре выполняют при приемочных испытаниях на рельсопрокатных заводах, так как понижение сопротивления рельсов хрупкому разрушению в пути и повышение вероятности выхода их из строя из-за образования усталостных трещин представляют наибольшую опасность. Копровые испытания дают возможность оценить хрупкую прочность рельсов, изломы которых происходят хрупко под действием динамических нагрузок от колес подвижного состава. Оценивают копровую прочность по результатам испытаний серий полнопрофильных проб (по 5 – 8 идентичных проб в серии), которые должны выдержать удар бабы копра массой 1000 кг, падающей с наибольшей заранее выбранной высоты (чтобы рельс не сломался). В качестве критерия принимают работу разрушения (энергоемкость) в джоулях (1 Дж = 0,1 кгс-м).

Для исследования напряженно-деформированного состояния рельсового профиля при копровых испытаниях необходимо выполнить ряд следующих задач:

- исследовать разрушение рельса при копровых испытаниях;
- анализировать разрушения рельса с наличием дефектов;
- анализировать характер распределения напряжений в зоне дефекта;
- провести анализ результатов компьютерного моделирования;

Проведенный анализ литературы показал, что вопросы исследования напряжённо-деформированного состояния рельсов при копровых испытаниях являются недостаточно изучены являются актуальными и требуют новых решений в исследовании напряженно-деформированного состояния состояние рельсовой продукции.

При решении поставленной задачи в рамках обучения в аспирантуре будет использован комплексный метод, включающий теоретические и экспериментальные исследования. Работа будет выполняться с применением компьютерного моделирования методом конечных элементов в различных программах. В теоретических исследованиях будет использован аналитический метод.

В основу экспериментальных исследований напряжённо-деформированного состояния будут положены копровые испытания. Для уточнения методов исследования планируется разработать модель для напряженно-деформированного состояния, которая позволяет выполнять анализ напряжений, происходящих в рельсе и связать эти напряжения с требованиями ГОСТа 51685-2013 [13], также рассчитать распределение напряжений по сечению рельсового профиля и дефектов. Для этого необходимо провести многовариантный анализ разрушения рельса с наличием дефектов и проанализировать влияние на вероятность разрушения: высоты падающего ударника копра, механических свойств рельсовой стали, формы концентраторов напряжений и поверхностных дефектов.

#### Библиографический список

1 Кутовой, В. П. Исследование напряженно-деформированного состояния вершины усталостной трещины в головке рельса [Текст] / В. П. Кутовой, А. П. Шабанов, М. М. Шакиртов // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2013. – №1(13). – С. 88 – 94.

2 Муравьев В.В., Тапков К.А. Оценка напряженно-деформированного состояния рельсов при изготовлении. Приборы и методы измерений. 2017. – Т. 8, № 3. С. 263–270.

3 Моделирование напряженно-деформированного состояния рельсового профиля при копровых испытаниях: Отчет по НИР / М.В. Темлянцев, С.А. Куклин, И.А. Жуков. – Новокузнецк: СибГИУ, 2018. – 36с.

4 Пат. 712720 СССР, МПК G01M 7/00. Копер для ударных испытаний / Стихановский Б. Н. Павлович Э. Г., Кузьминов С. Т., Смирнов В.Г., Крячков Ю. Н.; заявитель и патентообладатель Фрунзенский политехнический институт. – № 2639519/25-28; заявл. 07.07.1978; опубл. 30.01.1980, Бюл. № 4.

5 Пат. 842441 СССР, МПК G01M 7/00. Копер для ударных испытаний / Залмансон В. М.; заявитель и патентообладатель Фрунзенский поли-

технический институт. – № 2755168/25-28; заявл. 12.04.1979; опубл. 30.06.1981, Бюл. № 24.

6 Пат. 879382 СССР, МПК G01N 3/30. Копер для испытания образцов на ударную прочность / Голобков С. Н., Виноградов А. Е., Захаров В. Е.; заявитель и патентообладатель Ждановский филиал Украинского государственного института по проектированию металлургических заводов. – № 2817734/25-28; заявл. 17.09.1979; опубл. 07.11.1981, Бюл. № 41.

7 Пат. 998915 СССР, МПК G01M 3/30. Способ испытания материалов на ударный изгиб / Журавлев С.В.; – № 3344505/25-28; заявл. 13.10.1981; опубл. 23.02.1983, Бюл. № 7.

8 Пат. 1523955 СССР, МПК G01N 3/30. Стенд для испытаний материалов на ударный изгиб / Лодус Е.В.; – № 4389029/25-28; заявл. 03.04.1988; опубл. 23.11.1989, Бюл. № 43.

9 Пат. 1538080 СССР, МПК G01M 7/00. Копер для ударных испытаний / Воронкин В. В., Горбачев С. Г., Ченчов А. Н., Лисенков Д. Б., Лисёнков В. В.; – № 4318208/25-28; заявл. 19.10.1987; опубл. 23.01.1990, Бюл. № 3.

10 Пат. 1677580 СССР, МПК G01N 3/30. Способ испытания образцов элементов конструкций на ударный изгиб / Купершляк-Юзефович Г.М., Высоцкий Ю. В., Павлов Н. В.; заявитель и патентообладатель Челябинский политехнический институт им. Ленинского комсомола. – № 4485194/28; заявл. 01.07.1988; опубл. 15.09.1991, Бюл. № 34.

11 Пат. 1679259 СССР, МПК G01N 3/30. Способ испытаний материалов на ударный изгиб / Кокорин В. Г., Чиченев Н. А., Сотников В. М., Зотов А. Д., Зарапин Ю. Л., Князева И. А., Ашихмин Г. В.; заявитель и патентообладатель Московский

УДК 621.01/03

## **СПОСОБ СБОРКИ БЕЗВОДИЛЬНЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

**Торушпанов К.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Гудимова Л.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: torushpanov.kirill888@gmail.com*

В данной статье описан универсальный способ сборки принципиально новых безводильных планетарных механизмов, которые имеют в своем составе группы нулевой подвижности, соединяющие все установленные безводильные сателлиты между собой. В качестве практического примера рассмотрена схема способа сборки для безводильного трехсателлитного планетарного механизма. Проблема, рассматриваемая в статье, ранее не поднималась и требует не только теоретического, но и практического изучения.

Ключевые слова: способ сборки, безводильный планетарный механизм, безводильный сателлит, группа нулевой подвижности, безводильная планетарная передача.

Анализируя название данной статьи, у читателя может возникнуть вопрос: «Зачем выдумывать какой-то новый способ, если в научной литературе по теории механизмов и машин подробно описан способ сборки планетарных механизмов, содержащих в своём составе центральное колесо с внутренним зацеплением, центральное колесо с внешним зацеплением, сателлит и водило?». Однако речь в данной статье пойдет о способе сборки именно безводильных планетарных механизмов. Простейший безводильный планетарный механизм, состоящий из центрального подвижного колеса 1, центрального неподвижного колеса 2 и сателлита 3, показан на рисунке 1.

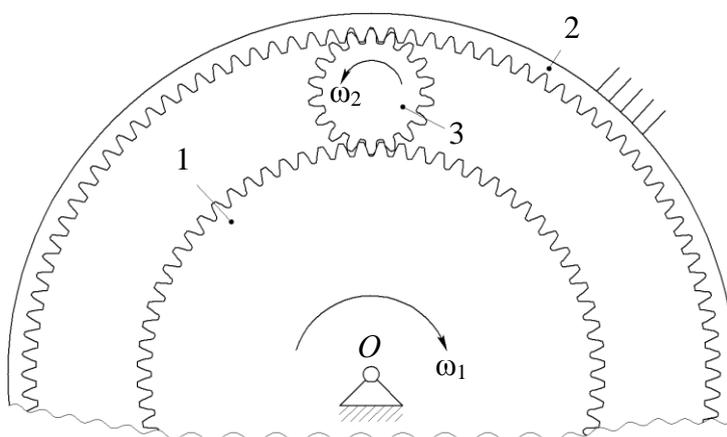


Рисунок 1 – Простейший безводильный планетарный механизм

Работает такой механизм следующим образом, при задании движения ( $\omega_1$ ) центральному колесу 1, безводильный сателлит 3, взаимодействуя с зубьями колес 1 и 2, получает движение ( $\omega_2$ ). Доказательством работоспособности служит известная формула подвижности для плоских механизмов П. Л. Чебышева [1]

$$W = 3n - 2p_5 - p_4, \quad (1)$$

где  $n$  – число подвижных звеньев механизма;

$p_5$  – число одноподвижных кинематических пар (шарниров);

$p_4$  – число двухподвижных пар – высших (пар зацепления).

В безводильном планетарном механизме, приведенном на рисунке 1, число подвижных звеньев  $n = 2$  (центральное колесо 1 и сателлит 3, кинематических пар  $p_5 = 1$  (шарнирное соединение центрального колеса 1 со стойкой  $O$ ), пар  $p_4 = 3$ , что было доказано автором данной статьи в соавторстве с доктором технических наук, профессором Дворниковым Л.Т. в статье «Основы структурного синтеза планетарных передач с безводильными сателлитами» [2]. Таким образом, подставив эти значения в формулу (1), получаем подвижность равную единице,  $W=1$ , что говорит о том, что такая структура

является механизмом. Несмотря на то, что рассматриваемый механизм и является работоспособным, он имеет существенный недостаток, который заключается в том, что при использовании его в качестве передачи механического движения, нет возможности передать мощность на исполнительные механизмы без добавления выходного звена.

Первая с точки зрения структуры и способа сборки безводильная планетарная передача, способная передавать мощность на исполнительные механизмы через группу нулевой подвижности, предложена Дворниковым Л.Т. и Киселевой О.С. на которую авторы получили патент на изобретение [3]. Такая безводильная планетарная передача показана на рисунке 2.

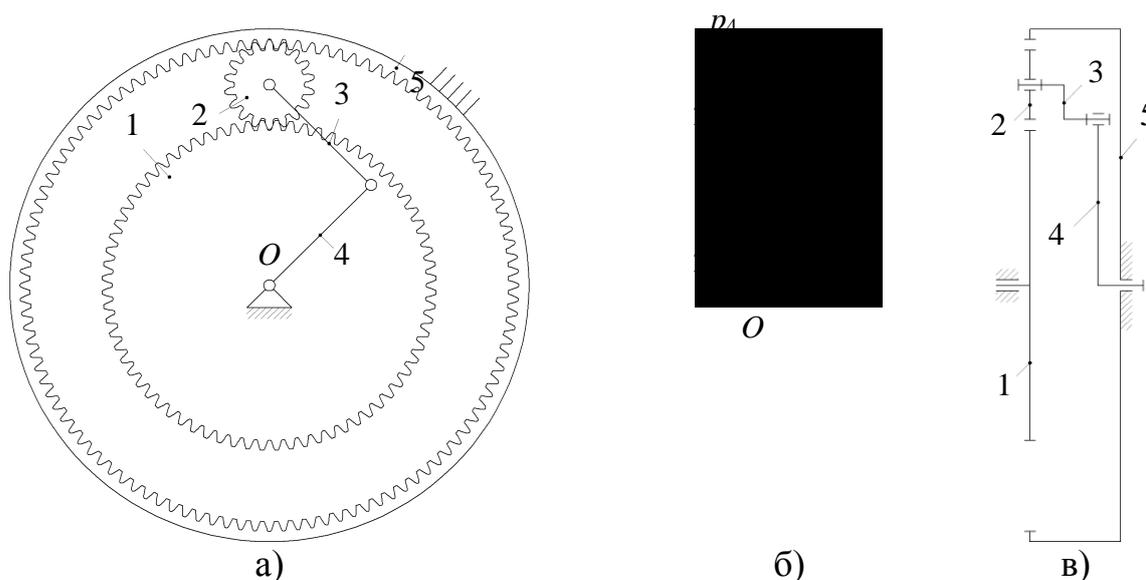


Рисунок 2 – Односателлитная безводильная планетарная передача, фронтальный вид (а), группа нулевой подвижности (б), профильный вид (в)

В этой передаче общее число подвижных звеньев  $n = 4$ , пар  $p_5 = 4$ , пар  $p_4 = 3$ , то есть её подвижность по формуле (1) равна единице  $W=1$ .

На основе односателлитной безводильной планетарной передачи, показанной на рисунке 2, автором данной статьи в соавторстве с профессором Дворниковым Л.Т. был разработан и описан принцип структурного синтеза планетарных передач с безводильными сателлитами, который позволяет строить планетарные передачи с любым числом безводильных сателлитов [2].

Отметим что, обоснование метода синтеза безводильных планетарных передач с числом подвижных звеньев  $n$ , с числами одноподвижных пар  $p_5$ , двухподвижных пар  $p_4$ , трехпарных рычагов  $n_{p3}$  и двухпарных рычагов  $n_{p2}$ , недостаточно для того, чтобы показать, как полученные путем расчета звенья и кинематические пары и рычаги использовать для создания полноценной безводильной планетарной передачи. Для решения этой задачи, важно понять, как звенья передачи должны соединяться и контактировать между собой, чтобы обеспечить работоспособность безводильной планетарной передачи. В данной работе представлен разработанный универсальный способ сборки безводильных планетарных передач, который показан на рисунке 3.

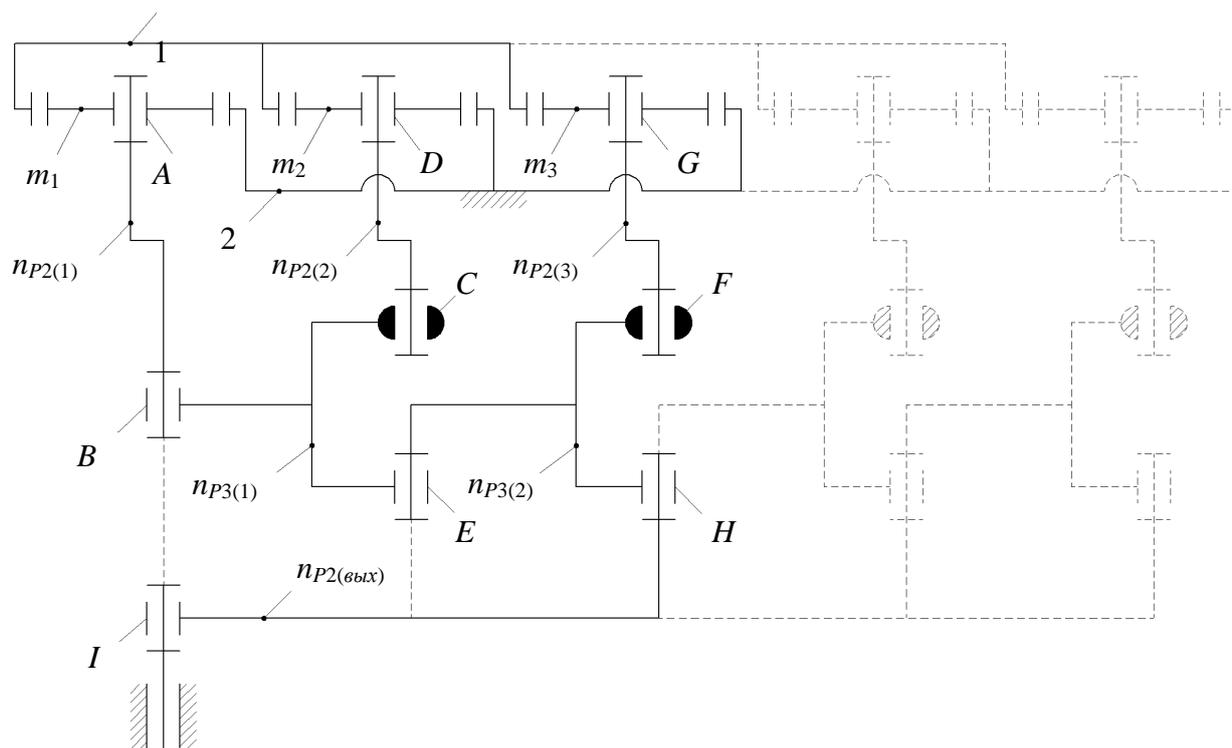


Рисунок 3 – Универсальный способ сборки безводильных планетарных передач

Суть универсального способа сборки безводильных планетарных передач заключается в соединении центрального ведущего колеса, неподвижного колеса с внутренним зацеплением, выходного звена и сателлитов, каждый из которых соединяется с трехпарными рычагами через двухпарные рычаги в единую кинематическую цепь, при этом соединенные между собой трехпарные и двухпарные рычаги должны образовывать группу нулевой подвижности.

На рисунке 3 сплошными линиями показана схема способа сборки трехсателлитной планетарной передачи. Пунктирными линиями на рисунке 3 показаны схемы способа сборки для четырехсателлитной и пятисателлитной безводильной планетарной передачи, таким образом, достаивая схему дальше можно получить шестисателлитную, семисталлитную и т.д. безводильную планетарную передачу. Предлагаемый универсальный способ сборки безводильных планетарных передач позволяет создавать планетарные передачи с любым числом безводильных сателлитов.

Рассмотрим способ сборки на примере безводильной трехсателлитной планетарной передачи, на которую автор данной статьи в соавторстве с профессором Дворниковым Л.Т. получил патент на изобретение «Безводильная трехсателлитная планетарная передача» [4].

Предварительно отметим, что трехсателлитная безводильная планетарная передача является работоспособной в том случае, если будет удовлетворять формуле подвижности Чебышева П.Л. (1). Тогда, согласно данным статьи [2] работоспособная трехсателлитная безводильная планетарная пере-

дача должна содержать в своем составе число подвижных звеньев  $n = 10$ , число одноподвижных пар  $p_5 = 10$ , число двухподвижных пар  $p_4 = 9$ , число двухпарных рычагов  $n_{P2} = 4$  и число трёхпарных рычагов  $n_{P3} = 2$ .

Вернемся к схеме универсального способа сборки безводильных планетарных передач (рисунок 3) и разберём полученные данные по числу подвижных звеньев  $n$ , числам пар  $p_5$  и  $p_4$  на отдельные составляющие. Так, в трехсателлитной планетарной передаче число подвижных звеньев  $n = 10$ , из них четыре подвижных колеса (центральное колесо 1 и сателлиты  $m_1, m_2, m_3$ ), четыре двухпарных рычага ( $n_{P2(1)}, n_{P2(2)}, n_{P2(3)}$  и  $n_{P2(вых)}$ ) и два трехпарных рычага ( $n_{P3(1)}, n_{P3(2)}$ ). Число одноподвижных пар  $p_5 = 10$ , шарнир  $I$  (соединение выходного звена  $n_{P2(вых)}$  со стойкой), шарниры  $A, D, G$  (соединение сателлитов  $m_1, m_2, m_3$  с двухпарными рычагами  $n_{P2(1)}, n_{P2(2)}, n_{P2(3)}$ ), шарниры  $B, C, F$  (соединение двухпарных рычагов  $n_{P2(1)}, n_{P2(2)}, n_{P2(3)}$  с трехпарными рычагами  $n_{P3(1)}, n_{P3(2)}$ ), шарнир  $E$  (соединение трехпарных рычагов  $n_{P3(1)}, n_{P3(2)}$ ), шарнир  $H$  (соединение двухпарного рычага  $n_{P2(3)}$  с выходным звеном  $n_{P2(вых)}$ ), а также один шарнир, соединяющий центральное колесо 1 со стойкой. Число двухподвижных пар  $p_4 = 9$  (по три зубчатых контакта сателлита с центральными колесами). Приведенное описание способа сборки трехсателлитной планетарной передачи наглядно показывает и объясняет, как необходимо проводить соединение всех видов звеньев передачи между собой.

Приведенные обоснования и примеры позволяют утверждать, что, применяя разработанный универсальный способ сборки можно создавать принципиально новые работоспособные безводильные планетарные механизмы, используя группы нулевой подвижности, соединяющие все установленные безводильные сателлиты между собой.

#### Библиографический список

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: учеб. для втузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640с
2. Дворников Л.Т., Торушпанов К.В. Основы структурного синтеза планетарных передач с безводильными сателлитами // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство.– 2020.– №7. – С. 7-14.
3. Пат. 2576215 Российская Федерация, МПК7 F 16 Н 1/28. Односателлитная планетарная передача / Дворников Л.Т., Киселёва О.С.; заявитель и патентообладатель Новокузнецк. СибГИУ. – № 2014137728/11; заявл. 17.09.14; опубл. 27.02.16, Бюл. № 6. – 4 с.
4. Пат. 2736963 Российская Федерация, МПК7 F 16 Н 1/48. Безводильная трехсателлитная планетарная передача / Дворников Л.Т., Торушпанов К.В.; заявитель и патентообладатель Новокузнецк. СибГИУ. – №2020110158; заявл. 10.03.2020; опубл. 23.11.2020, Бюл. № 33. – 4 с.

**МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ МЕХАНИЗМОВ БЕЗ ИЗБЫТОЧНЫХ СВЯЗЕЙ****Шуберт А.П.****Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Гудимова Л.Н.***Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: torushpanov.zeraf275@gmail.com*

Задача создания механизмов нового поколения является одной из самых актуальных задач. Такими механизмами могут быть механизмы без избыточных связей. В работе проведен анализ определения числа избыточных связей и методов создания безыбыточных по связям механизмов в исторической ретроспективе.

Ключевые слова: механизмы, избыточные связи, кинематические пары, число подвижных звеньев, формулы подвижности.

Среди ученых по теории механизмов и машин, и производственников, занимающихся созданием новых структур механизмов, сложилось устойчивое мнение, что широко используемые механизмы третьего семейства (плоские), в силу своих особенностей содержат связи, возникающие при несоответствии условию, устанавливающему соотношение между числом подвижных звеньев, числом и классом используемых кинематических пар, являющиеся избыточными (вредными). Создавая структуры механизмов без избыточных связей, необходимо выполнить условие уравнения (1), получившего название формулы подвижности А.П. Малышева, опубликованной им в 1923 году

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1. \quad (1)$$

Появилось мнение, что найдена универсальная формула подвижности, но, как оказалось, что подвижность вполне работоспособных механизмов, определяемая по этой формуле (1), давала не верные результаты.

Возникшее противоречие в 1939 г. было разрешено профессором В.В. Добровольским введением в формулу (1) А.П. Малышева дополнительного параметра  $m$ , определяющего число общих связей, накладываемых на звенья механизма «ещё до соединения их с помощью кинематических пар» [1].

Используя введенный параметр, обозначим его ( $m_D$ ), формула А.П. Малышева была преобразована В.В. Добровольским в формулу

$$W = m_D n - \sum_{k=1}^{m_D-1} (m_D - k) p_k \quad (2)$$

Параметр ( $m_D$ ) В.В. Добровольский использовал для классификации механизмов, с целью получения формул подвижности для механизмов разных родов (по современной классификации И.И. Артоболевского – семейств).

Анализ формул каждого рода позволил В.В. Добровольскому сделать вывод, что при наложении условий невозможности какого-либо движения (от одного до пяти) приводит к возникновению между звеньями дополнительных связей, которые он назвал пассивными связями. Эти связи появляются во всех родах (семействах) механизмов кроме нулевого (1) и могут быть найдены аналитически

$$s = m(\sum p - n) [1],$$

где  $m$  – число общих связей, накладываемых на механизм в целом,

$p$  – число кинематических пар,

$n$  – число подвижных звеньев.

Отметим, что внимательное изучение возникновения этих связей, и используемое название «пассивные связи» является неопределенным, так как, они не могут быть пассивными, эти связи весьма активны и могут привести к полной неподвижности механизмов. К этой проблеме в 1960 году вновь обратился профессор Н.И. Колчин.

Анализ статьи Н.И. Колчина [2], проведенный автором настоящей статьи, дает возможность утверждать, что это первое исследование, в котором научно обоснованы причины возникновения подобных связей. Н.И. Колчиным впервые предпринята попытка исключения избыточных связей в трехзвенном плоском механизме, т.е. в механизме третьего семейства (рода). Кроме того, автором статьи [2] было доказано, что характерным для всех механизмов (кроме механизмов нулевого семейства) является наличие лишних, *избыточных связей*. Вводя термин избыточная связь, Н.И. Колчин снимает неопределенность понятия «пассивные связи», т.е. утверждает, что эти связи не «безразличные», а напротив – активные и для механизмов вредные, и их устранение становится задачей исключительно важной для машиностроения, так как изучение и объяснение физической сущности появления избыточных связей дает возможность получать ответы на вопросы такого характера как: причины износа поверхностей деталей механизмов и машин, снятие проблем сборки механизмов, снижение требования к точности изготовления деталей, решение задач диагностики и ремонта машин [3].

Следующим этапом в изучении и устранении избыточности связей в механизмах, являются результаты работ профессора Л.Н. Решетова. Именно им было введено понятие рациональных механизмов, т.е. таких, которые свободны от избыточных связей.

Анализ, двух изданий этого автора [4, 5] показал, что несмотря на многие реальные технические рекомендации по устранению избыточных связей в конкретных машинах и механизмах, а также разработанный Л.Н. Решетовым метод контуров, метод исключения избыточных связей в механизмах не нашел широкого применения. В работе [1] приведен полный анализ исследований Л.Н. Решетова, здесь указаны те недостатки, которые по мнению автора являются наиболее важными.

Для того чтобы использовать этот метод для устранения избыточных связей, необходимы определенные навыки оценивания движений в механизме, как общей подвижности, так и каждой кинематической пары, что усложняет решение задачи, т.к. именно, значения подвижностей используются для составления структурных таблиц, позволяющих устанавливать избыток и недостаток связей в каждой используемой кинематической паре исследуемого механизма. Кроме того, не решен вопрос о расположении кинематических пар при создании новых механизмов без избыточных связей, а методика не содержит четко объяснения приемов последовательного решения по исключению избыточных связей.

Значительное внимание уделено вопросу пассивных связей С.Н. Кожевниковым [5]. Из материала, изложенного в данной книге следует, что для создания рациональных механизмов, автор предлагает создавать статически определимые группы, названные им монадами, удовлетворяющие статической определимости

$$6n = 5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + p_1 = \sum_{i=1}^{i=5} (6-i) \cdot p_i \quad (3)$$

Отметим, что при рассмотрении вопроса о создании пространственных механизмов, С.Н. Кожевников, употребляет слово «лишние» связи, что затрудняет сделать определенный вывод о том, об избыточных связях идет речь или автор вкладывает какой - то другой смысл. Хотя используемая формула (3), описывает именно пространственную механическую систему.

Основная идея создания пространственных механизмов по мнению С.Н. Кожевникова, это удовлетворение сборки группы звеньев без принуждения на деформируемой стойке при любом расположении опорных поверхностей. Но несмотря на значительное число приведенных решений различных соединений и узлов в металлургических и сельскохозяйственных машинах, они лишь иллюстрируют их конструктивное исполнение, которое обеспечивает определенность движения. Четкого алгоритма и поэтапного создания самоустанавливающихся механизмов в работе не предлагается.

Все рассмотренные методы позволяют сделать вывод о том, что проблема создания рациональных механизмов, не разрешена окончательно до настоящего времени и убедительно требует своего решения. Создание научно обоснованного и методически разработанного метода позволит создавать механизмы нового поколения, в которых могут быть решены вопросы об увеличении допусков на изготовление деталей, о снижении общей себестоимость, о повышении надёжности работы.

#### Библиографический список

1. Гудимова Л.Н., Дворников Л.Т. Основы теории избыточности связей в механизмах. Новокузнецк: ООО Полиграфист, 2019. 174 с.
2. Колчин Н.И. Опыт построения расширенной структурной классификации механизмов и основанной на ней структурной таблицы механизмов.

Анализ и синтез механизмов. // В кн.: Труды второго всесоюзного совещания по основным проблемам ТММ. – М.: Машгиз, 1960. – С. 85-97.

3. Решетов Л.Н. Самоустанавливающиеся механизмы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1979. – 334 с.

4. Решетов Л.Н. Самоустанавливающиеся механизмы: Справочник, – 2 – е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.,ил. – (Библиотека конструктора).

5. Основания структурного синтеза механизмов Кожевников С.Н. – Киев: Наук. думка, 1979. – 232 с.

УДК 621.92.323

## **КОНСТРУКЦИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ДРОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ, РАБОТАЮЩЕЙ НА СДВИГ**

**Лубин В.А.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Никитин А.Г.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: nikitin1601@yandex.ru*

Приведено описание конструкции дробилки, в которой разрушение перерабатываемого материала происходит за счет сил, действующих на дробимый кусок в одной плоскости навстречу друг другу, при этом в обрабатываемом куске возникают только касательных напряжений, что позволяет уменьшить расход энергии на единицу готовой продукции почти в два раза.

Ключевые слова: дробилка, энергоэффективность, мощность, сила, напряжение, ребро.

Одним из основных показателей процесса дробления является энергоэффективность дробления, которая определяется массой дроблёного материала, получаемой при расходовании единицы электроэнергии.

В промышленности используются дробилки для разрушения хрупких материалов сжатием (валковые, щековые, конусные) и ударом (зубчатые, молотковые) [1].

Дробилки сжатия делятся на следующие виды: щековые, в которых разрушение происходит за счет встречного рабочего движения плит [2]; валковые, разрушающие кусок при затягивании его в зазор между вращающимися друг навстречу другу [3]; конусные, в которых дробление осуществляется сжатием материала между конусами, расположенными с эксцентриситетом один внутри другого [4]. Дробление хрупкого материала в этих дробилках осуществляется силами сжатия, создающими в куске нормальные напряжения, по предельным значениям которых рассчитывают их мощность. Дробилки, работающие на сжатие разрушаемого материала, имеют примерно одинаковую удельную энергоёмкость, то есть одинаковый расход энергии на

разрушение единичного объема материала равной прочности [5]. Разрушение сжатием самый энергоемкий из известных способов дробления [6].

Ударные (роторные и молотковые) дробилки предназначены для ударного дробления различных хрупких материалов с помощью бил, жестко закрепленных на роторе, вращающемся вокруг горизонтальной оси [7], при этом разрушение происходит за счет раскалывания.

Разрушение хрупких пород ударом и сжатием требуют различных энергозатрат, необходимых для разрушения материала, при этом разрушение сжатием требует почти полуторакратных затрат энергии, по сравнению с разрушением ударом. Однако, дробилки ударного действия имеют существенный недостаток, который выражается в том, что лишь 25 – 30 % готового продукта получаются с заданным фракционным диапазоном [8].

Известны конструкции одновалковых дробилок, у которых кусок подается в зазор между валком и сплошной неподвижной плитой. В процессе работы в разрушаемом материале генерируется сложное напряженное состояние, при котором на кусок дробимого материала действуют как сжимающие силы, вызывающие в куске действие нормальных сжимающих напряжений, так и внутренний крутящий момент, вызывающий действие касательных напряжений [9]. При действии в материале сложного напряженного состояния прочность оценивается через эквивалентное напряжение, предел прочности которого меньше, чем при действии только нормальных напряжений [10]. Этим достигается уменьшение расхода энергии на дробление при прочих равных условиях на 20 – 30 % по сравнению с дробилками, работающими на сжатие.

С целью повышения энергоэффективности процесса разрушения хрупких материалов в Сибирском государственном индустриальном университете разработана конструкция роторно-конусной дробилки [11], в которой дробление происходит за счет генерации в куске только касательных напряжений, под действием которых возникает деформация сдвига. При таком виде деформации предел прочности для данного материала принимает минимально возможное значение, равное примерно 0,5 от величины предела прочности при сжатии [12]. Отсюда следует, что такой способ дробления является наиболее энергоэффективным по сравнению со всеми другими при получении готового продукта заданной крупности.

В процессе работы рассматриваемой дробилки разрушение перерабатываемого материала происходит за счет сил, действующих на дробимый кусок в одной плоскости навстречу друг другу, то есть обеспечивается условие генерации в куске только касательных напряжений.

Дробилка состоит из корпуса 1, выполненного заодно с неподвижным конусом и расположенного соосно с ним вращающегося внутреннего конуса 2 с приводом 3 (рисунок 1). Вращающийся внутренний конус установлен в радиальных подшипниках 5 и опирается на упорный подшипник 4. На рабочих поверхностях конусов по их образующим расположены ребра 6. В верх-

ней части корпуса 1 имеется течка 7 для подачи материала, а в нижней – разгрузочные окна 8.

Дробление происходит следующим образом. Кусок дробимого материала 9 через течку 7 подается в зону дробления, образованную рабочими поверхностями конусами 1 и 2. При вращении внутреннего конуса 2 ребра 6, расположенные на рабочих поверхностях конусов периодически располагаются друг напротив друга и образуют каналы, в которые под действием сил гравитации кусок 9 проваливается на глубину, на которой его поперечный размер равен величине зазора между поверхностями неподвижного внешнего и вращающегося внутреннего конусов 1 и 2. При дальнейшем вращении внутреннего конуса 2 кусок 9 зажимается между боковыми поверхностями ребер 6 и за счет возникновения в нем касательных напряжений развивается деформация сдвига и кусок разрушается.

A – A

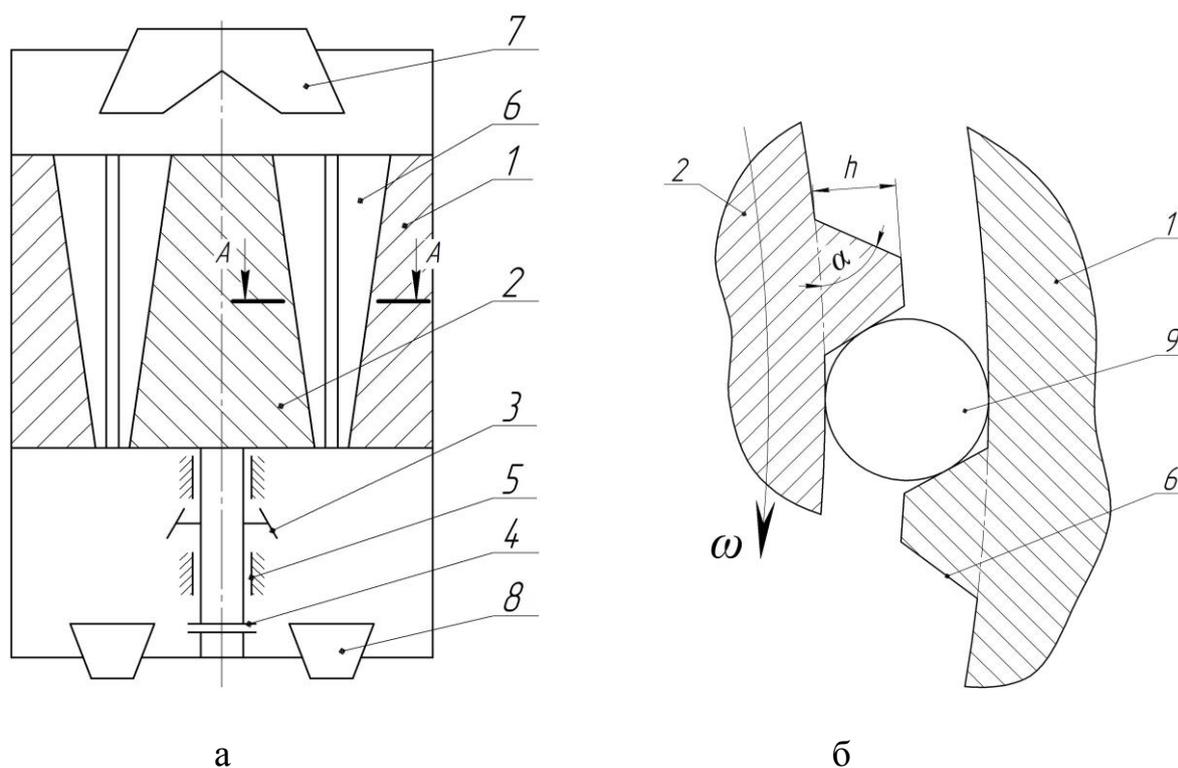


Рисунок 1 – Схема роторно-конусной дробилки: а – вид дробилки в разрезе; б – сечение А-А

Размеры ребра характеризуются следующими параметрами: высотой ребра  $h$  и углом наклона боковой поверхности ребра к основанию  $\alpha$ . Их значения определяются следующим образом. Высота ребра  $h$  не должна быть больше, чем 0,5 от величины зазора между поверхностями неподвижного и вращающегося внутреннего конусов, чтобы обеспечить возможность вращения внутреннего конуса. При  $\alpha = 90^\circ$  разрушение дробимого куса происходит под действием только касательных напряжений.

Учитывая, что величина касательных напряжений определяется соотношением:

$$\tau = 0,5 \cdot \sigma_{сж}, \quad (1)$$

можно сделать вывод, что энергопотребление уменьшится на 50 % по сравнению с дробилками сжатия.

Таким образом, конструирование дробилок, в которых разрушение перерабатываемого материала происходит за счет генерации в куске только касательных напряжений, позволяет уменьшить расход энергии на единицу готовой продукции почти в два раза.

Приведено описание конструкции дробилки, в которой разрушение перерабатываемого материала происходит за счет сил, действующих на дробимый кусок в одной плоскости навстречу друг другу, при этом в обрабатываемом куске возникают только касательных напряжений. Использование дробилок, в которых разрушение перерабатываемого материала происходит за счет генерации в куске только касательных напряжений, позволяет уменьшить расход энергии на единицу готовой продукции почти в два раза.

#### Библиографический список

1. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. – М.: Машиностроение, 1990. 320 с.
2. Telsmith. Jaw-crushers. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://telsmith.com/products/crushing-equipment/jaw-crushers>.
3. Egbe, E.A.P., Olugboji, O.A. Design, Fabrication and Testing of a Double Roll Crusher. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), Vol. 35, Number 11, May 2016, Pages 511–515.
4. Johansson M., Quist J., Evertsson M., Hulthen E. Cone crusher performance evaluation using DEM simulations and laboratory experiments for model validation // Minerals Engineering. 2017. Vol. 103–104. P. 93–101.
5. Никитин А.Г., Сахаров Д.Ф. Сравнительный анализ энергозатрат дробилок, работающих на сжатие // Известия вузов. Черная металлургия. – 2011. – №4. – С. 56–57.
6. Масленников В.А. Дробилки, разрушающие материал сжатием // Известия вузов. Горный журнал. – 1996. – № 10-11. – С. 124–138.
7. L.L. Zhao, F. Zang, Z.B. Wang. Multi-object optimization design for differential and grading toothed roll crusher using a genetic algorithm. Journal of China University of Mining and Technology, Volume 18, Issue 2, June 2008, Pages 316-320.
8. Фишман М.А. Дробилки ударного действия / М. А. Фишман. – Москва : Госгортехиздат, 1960. – 189 с.
9. Никитин А.Г., Елифанцев Ю.А., Медведева К.С., Герике П.Б. Силовой анализ процесса разрушения хрупких материалов в одновалковой дробильной машине с упором на валке // Известия вузов. Черная металлургия. – 2019. – Т. 62, № 4. – С. 303–307.

10. Goulet J. Resistance des materiaux / Bordas Paris. 1976. – 192 p.
11. Патент РФ № 2526738. Роторное дробильное устройство / Никитин А.Г., Люленков В.И., Мочалов С.П., Матехина А.Н. // Открытия. Изобретения. Бюл. № 24, 2014. Заявл. 18.06.2013. Опубл. 27.08.2014.
12. Степин П.А. Сопротивление материалов : учебник / П. А. Степин. – Санкт-Петербург : Лань, 2014. – 320 с.

УДК 629.4.077

## **АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ И ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УДАРНО-ТЯГОВЫХ УСТРОЙСТВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Абдирахманов Ж.А., Джаббаров Ш.Б.**

*Ташкентский государственный транспортный университет,  
г. Ташкент, e-mail: tytmabdiraxmanov@yandex.ru, shuhratassistant@gmail.com*

В данной публикации рассмотрены определения диагностических признаков неисправных упряжных устройств в эксплуатации и выяснения причин, приводящих к отказам узлов и деталей ударно-тяговых приборов, было проведено обследование технического состояния упряжных устройств грузовых вагонов в парке прибытия и на механизированных путях ремонта вагонов (МПРВ) станции Свердловск - Сортировочный. Были исследованы и систематизированы признаки, которыми пользуются при выявлении неисправных упряжных устройств.

Ключевые слова: железная дорога, сортировочная горка, ударно-тяговое устройство, поглощающий аппарат, клин, тяговый хомут,

При визуальном осмотре упряжного устройства на ПТО сортировочных станций осмотрщик должен пройти в межвагонный промежуток и подлезть под концевую часть вагона. При этом возможности контроля существенно ограничены, во-первых, из-за неудобства положения осмотрщика, и, во-вторых, из-за недоступности осмотру части узлов упряжного устройства, например, поглощающего аппарата или задних упорных угольников. Поэтому о многих неисправностях упряжного устройства осмотрщик судит по косвенным признакам, что не обеспечивает достоверности контроля. При осмотре вагонов осмотрщики пользуются известными методами выявления неисправностей [1-4], а также личным опытом.

Основным критерием, по которому судят о техническом состоянии упряжного устройства, является расстояние от упора автосцепки до наиболее выступающей части ударной розетки. Этот размер для разных типов поглощающих аппаратов различен [16-19]. В настоящее время на грузовых вагонах установлены поглощающие аппараты трех типов. На четырехосные вагоны устанавливаются поглощающие аппараты типа Ш-1-ТМ с рабочим хо-

дом 70 мм и энергоемкостью 30 кДж и аппараты типа Ш-2-В с рабочим ходом 90 мм и энергоемкостью 60 кДж. На восьмиосные вагоны устанавливаются поглощающие аппараты типа Ш-2-Т с рабочим ходом 110 мм и энергоемкостью 104 кДж.

Расстояние от упора головы автосцепки до наиболее выступающей части ударной розетки для аппарата Ш-1-ТМ составляет 60 мм для сжатого состояния поезда и 100 мм для растянутого состояния, для аппарата Ш-2-В это расстояние составляет 120-150 мм, для аппарата Ш-2-Т – 100-140 мм.

Увеличение расстояния между автосцепкой и ударной розеткой свидетельствует о возможном изломе клина тягового хомута, разрыве тяговых полос и соединительных планок тягового хомута, неисправности поглощающего аппарата. При малом выходе автосцепки возможны изломы клина тягового хомута, упорной плиты и задних упорных угольников, потеря поглощающим аппаратом упругих свойств [14-18].

Таким образом, о неисправностях поглощающего аппарата осмотрщики судят по косвенным признакам, что не обеспечивает достоверности контроля. Так увеличенный зазор между автосцепкой и ударной розеткой не всегда однозначно указывает на наличие неисправного упряжного устройства. Подвижной состав, прибывший на станцию, может оказаться либо в сжатом, либо в растянутом состоянии, и в этом случае расстояние между автосцепкой и ударной розеткой будет больше или меньше допустимых величин [3].

Поэтому для определения технического состояния упряжного устройства осмотрщики дополнительно используют другие признаки неисправностей. Например, провисание головы автосцепки указывает на разрыв верхней полосы или соединительных планок тягового хомута, излом клина тягового хомута [12-14]. На провисание головы автосцепки осмотрщик обращает особое внимание, так как оно может явиться причиной превышения допустимой разницы продольных осей автосцепки, что приводит к саморасцепу вагонов в составе.

Сломанный клин тягового хомута определяют ударом молотка. Если клин сломан, то слышен двойной металлический звук. На излом клина также указывает изогнутый болт его крепления. При выработке фрикционных клиньев и корпуса поглощающего аппарата на всей длине клина появляется металлическая пыль и потертость до металлического блеска [8].

Возникновение металлического блеска на хвостовике автосцепки или на нижней полосе тягового хомута также свидетельствует о возможной неисправности упряжного устройства.

Способ обнаружения неисправностей упряжного устройства по металлическому блеску был применен на Западно-Сибирской железной дороге осмотрщиком вагонов Басалаевым. Суть способа определения неисправного упряжного устройства заключается в следующем. Металлический блеск на хвостовике автосцепки, доходящий почти до ее головы, указывает на разрыв тягового хомута и обрыв задних упорных угольников [17].

Такое многообразие признаков неисправности не позволяет однознач-

но судить о техническом состоянии упряжного устройства. При этом правильное заключение об исправности или отказе конкретного упряжного устройства зависит от профессионализма осмотрщика. Поэтому возможны ошибки контроля, которые бывают двух видов. Ошибка первого рода, или «ложная тревога», означает выбраковку вагона с исправным упряжным устройством [13]. В этом случае возникают дополнительные затраты, связанные с отцепкой исправного вагона в ремонт. При ошибке второго рода вагон с неисправным упряжным устройством относят к классу исправных, и он поступает в эксплуатацию [15].

Для определения критериев оценки технического состояния упряжных устройств было проведено обследование группы вагонов, поступивших в ремонт на МПРВ станции Свердловск-Сортировочный. В эту выборку входило 200 единиц, имевших различные неисправности. Из них были отобраны все вагоны, имеющие неисправности упряжного устройства. У вагонов, отцепленных по неисправностям упряжного устройства, и у вагонов, отцепленных по другим неисправностям, сравнивались установочные параметры поглощающего аппарата, тягового хомута, а также величины износов элементов автосцепки [7].

Согласно методики проводились замеры следующих параметров, характеризующих техническое состояние упряжного устройства:

- расстояние от упора головы автосцепки до ударной розетки;
  - зазор между корпусом поглощающего аппарата и задними упорными угольниками;
  - зазор между передними упорами и упорной плитой;
  - зазор между нижней перемышкой переднего упора и упорной плитой;
  - величина выхода фрикционных клиньев из корпуса поглощающего аппарата;
  - длина зоны металлического блеска, образующегося на хвостовике автосцепки от трения его о центрирующую балочку;
  - длина зоны металлического блеска, образующегося на нижней полосе тягового хомута от трения о поддерживающую планку [16].
- При анализе результатов обследования технического состояния упряжных устройств была определена частота появления каждой неисправности на вагоне (таблица 1).

Таблица 1 - Распределение диагностических признаков неисправных упряжных устройств.

№ п/п	Диагностический признак	Частота возникновения на вагоне
1	Расстояние от головы автосцепки до ударной розетки	0,89
2	Длина блестящей поверхности на хвостовике автосцепки	0,78
3	Длина блестящей поверхности на нижней полосе тягового хомута	0,7

*Продолжение таблицы 1*

№ п/п	Диагностический признак	Частота возникновения на вагоне
4	Величина износа фрикционных клиньев	0,56
5	Зазор между нижней перемычкой передних упорных угольников и тяговым хомутом	0,56
6	Зазор между задними упорными угольниками и корпусом поглощающего аппарата	0,37

Из таблицы следует, что наибольшую частоту появления имеет первый параметр – расстояние от упора головы автосцепки до наиболее выступавшей части ударной розетки. На втором месте длина блестящей поверхности на хвостовике автосцепки - 78%, а на третьем - длина блестящей поверхности на нижней полосе тягового хомута - 70%. Остальные параметры имеют частоту 56 и менее процентов [12-14].

Дальнейший анализ диагностических признаков технического состояния упряжного устройства построен на возможности проектирования аппаратуры по двум диагностическим признакам:

- аппаратура, основанная на измерении расстояния между головой автосцепки и ударной розеткой;

- аппаратура, основанная на определении размера (длины) блестящей поверхности на хвостовике автосцепки и на нижней полосе тягового хомута.

Опытный образец аппаратуры диагностирования упряжного устройства был установлен на подъездных путях к нечетному парку прибытия ст. Свердловск-Сортировочный. Принцип действия аппаратуры был основан на определении размера зоны износа до металлического блеска на нижней поверхности хвостовика автосцепки и на нижней полосе тягового хомута [4-6].

Таким образом, на примере аппаратуры диагностирования упряжного устройства видно, что неисправный поглощающий аппарат может стать причиной неисправности других узлов вагона [14-17].

Следовательно, для уменьшения отказов вагонов в эксплуатации необходимо обеспечить ремонт поглощающих аппаратов с определением их работоспособности на основе совершенствования методики контроля технического состояния поглощающих аппаратов грузовых вагонов при ремонте [17].

**Библиографический список**

1. Свердлов В.Б. Выбор диагностических признаков и разработка аппаратуры диагностирования упряжного устройства грузовых вагонов: Автореф. канд. тех. наук. – М., 1995. – 141 с.

2. Инструкция по ремонту и обслуживанию автосцепного устройства подвижного состава железных дорог Российской Федерации ЦВ-ВНИИЖТ-494. – М.: Транспорт, 1997. – 144 с.

3. Казаринов В.М., Карвацкий Б.Л. Расчет и исследование автотормозов. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 231 с.

4. Коломийченко В.В., Беляев В.И., Феоктистов И.Б., Костина Н.А. Автосцепные устройства подвижного состава железных дорог. – М.: Транспорт, 2002. – 230 с.
5. Сообщение 1353. ГВЦ – Москва, 2004. – 15 с.
6. Блохин Е.П., Манашкин И.А. Динамика поезда. – М.: Транспорт, 1982. – 222 с.
7. Виноградов Г.П., Коган Л.А., Трещалин И.М. Выбор параметров и конструктивных схем грузовых вагонов // Труды ВНИИЖТ, 1960.– Вып. 189 – 190 с.
8. Долматов А.А., Кудрявцев Н.Н. Динамика и прочность четырехосных железнодорожных цистерн // Труды ВНИИЖТ, 1963. Вып. 263 – 123 с.
9. Костин Г.В., Черкашин Ю.М., Кочков А.Д. Некоторые задачи продольной динамики поездов // Исследование прочности, устойчивости, воздействия на путь и техническое обслуживание вагонов в поездах повышенной массы и длины. – М.: Транспорт, 1992. – С. 32 – 50.
10. Особенности движения вагона по спускной части сортировочной горки при попутном ветре Гордиенко А.А., Джалилов Х.Х., Джаббаров Ш.Б., Инагамов С.Г. Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. 2020. № 2 (41). С. 64-67.011
11. Designing the height of the first profile of the marshalling hump Turanov K., Gordienko A., Saidivaliev S., Djaborov S. В сборнике: E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TRACSEE 2019. 2020. С. 03038.612
12. Movement of the wagon on the marshalling hump under the impact of air environment and tailwind Turanov K., Gordienko A., Saidivaliev S., Djaborov S. В сборнике: E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TRACSEE 2019. 2020. С. 03041.413
13. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (часть iv) Туранов Х.Т., Гордиенко А.А., Джаббаров Ш.Б. Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2019. № 1. С. 16-20.814
14. О скольжении колёсных пар вагона на тормозных позициях сортировочных горок Туранов Х.Т., Гордиенко А.А., Джаббаров Ш.Б., Саидивалиев Ш.У. Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2019. № 5. С. 16-21.715.
15. О вычислении профильной высоты головного участка сортировочной горки Туранов Х.Т., Гордиенко А.А., Саидивалиев Ш.У., Джаббаров Ш.Б. Бюллетень транспортной информации. 2019. № 12 (294). С. 15-20.016.
16. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (часть v) Туранов Х.Т., Гордиенко А.А., Джаббаров Ш.Б. Бюллетень транспортной информации. 2019. № 3 (285). С. 22-27.717.
17. Аналитическая статика качения колес на скоростных участках сортировочной горки Туранов Х.Т., Гордиенко А.А., Джаббаров Ш.Б. Бюллетень транспортной информации. 2019. № 6 (288). С. 8-16.2180.

## **СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОЗДУХА В КАЧЕСТВЕ ХЛАДАГЕНТА**

**Абдирахманов Ж.А., Иноятов К.Х., Жумабеков Б.Ш.**

*Ташкентский государственный транспортный университет,  
г. Ташкент, Узбекистан, e-mail: tytmabdiraxmanov@yandex.ru*

В статье рассмотрены кондиционеры которые используют в качестве хладагента воздух. Приведены сопоставления с обычными кондиционерами, преимущества данного типа и затраты в эксплуатации.

Ключевые слова: пассажирский вагон, кондиционер, хладагент, установки кондиционирования, теплообменник, капитальный ремонт.

Для искусственного охлаждения воздуха в вагоне применяются системы охлаждения, которые являются непременной составной частью вагонной установки кондиционирования воздуха.

Система охлаждения состоит из холодильной установки и устройств для распределения охлажденного воздуха по пассажирским помещениям.

Наиболее широкое применение в пассажирских вагонах с кондиционированием воздуха получили компрессионные холодильные установки.

Применявшийся ранее в системах кондиционирования воздуха хладагент марки R12, обладающий высокой озоноразрушающей способностью, сейчас заменен на R134a, который не влияет на озоновый слой и обладает в 6 раз более низким тепличным потенциалом. Тем не менее необходимо отказаться от использования любого, экологически небезопасного хладагента, так как полностью устранить его утечки в контурах кондиционирования невозможно. Наиболее современным и экологичным решением являются установки кондиционирования, использующие в качестве хладагента воздух [1].

Ежегодно утечки хладагента составляют 10 – 20 % потребляемого объема. Кроме того, при ремонте холодильных контуров требуются большие трудозатраты на откачку и удаление (с обязательной утилизацией) больших объемов хладагента, а также на последующее вакуумирование и повторное заполнение этих контуров. После ремонта даже в случае применения современного оборудования утечки хладагента не исключаются.

Экологически чистая, хорошо проработанная технология кондиционирования, при которой хладагентом служит обычный воздух, широко применяется для самолетных установок кондиционирования. Эти установки используются также для выравнивания давления в пассажирских салонах.

В начале 1990-х годов в ходе дискуссии о разрушении озонового слоя и парниковом эффекте железные дороги Германии (DBAG) совместно с промышленностью начали искать возможности использования воздуха в качестве хладагента на железнодорожном подвижном составе. Первая такая

(воздушная) система кондиционирования для пассажирского подвижного состава разработана на базе типовой самолетной установки.

На первом этапе исследований два поезда ICE1 оборудовали воздушными установками кондиционирования, имевшими разные концепции и выполненными разными производителями.

Системы с избыточным давлением холодного воздуха. Концепции, реализованные в авиационных системах кондиционирования, были несколько изменены применительно к условиям эксплуатации железнодорожного подвижного состава. В самолетах сжатие воздуха, т. е. создание его избыточного в системе с открытым контуром и избыточным давлением после предварительного сжатия воздуха происходит его промежуточное охлаждение в теплообменнике и последующее повторное сжатие в турбоагрегате, после чего следует повторное охлаждение в теплообменнике атмосферным воздухом. На следующем этапе происходит сброс давления воздуха в турбине, где в результате его расширения происходит конденсация влаги, удаляемой затем в водоотделителе. Далее в смесительной камере холодный воздух из турбины смешивается с циркуляционным и подается в пассажирский салон. Давления осуществляют турбоагрегаты, на подвижном составе железных дорог для этого используют мотор-компрессоры [3].

На высокоскоростных поездах, таких, как ICE, применяются устройства, защищающие пассажирские салоны от резких перепадов давления, которые возникают, например, при встрече поездов или при входе поезда, движущегося с высокой скоростью, в тоннель. В то же время – это устройство обеспечивает поддержание в герметизированных вагонах нужной концентрации кислорода, которая обеспечивается периодической подачей свежего воздуха. Эти функции в обеих концепциях систем реализуются по-разному.

Немецкая компания Liebherr Verkehrstechnik, помимо известной классической системы кондиционирования, использующей пары хладагента марки R134a, разработала, спроектировала и изготовила экологически особо чистый и удобный в обслуживании кондиционер, в котором в качестве хладагента используется воздух.

При закрытом (замкнутом) контуре предварительно сжатый воздух подводится прямо к ступени сжатия турбоагрегата, затем подвергается промежуточному охлаждению в теплообменнике атмосферным воздухом, расширяется в турбине и охлаждается. Во втором теплообменнике происходит теплообмен с приточным воздухом, после чего следует забор циркуляционного воздуха мотор-компрессором. В результате рабочий контур замыкается. Компенсацию утечек воздуха, а также подзарядку выполняет устройство дополнительного сброса давления, так называемое устройство поддержания давления [4].

В закрытом контуре для защиты от воздушных ударов предусмотрен специальный клапан, прерывающий забор свежего воздуха, при этом в пас-

сажирский салон подается ограниченный его объем только через параллельно включенные вентиляторы защиты.

Образец установки кондиционирования, в которой в качестве хладагента использовался воздух, при разрежении в открытом контуре успешно эксплуатировался на поезде ICE1 в период опытной эксплуатации. Установка равной мощности, но с хладагентом R134a разработана для поездов типа ICТ и успешно применяется в коммерческой эксплуатации

В открытом контуре общий объем свежего воздуха согласно действующим требованиям должен сохраняться неизменным и при работе защиты от перепадов давления. Сумма воздушных потоков, проходящих через вентилятор защиты и турбоагрегат, постоянна во всех режимах нагрузки.

Результаты измерений показали, что технические требования, предъявляемые к установкам кондиционирования воздуха на железнодорожном подвижном составе, выполнены по следующим параметрам: холодопроизводительности и объему приточного воздуха для обеспечения требуемого уровня комфорта пассажиров (в соответствии с требованиями документа МСЖД-553); акустике (уровень шума внутри вагона ниже 56 Дб); длительному поведению компонентов в жестких условиях эксплуатации на железных дорогах; защите от воздушных ударов.

Установка кондиционирования с разрежением, в которой применен теплообменник «воздух – воздух», а также используется наружный воздух для реализации процесса расширения в турбоагрегате, допускает возможность повторного использования отработавшего воздуха в режимах как охлаждения, так и отопления. Энергия, содержащаяся в отработавшем воздухе, выбрасываемом в атмосферу, до недавнего времени терялась.

Воздушная установка кондиционирования при небольших изменениях в организации воздушных потоков позволяет получать значительную экономию электроэнергии. Повторное использование отработавшего воздуха в модуле холодного воздуха возможно даже без применения дополнительного оборудования [2].

Таким образом, установка кондиционирования, использующая воздух, равноценна и по ряду параметров превосходит установку с классическим хладагентом. По массе и занимаемому объему воздушная установка имеет резерв снижения на 10 – 15 % затраты жизненного цикла.

Детальный анализ затрат жизненного цикла обычных установок кондиционирования на базе классического хладагента с рассмотрением всех компонентов холодильного контура (клапанов, теплообменников, вентиляторов, датчиков, компрессора), а также относящихся к ним фланцевых и паяных соединений выполнить пока не представляется возможным из-за отсутствия данных по их эксплуатации.

Однако, если принять во внимание незначительное число деталей в воздушных установках кондиционирования с открытым контуром, работающих с разрежением, и учесть, что это в основном детали для направления воздушных потоков, преимущества этих кондиционеров по надежности и

техническому обслуживанию становятся очевидными. Такие детали холодильного контура заменять в эксплуатации достаточно просто. Кроме того, нет необходимости в трудоемком сливе рабочих жидкостей и последующей их заливке, а в холодильном контуре, за исключением холодильной турбины, вращающейся в магнитных подшипниках и поэтому не изнашивающейся, отсутствуют подвижные детали.

Целесообразно применение системы кондиционирования пассажирских вагонов с применением воздуха в качестве хладагента так как затраты на покупку экологически небезопасного хладагента, его утечки в контурах кондиционирования уменьшаются и себестоимость эксплуатации данного типа кондиционирования намного дешевле традиционных типов.

#### Библиографический список

1. Зворыкин М.Л., Черкез В.М., Установки кондиционирования воздуха и холодильники пассажирских вагонов. М., 1969
2. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е., Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. М., 1971
3. Захаров Ю.В., Андреев Л.М., Оборудование судовых систем кондиционирования воздуха, Л., 1971.
4. Крылов Н.В., Гришин Л. М. Экономика холодильной промышленности. М.: Агропромиздат, 1987. 272 с .

УДК 65

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СТРАТЕГИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Новиков Р. В.,**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Дружинина М.Г.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: sstill@yandex.ru*

В статье выполнен анализ основных положений «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г.», реализация которой происходит в стране постепенно, и которая направлена на модернизацию транспортной инфраструктуры нашей страны.

Ключевые слова: российские железные дороги, инновационные этапы развития железнодорожного транспорта.

Российские железные дороги являются ключевыми, а в некоторых случаях предоставляют единственную возможность для перевозки грузов и передвижения пассажиров. В современных условиях экономического развития железные дороги выполняют около 80% всего грузооборота и более 40% пассажирооборота. Железные дороги играют решающую роль в осуществлении перевозок важнейших грузов, обеспечивающих бесперебойное функ-

ционирование промышленного комплекса. Ежегодно по ним перевозят 98,6% железной и марганцевой руды; 92,3% черных металлов; 87,2% каменного угля и кокса; 88,1 % химических и минеральных удобрений. Эксплуатационная длина российских дорог — 86,0 тыс. км. Из них более 36,3 тыс. км двухпутных и многопутных, 62,2 тыс. км оборудованы автоблокировкой и диспетчерской централизацией, электрифицировано 40,3 тыс. км. На предприятиях отрасли работает более 1,3 млн человек. По протяженности железнодорожных линий Россия занимает второе место после США, по объему грузооборота — третье место после США и Китая, а по перевозке пассажиров — третье после Китая и Японии.

В современных условиях экономических санкций в нашей стране коренным образом изменилась значимость и роль железнодорожного транспорта. На первое место выходит задача обеспечения эффективности работы в новых условиях, а также укрепление положения на рынке транспортных услуг.

Руководство нашей страны возлагает особую надежду на железнодорожный транспорт. Правительством утверждена «Стратегия развития железнодорожного транспорта России до 2030 года». Развитие железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года включает два этапа.

*Инновационный этап развития железнодорожного транспорта (2008-2015 годы)*

«Увеличение объёмов инвестиций в 2010 году в 2 раза и в 2015 году не менее чем в 3 раза Проект от 22.05.2007 «Основные направления стратегии развития железнодорожного транспорта России на период до 2030 года» к уровню 2006 года. Ускоренное усовершенствование имеющейся материально-технической основы области: абсолютная смена подвижного состава и технических средств с истекшими сроками работы на новейшую технику с значительной производительностью и невысокой ремонтёмкостью; устранение барьерных зон с ограничениями провозных способностей и формирование их научно-технических запасов; увеличение нижних ограничений скоростей перемещения до 60 км/час, увеличение маршрутных скоростей в пассажирском сообщении в 15 км/час. Осваивание новейших продуктовых и географических рынков автотранспортных услуг. Введение инноваторских технологий в сфере эксплуатации и ремонтных работ объектов железнодорожного автотранспорта.

Начало финансирования инвестиционных проектов за счёт бюджетных средств и средств Инвестиционного фонда, активное применение механизмов государственно-частного партнёрства (ГЧП) и сокращение перечня имущества, ограниченного в обороте, для финансирования инвестиций. Первоочередные проекты: строительство дополнительных главных путей на 3,2 тыс. км действующих железнодорожных линий, организация скоростного пассажирского движения на участке Санкт-Петербург - Хельсинки, развитие подходов к портам Ванино, Сов. Гавань и др. Постройка скоростных линий.

Активизация проектно-изыскательских трудов с целью постройки новейших железнодорожных линий.

Государственное тарифное регулирование услуг железнодорожного транспорта гармонизируется с процессами поэтапного перехода к либерализации ценообразования в других естественных монополиях».

*Этап динамического расширения сети железных дорог (2016-2030 годы)*

«Полномасштабная реализация государственной стратегии развития железнодорожного транспорта. Увеличение железнодорожной сети на 22,3 Проект от 22.05.2007 «Основные направления стратегии развития железнодорожного транспорта России на период до 2030 года». тыс. км. Дальнейшее развитие скоростного и высокоскоростного пассажирского движения».

Формирование инфраструктурных условий с целью развития новейших пунктов финансового подъема в государстве.

Вывод на международный уровень научно-технического и технологического развития железнодорожного транспорта.

Глобальная конкурентоспособность российской автотранспортной системы. Повышение международного контейнерного транзита вплоть до 1 млн. контейнеров в год.

Завершение формирования эффективного рынка перевозок.

По минимальному варианту (основан на энерго-сырьевом сценарии развития экономики) погрузка в 2030 г. прогнозируется в объеме 1970 млн. тонн, с ростом к уровню базового 2006 г., в 1,5 раза. Грузооборот прогнозируется в объеме 3050 млрд. тонн-км, с ростом в 1,56 раза, пассажирооборот — в 1,14 раза и превысит 202 млрд. пасс-км.

По максимальному варианту (основан на инновационном сценарии развития России) погрузка к 2030 г. возрастет в 1,64 раза и достигнет 2150 млн. тонн. Грузооборот в 2030 году возрастет по сравнению с 2006 годом в 1,69 раза и составит 3300 млрд. тонн-км, пассажирооборот — в 1,3 раза и превысит 231 млрд. пасс/км.

Таким образом, в условиях значительной территориальной протяженности России транспортная система к 2030 году позволяет связать воедино все регионы и обеспечить единство функционирования всего государства. Железнодорожный транспорт является наиболее эффективным видом транспорта для России, ввиду ряда преимуществ: возможности доставки грузов и пассажиров при любых климатических условиях, возможность провозить многотонные грузы, регулярность перевозок и т.д. Особенно его развитие необходимо в отдаленных от центра регионах, все это поможет наладить сообщение не только с торговыми центрами России, но и с соседствующими странами, что даст импульс для развития всей страны.

#### Библиографический список

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Дата официальной публикации: 30.03.2011 г. Ссылка на ресурс: <http://doc.rzd.ru>;

2. Заседание Правительства Российской Федерации. Первый вопрос повестки – о проектах финансового плана и инвестиционной программы

ОАО «РЖД» на 2018–2020 годы./16 ноября 2017 года, 12:30, Дом Правительства, Москва. Ссылка на ресурс: <http://government.ru>;

3. Шингарева, А.А. Значение железнодорожного транспорта для России // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 6-4. – С. 770-775; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=9695> (дата обращения: 10.04.2022).

УДК 622.6

## **НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП УСТРОЙСТВА СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ**

**Суджаян А.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Гудимова Л.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: [aramzes@mail.ru](mailto:aramzes@mail.ru)*

В статье рассматривается устройство скребкового конвейера, основные параметры и принципы его работы. Анализируются научные исследования по проблеме проектирования скребковых конвейеров.

Ключевые слова: скребковый конвейер, скребок, транспортировка, цепь, рештак, привод.

Проведенный анализ по изучению механизмов, используемых для очистки сыпучих грузов, показал, что наиболее высокопроизводительным и эффективным видом конвейерных машин являются скребковые конвейеры.

Скребковый конвейер – транспортирующий механизм постоянного действия, который осуществляет перемещение насыпных грузов по рештаку (неподвижный желоб), посредством скребков, зафиксированных на одной или двух цепях и погруженных в слой насыпного груза [1].

Главным назначением скребковых конвейеров – является транспортировка полезных ископаемых по очистному забою. Часто скребковые конвейера применяют на транспортных выработках небольшой длины или в наклонных горных выработках. Скребковые конвейеры отличаются высокой прочностью и способностью выдерживать ударные нагрузки, возникающие при падении на них больших кусков транспортируемого груза, имеют небольшую высоту става. Погрузку на скребковые конвейеры можно производить в любом месте по его длине.

К недостаткам скребковых конвейеров можно отнести принцип перемещения груза волочением, что связано с большим сопротивлением движению, интенсивным износом грузонесущего и тягового органов, измельчением транспортируемого материала, высокой энергоемкостью транспорта.

Процесс работы скребкового конвейера как механизма относительно не сложный. Движение цепи, движущейся по замкнутому кругу, осуществляется за счет установки в кинематическую схему электродвигателя [2].

При движении цепи со скребками по решетчатому ставу для перевозки груза, не переставая задействован только верхний участок цепи. По всей длине цепи, на равном расстоянии друг от друга, размещены скребки, которые перемещают груз по направлению к натяжной станции, проводят по дну желоба и доставляют к месту разгрузки материала. Затем цепь возвращается вверх через приводную станцию. (рисунок 1)

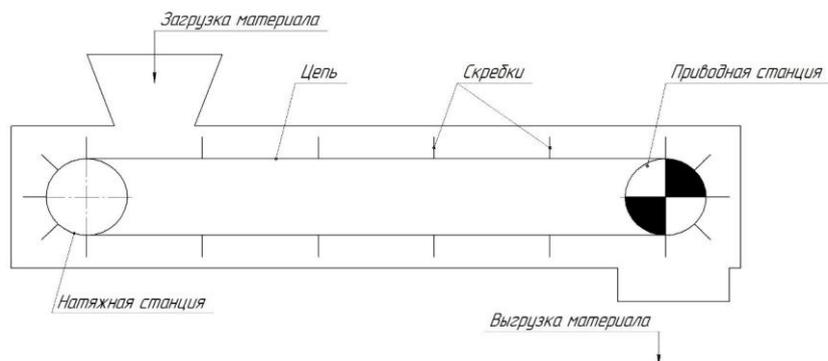


Рисунок 1 – Схема скребкового конвейера

Скребковый конвейер состоит из станции приводной, натяжной станции (секция концевая), решетчатого става, отрезков тяговой цепи, бортов. В состав скребкового конвейера входят так же: анкерное крепление, стопорная цепь, ороситель и запасные части. Рештаки конвейера снабжены направляющими для движущихся вертикально замкнутых цепей со скребками, которые служат для непрерывной транспортировки сыпучих грузов. Концевые части скребкового конвейера закрепляются в выработке стойками и анкерами.

Производительность скребкового конвейера [3] может изменяться в большом диапазоне, все зависит от типа установленного привода. Можно выделить следующие характерные признаки скребковых конвейеров:

1. Скребковый конвейер может применяться только для транспортировки сыпучих грузов, которые не подвержены износу. Стоит заметить, что перемещение грузов происходит путем волочения.

2. Скорость транспортировки грузов относительно невысокая, это зависит от того, что при волочении возникает трение, за счет чего и понижается скорость.

3. Масса скребкового конвейера достаточно высокая, в связи с тем, что он состоит из большого количества различных узлов, которые выполнены из металла. При большой массе конвейера, возникают определенные сложности с доставкой и монтажом конструкции.

4. Современное устройство скребкового предусматривает транспортировку груза под наклоном или по прямой. От траектории конвейера зависит то, каким образом он будет крепиться, в отдельных случаях присутствует регулировка угла наклона.

При горизонтальной установке скребковых конвейеров, высота слоя сыпучего груза может быть выше высоты скребков. Это не мешает нижнему и верхнему слоям образовать единый поток, максимально возможная высота которого зависит от нижеперечисленных факторов:

- плотности продукта утилизации, чем больше его плотность, тем меньше трение между слоями материала, что увеличивает транспортировку и производительность;

- внешнего трения, связанного не только со свойствами материала груза, но и с качеством стенок желоба;

- внутреннего трения, связанного с размерами частиц материала продукта.

- Учитывая выше перечисленные факторы можно утверждать, что скорость перемещения материала меньше у стенок желоба, за счет взаимодействия со стенками, по сравнению со скоростью центрального потока. При использовании скребкового конвейера с вертикальным расположением желоба, рекомендуется регулировать массу продукта.

При проектировании скребковых конвейеров требуется решить ряд задач:

- обоснование выбора скорости движения тягового органа, определяются усилия в тяговом органе (в набегающей и сбегающей ветвях);

- вычислить геометрические параметры желоба и скребков (по заданной производительности определяется рабочая ширина желоба);

- рассчитать сопротивление движения и натяжения тягового органа, при которых скребки работали бы устойчиво и стабильно (определяется суммарное сопротивление движению тягового органа с учетом горизонтального и наклонного участков конвейера);

- определить мощность привода (рассчитывается мощность приводного электродвигателя, подбирается электродвигатель, определяется передаточное число и компоуется привод.);

- выбирается цепь по коэффициенту запаса прочности и уточняется этот коэффициент;

При расчете узлов скребкового конвейера, следует обеспечить их прочность и долговечность, необходимо знать характеристики нагрузок и продолжительность их действия [4]. Режим работы позволяет при проектировании выбирать оборудование и расчетные параметры. Основными критериями определения режима работы являются классы использования конвейера по времени и по производительности. При проектировочном (приближенном) расчете скребковых конвейеров определяют тяговое усилие (окружное) на приводном валу, расчетную мощность двигателя привода, натяжения цепи в набегающей на приводной вал и сбегающей с него ветвях, шаг цепи, диаметры приводных звездочек, передаточное число приводного механизма, типоразмер редуктора, муфт и, если необходимо тормозной момент, параметры натяжного устройства.

Производительность скребкового конвейера в основном зависит от поперечных размеров желоба и скорости движения скребков. Ширина и высота

желоба, являются основными параметрами, определяющим производительность скребкового конвейера. Сечение желоба имеет форму скребка, которая может быть прямоугольной, трапецеидальной, полукруглой.

При производстве различных узлов скребкового конвейера, используют износостойкую сталь, выдерживающую значительные механические нагрузки. В некоторых случаях применяются пластиковые скребки. Одним из показателей производительности и действующей нагрузки на приводную станцию скребкового конвейера, является шаг расположения элементов. При перемещении груза скребки конвейера установлены относительно основания рештачного става под определенным углом.

Скребок конвейеры все более широко используются в различных отраслях промышленности, в частности, в угольной. Создание высокопроизводительных добычных машин, комплексных агрегатов и комбайнов позволяет повысить нагрузки на очистной забой, увеличить скорость их продвижения, сконцентрировать горные работы за счет увеличения размеров шахтных и выемочных полей, что создает благоприятные условия для применения скребкового конвейерного транспорта.

Параметры скребковых конвейеров и их оснащения существенно изменились. Современный скребковый конвейер является сложной и дорогой установкой, поэтому необходимо, как можно глубже исследовать основные физические процессы, сопровождающие работу конвейера и его основных элементов, с тем, чтобы разработать на их основе научно обоснованные методы расчета, максимально реализующие технические возможности конвейера за счет эффективного использования мероприятий, влияющих на надежность работы элементов конвейера.

#### Библиографический список

1. Леусенко, А.В. Скребок конвейеры. Справочное пособие [Текст] / А.В. Леусенко, Г.В. Высоцкий, Б.А. Эйдерман. – М.: Недра, 1993. – 221 с.
2. РТМ 12.44.012-76. Конвейеры шахтные скребковые. Пути обеспечения надежности на стадиях проектирования. Методика [Текст]. – М.: Ин-т горн. дела им. А.А. Скочинского, 1976. – 174 с.
3. Горлов, В.М. Оценка эксплуатационных качеств забойного скребкового конвейера СПГ-53 [Текст] / В.М. Горлов, А.Г. Левин / Труды: Механизация производственных процессов на угольных шахтах Украины // ДонУГИ. – Донецк: ДонУГИ. – 1980. – 56 с.
4. РТМ 12.44.045-81. Конвейеры шахтные скребковые. Тяговый расчет [Текст]. – М.: Гипроуглемаш. 1982. – 31 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ УДАРНЫХ ПРОЦЕССОВ ГИДРОМОЛОТОВ

**Корчуганов В.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Гудимова Л.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: smeskrovi@gmail.com*

В статье дано понятие гидромолота, представляющее собой сменное оборудование, используемое для разрушения и уплотнения грунтов, вскрытия подземных коммуникаций, погружения свайных элементов, приведена классификация гидромолотов относительно массы устройства, рассмотрены области применения гидроимпульсной техники, приведен принцип работы гидромолота и его конструктив.

Ключевые слова: разрушение, инструмент, удар, импульс, прочность, гидромолот.

Для интенсификации производственных процессов в различных отраслях современной промышленности, таких как горное дело, строительство, коммунальное хозяйство, металлургическая промышленность, массово используются гидроимпульсные средства механизации. Гидроударные устройства широко применяются в качестве активного сменного рабочего органа для экскаваторов, горных, дорожно-строительных и других машин [1, 2].

Гидромолот – это устройство ударного действия, предназначенное для преобразования энергии потока рабочей жидкости в механический импульс.

По результатам проведенного анализа можно утверждать, что используемые в настоящее время гидромолоты в зависимости от массы классифицируются на машины ударного действия легкой, средней и тяжелой серии. Гидромолотами легкой серии принято считать машины массой до 120 кг, массой до 850 кг – средний класс, более 1250 кг - тяжелые. Сочетая компактные размеры и высокую производительность, легкие и средние гидромолоты лучше применять для дробления более хрупких пород, в то время как тяжелые гидромолоты нашли себе применение в чрезвычайно сложных условиях эксплуатации на карьерах и шахтах [3, 4].

При дроблении негабаритов горных пород и их разделки применяют мобильные машины ударного действия, выполненные на базе экскаваторов, тракторов, автомобилей оснащенных гидромолотом. Дробление негабаритов осуществляется гидромолотами средней и малой мощности. Разделка негабаритов осуществляется гидромолотами с установленным заостренным ударно-скалывающим инструментом (рисунок 1, а), при дроблении оснащенным «тупым» инструментом (рисунок 1, б).



Рисунок 1 – Рабочий инструмент гидромолотов легкой и средней серии (а), тяжелой (б)

На рудниках, карьерах, обогатительных фабриках, угольных разрезах наиболее широко используются данные гидромолоты при дроблении негабаритов до необходимого размера на приемных решетках загрузочных бункеров, дробилок (рисунок 2).



Рисунок 2 – Манипуляторная установка (бутобой) с гидромолотом в угольном разрезе

Использование гидравлических машин ударного действия позволяет повысить производительность проходки тоннелей, уменьшить количество персонала, обслуживающего данный агрегат, повысить устойчивость боковых пород [5, 6, 7]. Для достижения этой цели рекомендуется применять машину с гидромолотом, обеспечивающую энергию удара до 2,5 кДж, которая может эффективно дробить обломки породы с прочностью на сжатие до 220МПа, которые под действием горного давления отслоились от кровли, так же данный агрегат позволит удалять заколы после проводимых взрывных работ.

Применение этих машин для оборки не приносит экономической выгоды, но существенно повышает безопасность ведения горных работ, так как при отсутствии механизированной оборки кровли до 30 % несчастных случаев в горнорудной промышленности приходилось на долю обрушающихся заколов из кровли и груди забоя выработки.

Важнейшим и наиболее трудоемким процессом в металлургической промышленности является ломка огнеупорной футеровки. В настоящее время при ремонтах металлургических агрегатов всё большее применение полу-

чают машины для ломки футеровки, исключая ручной труд и обеспечивающие сокращение продолжительности ремонта. Для выполнения трудоёмких работ во время ремонта в качестве базовой машины применяется гусеничный или пневматический гидравлический одноковшовый экскаватор. Для ломки футеровки и гарнисажа в фурменной зоне и в горне, машину-манипулятор опускают в горн, либо на подвесной платформе (рисунок 3).

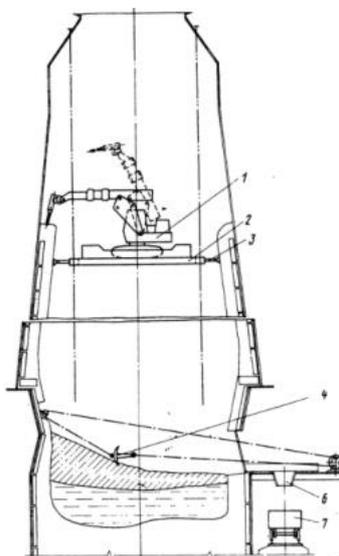


Рисунок 3 – Схема механизации разборочных работ при капитальном ремонте доменной печи

Машины-манипуляторы с гидромолотом могут быть использованы для ломки конвертеров вместимостью до 160 тонн с объёмным или составным днищем (рисунок 4).

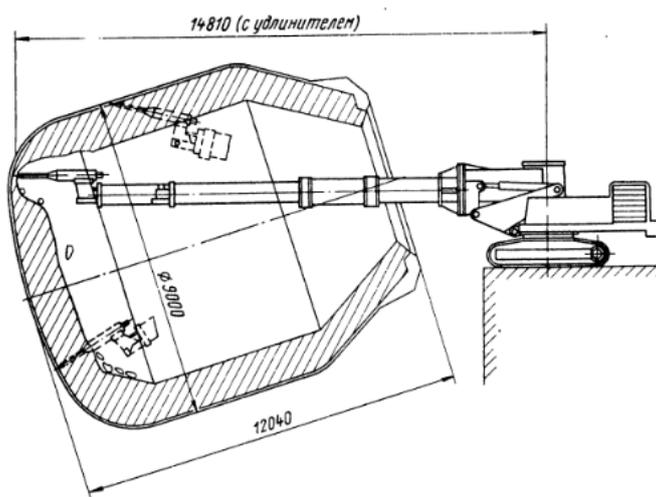


Рисунок 5 – Установка машины при ломке футеровки конвертора вместимостью 300 тонн

Экскаваторы с гидроударником нашли большое применение в различных сферах строительной деятельности, таких как разрушение кирпича, асфальта, строительных конструкций и многое другое (рисунок 6).



Рисунок 6 – Общий вид гидромолота, используемый для разрушения асфальтового и бетонного покрытий

Как правило, гидромолот устанавливается взамен отсоединенного ковша или рукояти и подключается к гидравлической системе экскаватора. При ликвидации аварий в подземных коммуникациях, чтобы избежать больших затрат на выемку грунта и повысить производительность наиболее актуальным является решение использовать гидравлический молот.

Большинство современных гидромолотов изготавливаемые разными производителями обычно имеют схожую конструкцию и включают в себя основные рабочие части (рисунок 7):

- рабочий сменный инструмент (пика);
- поршень с бойком;
- золотник с клапанами управления;
- гидропневматические аккумуляторы;
- корпусные детали;
- кожух для защиты конструкции;
- уплотнения и амортизаторы.

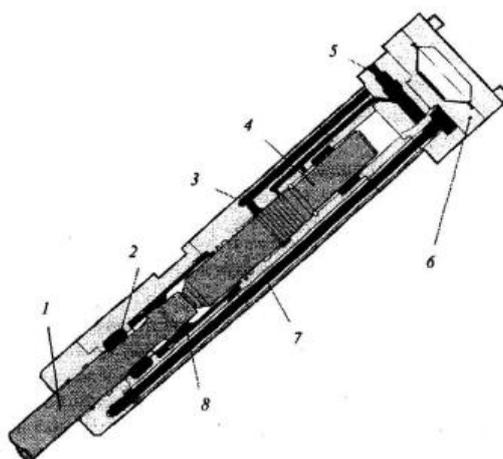


Рисунок 7 – Схема принципиального устройства гидромолота

Сменный рабочий инструмент 1 размещается в головной части корпуса и удерживается планками 2 которые ограничивают его ход и исключают поворот вокруг своей оси. Движение рабочего инструмента осуществляется за счет его соударения с поршнем-бойком 4. Поршень боёк, установленный в цилиндре, который является элементом корпуса, совершает возвратно-

поступательное движение вследствие подачи жидкости под давлением от насосной установки посредством системы каналов 3. Энергия удара формирует импульс, вследствие чего передается разрушаемому объекту.

Для поддержания заданных параметров частоты и энергии удара в устройстве гидромолота предусмотрен главный золотник 5 и специальные клапаны, которые располагаются в отдельном элементе корпуса, но работают синхронно с бойком поршня.

Стабилизация энергии удара и снижение биения жидкости в напорной магистрали осуществляется гидропневматическими аккумуляторами 6. Разделителем сред является резиновая диафрагма.

Для соединения рабочих камер гидромолота используются гидравлические каналы, выполненные во внутренней части корпуса. С помощью стальных стяжных шпилек все элементы корпуса фиксируются друг с другом. Герметизация гидравлических камер и каналов производится за счет использования различных уплотнительных элементов. Для изготовления уплотнительных элементов обычно используют полимерные материалы или высокопрочную и износостойкую резину.

Отметим, что, несмотря на широкое применение таких машин, они не лишены недостатков. Назовем основные, к которым относятся отсутствие ударов, нарушение ритмов удара, снижение мощности удара, затрудненный ход инструмента и нарушение режима остановки. Проведенный анализ показал, что возникающие неисправности связаны с основными рабочими деталями и устройствами гидромолотов.

Учитывая, что в настоящее время до 80% гидроударной техники производится зарубежными фирмами (Atlas Copco AB и Krupp Berco Bautechnik, Caterpillar Impact Product Ltd, Furukawa Rock Drill Co Ltd (FRD) и др.) задача создания отечественных новых гидроударных устройств, которые могут обеспечить надежные эксплуатационные характеристики с высоким коэффициентом полезного действия является актуальной и своевременной проблемой.

#### Библиографический список

1. Андреев, С.Е. О законах дробления / С.Е. Андреев // Горный журнал. - 1962. - № 4. - С. 66-70.
2. Ушаков Л.С. Гидравлические машины ударного действия / Л.С. Ушаков, Ю.Е. Котылев, А.В. Кравченко. – М.: Машиностроение, 2000. – 416 с.
3. Ушаков Л.С. К истории внедрения импульсных технологий в горном деле // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – №2. – С. 43- 45.
4. Доронин С.В. Сравнительный анализ альтернативных конструктивных решений при проектировании и модернизации деталей машин импульсного действия / С.В. Доронин, Д.В. Косолапов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2012. – №3(39). – С. 30-37.
5. Бузинник, В.Н. Проведение горных выработок машинами ударного действия: Обзор / В.Н. Бузинник, Ю.К. Епифанцев, В.М. Нешитин, Ю.Г. Ко-

няшин // М.: ЦНИЭИуголь. - 1976. - 34 с

6. Бызов В.Ф. Разрушение негабаритных кусков горных пород / В.Ф. Бызов, М.И. Великий, А.И. Черконос, С.З. Вайман // Киев: Техника. - 1986. - 135 с.

7. Маттис, А.Р. Экскаваторы с ковшом активного действия / А.Р. Маттис, В.И. Кузнецов, Е.И. Васильев, А.С. Ташкинов, А.Л. Вирула, Г.Д. Зайцев // Новосибирск: Наука. - 1996. - 176 с.

УДК 621.01/03

## **К ВОПРОСУ ОБ УСТРАНЕНИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУРАВНОВЕШЕННОСТИ ВОДИЛА В ПЛАНЕТАРНОМ РЕДУКТОРЕ**

**Серебряков И.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Гудимова Л.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: serebryackow.ig@yandex.ru*

В статье рассмотрена проблема равномерного распределения нагрузок по сателлитам в планетарных механизмах, а также представлен вариант решения проблемы устранения динамической неуравновешенности в многосателлитных редукторах. Показана конструкция водило-балансира, которое способствует совмещению осей ведущего и ведомого валов. Описан теоретический метод расчета водило-балансира.

Ключевые слова: многосателлитный планетарный редуктор, водило-балансир, сателлит, проблемы распределения мощности.

Несмотря на то, что планетарные механизмы отличаются от цилиндрических редукторов и более сложной конструкцией, и принципом работы, в настоящее время они находят все большее применение в различных областях промышленности, т.к. обеспечивают возможность создания разных кинематических схем, многопоточность при передачи мощности, снижение нагрузки на опоры и др. Перечисленные преимущества планетарных механизмов привели к повышенному интересу ученых многих стран, в том числе и России, к дальнейшему усовершенствованию в конструкции планетарных передач, направленного, например, на повышение нагрузочной способности, улучшению показателей массы и габаритов редукторов, возможностью работы при больших ускорениях и скоростях.

Однако такая проблема, как например, неравномерное распределение нагрузки по сателлитам и уравнивание инерционных сил остается неразрешенной в полной мере.

В исследованиях профессора Кудрявцева В.Н. [1] теоретически доказано, что при работе многосателлитного планетарного механизма вся передаваемая мощность от ведущего звена к ведомому передается до 80% через

один спутник, в то время как у остальных спутников в этот момент времени зацепление отсутствует.

В научной школе СибГИУ «Теория структуры механических систем и практика ее использования при синтезе сложных машин, включая горные и металлургические» под руководством профессора Дворникова Л.Т. разработан новый подход к решению, самой актуальной проблемы, а именно, равномерного нагружения всех спутников. При проектировании многоспутниковых редукторов для обеспечения определенного движения всех звеньев планетарного зубчатого механизма, при увеличении спутников появляется необходимость ввода в кинематическую цепь данного механизма, дополнительных рычагов в количестве равным числу дополнительно введенных спутников [2].

В последующем, в своих научных исследованиях профессор Л.Т. Дворников [3], доказал, что для создания уравновешенных многоспутниковых планетарных передач, к ведущему звену, необходимо добавлять группы звеньев, имеющих нулевую подвижность, соединяющие между собой дополнительные спутники.

Метод разработанный профессором Дворниковым Л.Т. был реализован в конструкции трехспутникового планетарного механизма (рисунок 1), защищенного патентом [4], где автор утверждает, что применение такой структуры механизма обеспечивает равномерную передачу инерционных сил от спутников и уравнивает рычажные звенья. Однако, глубокий анализ и построенная модель этого механизма показал, что полного уравнивания и уменьшения влияния динамической нагрузки на опоры не происходит.

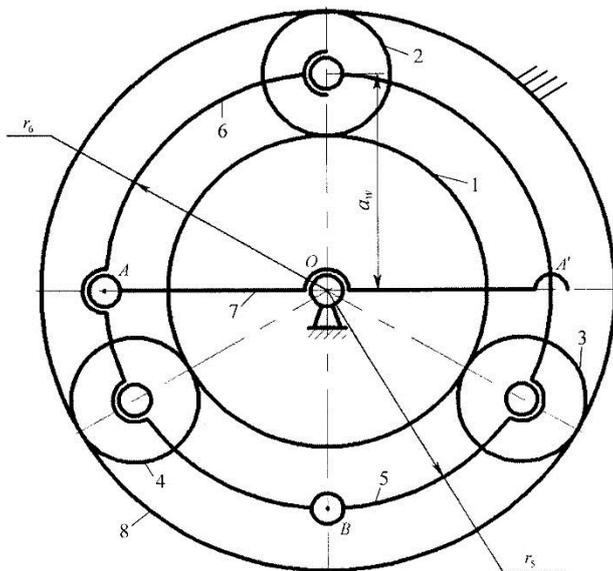


Рисунок 1 - Конструкция трехспутникового планетарного механизма, защищенная патентом

Для устранения этого недостатка предлагается уравновешенный трёхспутниковый планетарный механизм (рисунок 2), включающий солнечную, подвижную шестерню, с внешним зацеплением 1, неподвижный венец с

внутренним зацеплением 8, три сателлита 2,3,4 два полукольца 5,6 предназначенных для соединения сателлитов и сопряженных между собой шарнирно в одном узле, водило 7, которое служит главным элементом в конструкции данного механизма, поскольку его задачи – уравнивать передачу инерционных сил от ведущего звена к ведомому, общая длина которого определяется расчетом по определенному алгоритму.

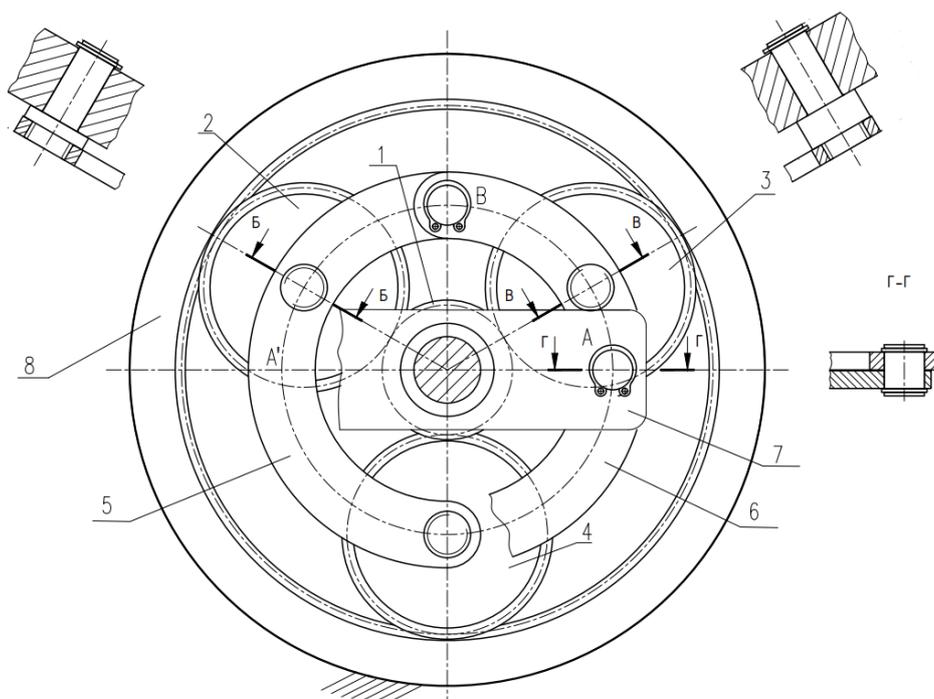


Рисунок 2 – Уравновешенный трехсателлитный планетарный механизм с водилом-балансиром

Разработанная конструкция водила-балансира (рисунок 3) позволяет совместить центр тяжести водила с центром вращения ведомого вала, что гарантирует уменьшение динамической нагрузки, передаваемой на подшипники сателлитов и ведомого вала, увеличивая их долговечность.

Для того, чтобы водило являлось балансиром при соблюдении условия равенства двум межосевым расстояниям, его центр тяжести  $O_1$  должен совпадать с осью вращения солнечной шестерни и ведомого вала  $O$ , обеспечивая при этом условие прочности соединения (рисунок 3, а), равное расстоянию  $x_1$ , зависящему от диаметра  $d_1$  и определяемому формулой  $x_1 = 1,25 \cdot d_1$ , при этом должно соблюдаться условие  $O_2 = O$ . Тогда общая длина водила-балансира определяется как  $L = 2 a_w + x_1 + \Delta$ , где  $a_w$ , - межосевое расстояние планетарной передачи,  $\Delta$  – добавочная длина стержня, которая обеспечит совмещение центра тяжести балансира с осью вращения центральной шестерни и ведомого вала.

Решение поставленной задачи основано на обеспечении совпадения центра тяжести сложной фигуры с осью вращения центральной солнечной

шестерни и ведомого вала  $x_c = \frac{A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + A_3 \cdot x_3}{A_1 + A_2 + A_3}$ ,

где  $x_1$  – расстояние от системы координат XOY до центра тяжести отверстия под сателлит,  $d_1$  – отверстие под шарнир,  $x_2$  – расстояние до центра тяжести диаметра отверстия под вал солнечной шестерни  $x_2 = x_1 + a_w$ ,  $x_3$  – расстояние до центра тяжести стержня  $x_3 = \frac{b \pm \Delta}{2} = \frac{(x_1 + 2a_w) + \Delta}{2}$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  – площади поперечных сечений отверстий и стержня:  $A_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}$ ,  $A_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$ ,

$A_3 = (b \pm \Delta) \cdot h$ .

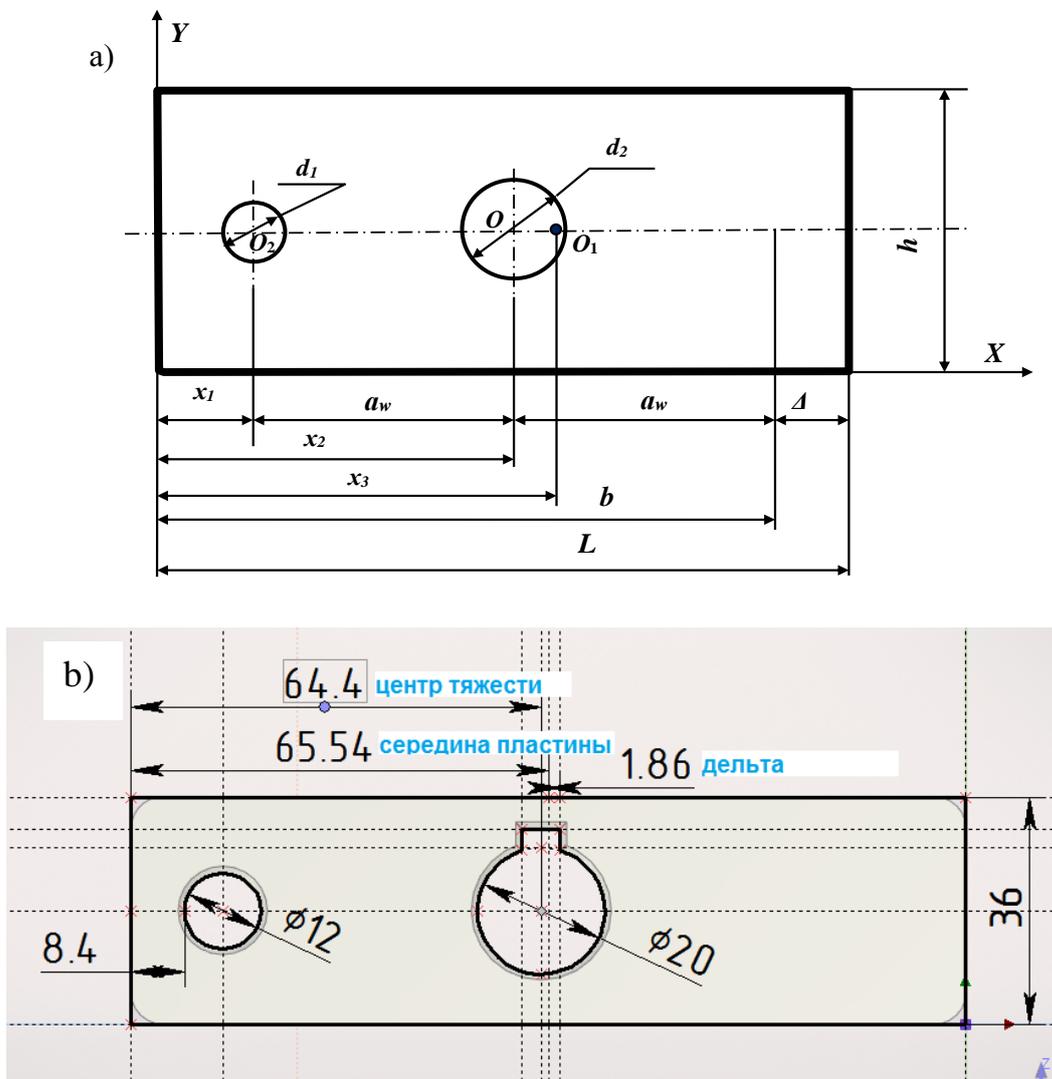


Рисунок 3 – Конструкция водило-балансир

По оси ординат:  $y_c = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3}{A_1 + A_2 + A_3}$ , где  $y_1 = y_2 = y_3 = \frac{h}{2}$  -

расстояния от оси координат до центров тяжести отверстий и стержня.

По полученным результатам расчета (рисунок 3, б) создана новая конструкция водила, для проведения испытаний с целью сравнения результатов работы планетарной передачи при использовании конструкции водила, защищенного патентом [4].

#### Библиографический список

1. Кудрявцев, В.Н. Планетарные передачи: справочник / В.Н. Кудрявцев, Ю. Н. Кирдяшев., – Л.: «Машиностроение» (Ленингр.отд-ние), 1977. – 536 с.

2. Дворников, Л.Т. Принципиальные проблемы многосателлитных планетарных зубчатых передач и возможные пути их разрешения / Л.Т. Дворников, С.П. Герасимов // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 12. – С. 44-51.

3. Андреева Я.А. Решение проблемы создания планетарных редукторов с равномерным распределением нагрузки по сателлитам / Я.А. Андреева, Л.Т. Дворников, И.А. Жуков // Машиностроение и инженерное образование. – 2013. – №4. – С. 2-8.

4. Пат. 186099 РФ, МПК F16Н 1/36. Уравновешенный трёхсателлитный планетарный механизм / Хайдукова Я.А.; заявитель и патентообладатель Новокузнецк. СибГИУ. – № 2017110534; заявл. 29.03.2017; опубл. 29.12.2018, Бюл. №32.

УДК 621.833

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСЧЕТОВ КОРРИГИРОВАННЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

**Дубровская С., Ващенко Е.**

**Научный руководитель: канд. экон. наук, доцент Корнев В.М.**

*Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М. Ф. Решетнева  
г. Красноярск, e-mail: 2604775@mail.ru*

В статье представлены исследования зависимости угла зацепления зубчатых колес с эвольвентным зацеплением от инвалюты угла и инвалюты угла при известном угле зацепления. После математической обработки результатов исследования получены зависимости позволяющие повысить эффективность расчетов корригированных зубчатых колес с эвольвентным профилем зуба.

Ключевые слова: угол зацепления, зубчатое колесо, эвольвента, эволь-

вентное зацепление, скорригированное зубчатое колесо.

Для преобразования и передачи вращательного движения в технике широко используются зубчатые механизмы, но при проектировании зубчатых механизмов с эвольвентным профилем зуба перед проектировщиками, в связи с особенностями задания на проектирование, может возникнуть потребность спроектировать зубчатый механизм с эвольвентным профилем зуба, когда у одного из зубчатых колес число зубьев будет не более 17. В этом случае, при нарезании эвольвентных зубчатых колес инструментальной рейкой со стандартным углом зацепления равным  $20^{\circ}$ , происходит подрезание зубьев колеса, снижающее его эксплуатационные характеристики.

Чтобы предотвратить подрезание зубьев [1, 2] применяется скорригирование (от лат. *corrigo* - исправляю, улучшаю) зубчатых колес, позволяющее улучшить форму зубьев эвольвентного зубчатого зацепления. Нарезая зубчатые колёса инструментальной рейкой, исходный стандартный контур инструментальной рейки смещают в радиальном направлении так, чтобы её делительная прямая не касалась делительной окружности колеса.

Скорригирование дает возможность «исправить зацепление»:

Во-первых, увеличить толщину зуба у основания зубчатых колес, то есть устранить «подрезание ножки зуба», приводящее к снижению прочности зубьев зубчатых колес;

Во-вторых, выровнять величины удельных давлений и удельных скольжений по всему профилю зуба, что приводит к более равномерному износу зуба эвольвентного зацепления.

Подбор рабочей величины коэффициента смещения инструментальной рейки определяется на основе анализа ряда качественных показателей: коэффициентов перекрытия, удельного скольжения, удельного давления, формы зуба и т. д. и представляет собой инвариантную задачу.

Для определения геометрических параметров цилиндрических прямозубых скорригированных зубчатых колес определяют угол зацепления зубчатой пары, определяя инвалюту угла [1]

$$\text{inv } \alpha_w = \frac{2x_{\Sigma} \text{tg } \alpha}{z_1 + z_2} + \text{inv } \alpha, \quad (1)$$

где  $x_{\Sigma}$  - сумма коэффициентов смещения зубчатых колес;

$\alpha$  – угол зацепления не скорригированных зубчатых колес,  $20^{\circ}$ ;

$Z_1, Z_2$  – числа зубьев на колесах.

В работе [2] предлагается зависимость для определения угла зацепления по известной инвалюте угла, определенной по (1)

$$\alpha_w = 75.331 (\text{Inv } \alpha_w)^{0.32} \quad (2)$$

По справочным данным [1] для зубчатых колес определяется угол зацепления. Для уточнения формулы (1) был построен график зависимости угла зацепления от инвалюты угла (рисунок 1).

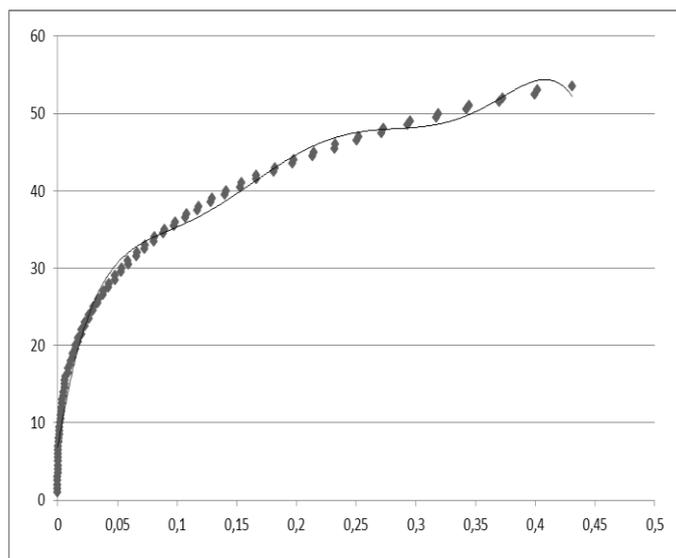


Рисунок 1 - Зависимость угла зацепления от инвалюты угла

Точки – значения инвалюты угла; линия – расчет по уравнению (2).

Для упрощения проектирования скорректированных зубчатых колес и упрощения расчетов зубчатого зацепления, была получена зависимость для определения угла зацепления при известной инвалюте угла:

$$\alpha_w = -263,16 \times (\text{inv}\alpha_w)^2 + 263,16 \times (\text{inv}\alpha_w) + 12,022 \quad (3)$$

В интервале угла, не превышающего  $45^\circ$ , данная зависимость дает расхождение с фактической величиной угла не более 0,75%. Расчет по уравнению (3) представлен в виде линии на рисунке 1.

Для проведения дальнейших расчетов параметров зубчатого зацепления, возникает потребность в определении толщины зубьев на окружностях вершин зубьев. Данная величина зависит от инвалюты угла профилей зубьев по окружности вершин.

Для этого была поставлена обратная задача: определение зависимости инвалюты угла от величины угла зацепления. Табличные данные с расчетными величинами представлены на графике (рисунок 2).

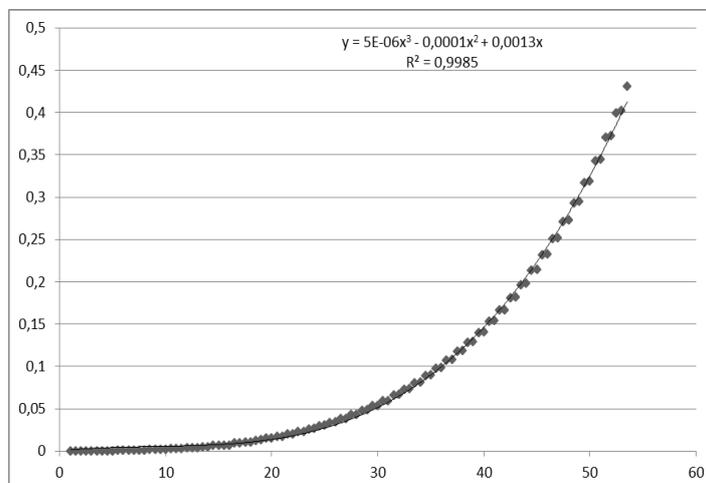


Рисунок 2 – Зависимость инвалюты угла от угла зацепления

На графике точками обозначены справочные данные [1], линия представляет расчет по уравнению (3).

Математическая обработка полученных результатов позволила получить зависимость инвалюты угла от угла зацепления:

$$\text{Inv}(\alpha)=0,000005\times\alpha^3-0,0001\times\alpha^2+0,0013\times\alpha \quad (4)$$

Как видно, полученная зависимость обладает высокой достоверностью, т.к. расхождения расчетных и справочных значений не превышает 0,5 %.

Проведенные исследования зависимости угла зацепления зубчатых колес с эвольвентным зацеплением от инвалюты угла и инвалюты угла при известном угле зацепления, математическая обработка результатов исследования дали возможность получить зависимости позволяющие повысить эффективность расчетов скорректированных зубчатых колес с эвольвентным профилем зуба. Что позволит, при определении необходимых параметров эвольвентного зубчатого зацепления, отойти от объемных таблиц воспользовавшись предложенными математическими уравнениями.

#### Библиографические ссылки

1. Канунник, И. А. Теория механизмов и машин. Учебное пособие. / И. А. Канунник. – Красноярск: СибГТУ. 2010. – 480 с.

2. Бальцер, А. А., Кустов, А. В., Суворов, И. Ф. Определение угла зацепления зубчатых колес [текст]. / А. А. Бальцер, А. В. Кустов, И. Ф. Суворов // Детали машин: инновационные достижения проектирования и использования на современном этапе развития промышленности: Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – Красноярск: Сибгу им. М. Ф. Решетнева. – 2021. – С. 113-115

УДК 621

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

**Соседов Г.Ю., Хромовских В.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Кустов А.В.**

*Сибирский государственный университет науки и технологий  
им. академика М.Ф. Решетнева,  
г. Красноярск, e-mail: German-sosedov@mail.ru*

При проектировании оборудования для оценки надежности, точности, шумности и других характеристик важно иметь представление о динамических параметрах проектируемого механизма. Данные исследования не только позволяют скорректировать конструкцию деталей и узлов для улучшения характеристик, но также и подобрать рациональные режимы работы.

Ключевые слова: динамика, привод, станок, механические передачи.

Повышение производительности оборудования ведет к повышению технологических скоростей, росту динамических нагрузок и повышению уровня колебаний (вибраций) как отдельных механизмов, так и станка в целом. Что приводит к увеличению значимости оценки и анализу динамических процессов в приводах станков.

При подготовке современных работников связанных с эксплуатацией, модернизацией и проектированием высокопроизводительного оборудования важно, чтобы обучающиеся имели навыки динамического анализа узлов и механизмов оборудования.

Используя экспериментальный лабораторный стенд «для исследования механизмов и электромеханических приводов» проведены исследования параметров привода механизма резания. Фреза благодаря двойному приводу совершает сложное движение, перемещается по кругу вдоль обрабатываемой поверхности располагаясь перпендикулярно к оси вращения фрезерной головки и вращается вокруг своей оси. Для совершения данного движения применено два кинематических контура с отдельными двигателями.

Процесс резания заготовки осуществляется двойным приводом, который передает и воспринимает значительные нагрузки при высоких скоростях ее деталей и звеньев. Для достижения качественного резания при напряжённых режимах работы, достаточной точности обработки материала эта система должна обладать значительной жесткостью в статических и динамических режимах на исполнительном механизме установки и иметь минимальные динамические ошибки на исполнительном органе [2, 5].

Привод механизма резания исследуемой установки, который благодаря особенностям процесса резания, неравномерности структуры, непостоянства толщины снимаемого слоя на заготовки и разности физико-механических свойств ее материала при обработке изделия нагружен крутящим моментом со значительными колебаниями. В итоге в элементах привода возникают колебания крутильного характера, вызывающие переменные нагрузки, изгибные колебания, снижение производительности обработки, уменьшение надежности и долговечности оборудования.

Для обеспечения необходимого качества работы резания динамические характеристики привода определяют при проектировании узлов привода и вносят изменения в конструкцию, при этом возможны изменения с контролем как динамических ошибок на выходном звене, так и контролем динамических нагрузок в элементах привода. Изменения конструкции могут носить характер корректировки размеров деталей или более существенные изменение кинематики и конструкции.

Вращение фрезы 14 (рисунок 1) производится электродвигателем 1 через ремённую передачу (ремень 3, шкивы 2, 4) с переменным передаточным отношением и открытую коническую зубчатую передачу 7. Для уравновешивания фрезы на другом конце вала фрезы установлен противовес 15. Вращение фрезерной головки осуществляется с помощью двигателя 9, через две ремённых передачи (ремни 6 и 11, шкивы попарно 10, 12 и 13, 5).

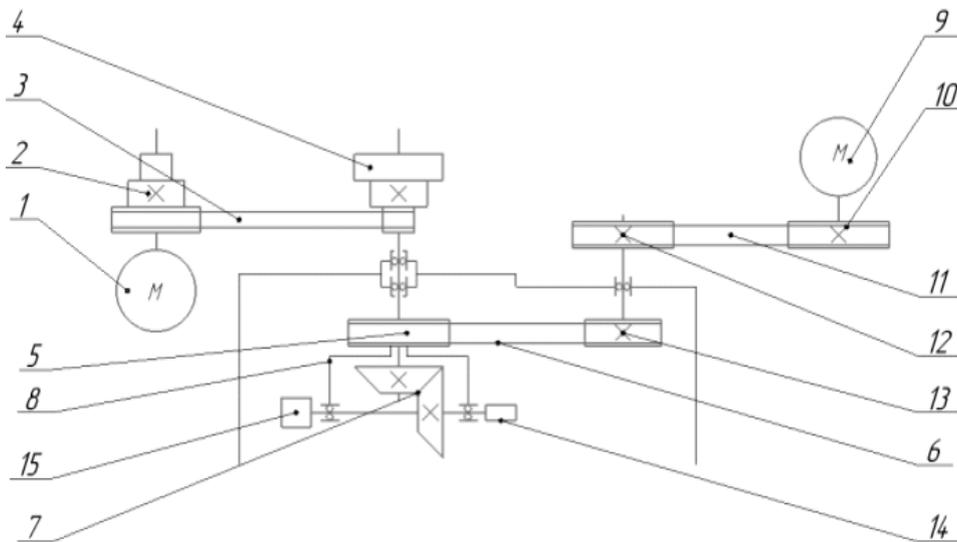


Рисунок 1 – Кинематическая схема двойного привода механизма резания

Для получения рациональных параметров механических приводов на стадии проектирования необходимо проводить работы с динамическим анализом проектируемого механизма.

Проходящие в элементах конструкции процессы достаточно точно возможно описать осуществляя динамический анализ при математическом моделировании, с существенным условием - решаемости.

Наиболее приемлемым в качестве математической модели механизма подставляется использование ряда масс с инерцией  $J$  связанных последовательно между собой связями с жесткостью  $C$ . К массам  $J$  причисляются детали и элементы привода, имеющие значительные инерционные характеристики (шкивы, звездочки, зубчатые колеса). А связями  $C$  принимаются детали, элементы и соединения с незначительными инерционными характеристиками и при этом значительной податливостью (приводные ремни, валы с низкой крутильной жесткостью и т.д.), кроме того соединения деталей машин (шпоночные, шлицевые, штифтовые соединения), и зацепления в передачах (зубчатые и червячные зацепления).

Два приводных контура привода механизма резания состоящих из двух двигателей, валов, ременных передач и конической передачи (рисунок.2 а, б) исходя из выше указанных допущений можно, достаточно адекватно, изобразить в виде пятимассового ряда с пятью связями и шестимассового ряда с шестью связями.

Количество элементов контура (деталей и элементов) привода имеющих значительные моменты инерции, определяет количество масс в цепи. К значительным инерционным элементам в данном контуре причисляем шкивы ременных передач и конические зубчатые колеса фрезерной головки. Валы со шпоночными соединениями, ремни и коническое зубчатое соединение причисляем к жесткостным элементам.

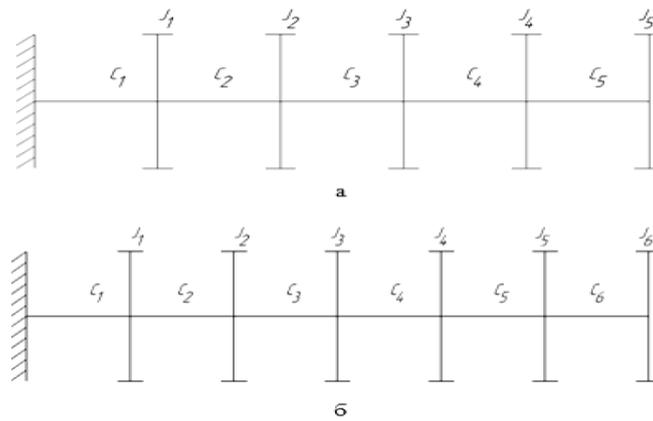


Рисунок 2 – Схема динамической модели: а – привода фрезы, б – привода фрезерной головки.

Значительно упрощая модель, но при этом не значительно искажая адекватность описания процессов характеристики двигателей принимаются  $Constanta$ , абсолютно жесткими и в модели изображены в виде жесткой заделки (рисунок. 2 а, б). Конкретные значения инерционных и жесткостных параметров деталей и элементов контуров привода определяется экспериментальным или расчетным методом.

Полученные результаты, динамические характеристики и математические модели дают возможность довольно точно оценить, действующие в системе привода резания, динамические нагрузки и динамические ошибки, и выбрать конструктивные параметры конкретного привода так, чтобы подогнать эти нагрузки к заданным пределам. Также уточняется возможность влияния параметров фрезерования на устойчивость модели от резонансных явлений.

#### Библиографический список

1. Вульфсон И.И. Краткий курс теории механических колебаний. М.: ВНТР, 2017. 241 с
2. Ванин В.А., Колодин А.Н., Однолько В.Г. Расчет и исследование динамических характеристик приводов металлорежущих станков. – Тамбов: ТГТУ, 2012. – 120 с.
3. Кочергин А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование. – Минск: Высшая школа, 1991. – 382 с.
4. Межов В.Г., Чумаков В.Ф. Метод оценки надежности динамических параметров при проектировании механических систем // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: материалы Всероссийской научно-практической конференции. СибГТУ. Красноярск, 2012. С. 25-26.
5. Кукушкин Е.В., Межов В.Г., Ушаков А.В. Конструкция деревообрабатывающего станда для шлифования древесных композитных плит // Автоматизированное проектирование в машиностроении: Материалы V международной заочной научно-практической конференции. – Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. – №5.. С. 21-23.

## СОЗДАНИЕ СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ И ПРИВОДОВ

**Хромовских В.А., Соседов Г.Ю.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Межов В.Г.**

*Сибирский государственный университет науки и технологий  
им. академика М.Ф. Решетнева,  
г. Красноярск, e-mail: hromovskikhviktoroya111@gmail.com*

На кафедре ОКМ СибГУ им. М.Ф. Решетнева на базе установки калибрования плит создан лабораторный стенд для исследования механизмов и электромеханических приводов. Исследование лабораторной установки направлено на изучение динамических параметров типовых механизмов приводов деревообрабатывающих станков.

Ключевые слова: привод, лабораторная установка, динамика, станок, механические передачи.

Важнейшие тенденции развития промышленности и станкостроения в частности - повышение точности, производительности и уровня автоматизации. Точность и производительность станков в значительной степени зависят от их надежности. Умение проводить исследования динамических параметров существующих и проектируемых механизмов и узлов позволяет оценить надежность, точность работы станка в целом и отдельных узлов.

На кафедре ОКМ СибГУ им. М.Ф. Решетнева на базе экспериментальной установки калибрования плит создана лабораторная установка (стенд) для исследования механизмов и электромеханических приводов деревообрабатывающих станков при проведении лабораторных работ студентами и экспериментальных работ аспирантами. Исследования проводимые на лабораторной установке направлены на изучение динамических параметров типовых механизмов приводов станков, получение и закрепление навыков по методологии проведения определения жесткостных и инерционных параметров элементов механического привода.

Развитие современного оборудования в том числе и станочного, ставит перед разработчиками много сложных проблем. Одна из них непосредственно возникает из тенденции к ускорению производственных процессов, что, в свою очередь, обуславливает повышение рабочих скоростей, рост динамических нагрузок и повышение уровня колебаний (вибраций) станков [1].

Конструкция экспериментальной установки (Рисунок 1) состоит из механизма подачи плиты и механизма резания который приводит в движение фрезу. В механизме резания фрезе придается сложное движение двойным приводом, один из которых от двигателя 1 через ременную передачу 2, 3, 4 с тройными шкивами 2, 4 разных диаметров и через коническую зубчатую передачу 7 вращает фрезу 14 и противовес 15 вокруг своей оси. Второй двига-

тель 9 механизма резания через две ременные передачи 10, 11, 12, 13, 6, 5 вращает всю фрезерную головку 8 вокруг своей оси таким образом, что фреза перемещается по кругу вдоль обрабатываемой поверхности располагаясь перпендикулярно к оси вращения головки.

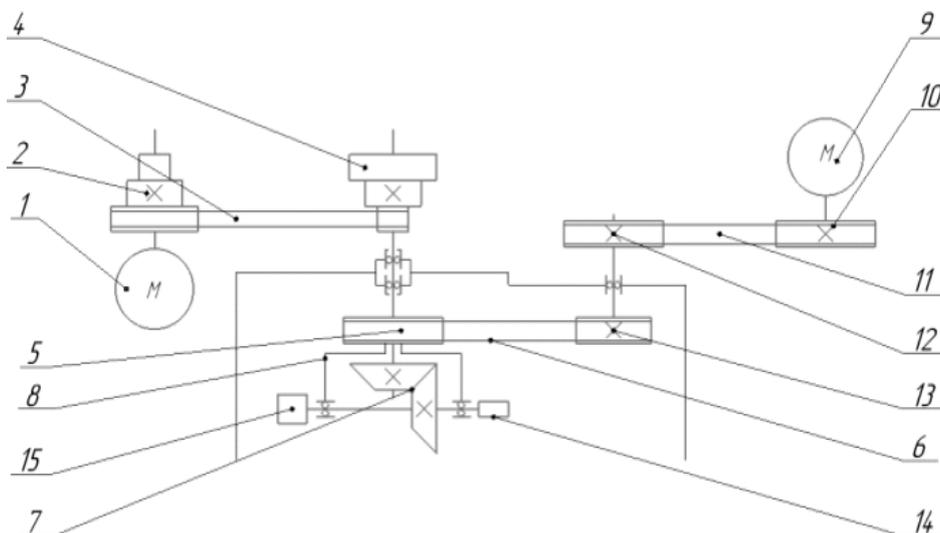


Рисунок 1 – Кинематическая схема привода механизма резания

Конструкция фрезерной головки (Рисунок 2) предусматривает установку противовеса (рисунок 2).

В ходе лабораторной работы учащиеся могут определять податливость различных элементов и соединений привода, таких как ременная передача, валы, шпоночные соединения, зубчатые передачи используя отработанные методики расчета по готовым чертежам или делая замеры деталей и составляя эскизы. Для определения инерционных параметров элементов привода, таких как шкивы, зубчатые колеса и др., также по чертежам или составляя эскизы самостоятельно учащиеся используют известные расчеты.

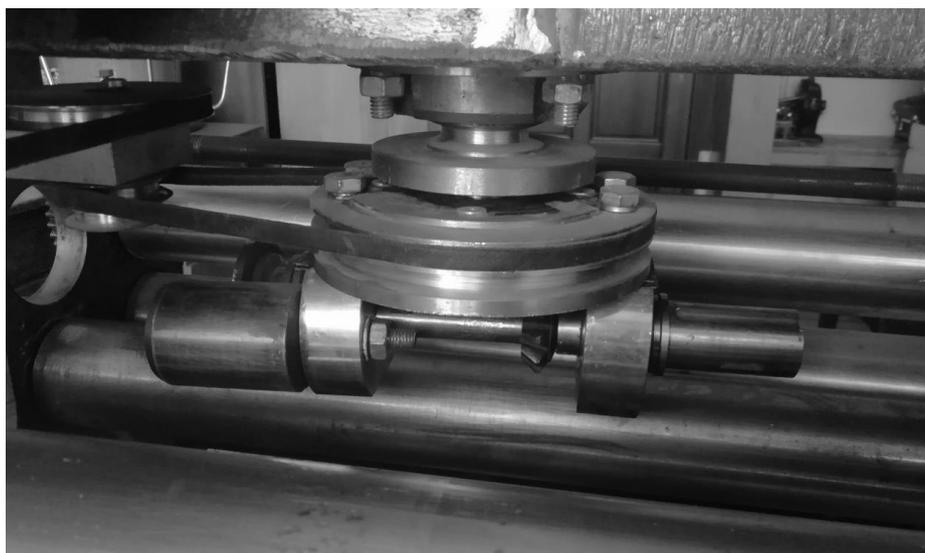


Рисунок 2 – Фрезерная головка механизма резания

Данный вид лабораторных исследований позволяет не только закрепить знания полученные при изучении таких дисциплин как теоретическая механика, теория механизмов и машин, детали машин других, обобщить их, но также позволяет получить опыт по анализу конструкторских решений, и в дальнейшем использовать свои знания для рационального проектирования с учетом динамических процессов.

#### Библиографический список

1. Вульфсон И.И. Краткий курс теории механических колебаний. М.: ВНТР, 2017. 241 с
2. Ванин В.А., Колодин А.Н., Однолько В.Г. Расчет и исследование динамических характеристик приводов металлорежущих станков. – Тамбов: ТГТУ, 2012. – 120 с.
3. Кочергин А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование. – Минск: Высшая школа, 1991. – 382 с.
4. Межов В.Г., Чумаков В.Ф. Метод оценки надежности динамических параметров при проектировании механических систем // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: материалы Всероссийской научно-практической конференции. СибГТУ. Красноярск, 2012. С. 25-26.
5. Кукушкин Е.В., Межов В.Г., Ушаков А.В. Конструкция деревообрабатывающего станда для шлифования древесных композитных плит // Автоматизированное проектирование в машиностроении: Материалы V международной заочной научно-практической конференции. – Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. – №5.. С. 21-23.

УДК 531.8

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ВЫТЯЖКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

**Камко К.Д.**

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Куклин С.А.,  
канд. техн. наук, доцент Адамович Н.О.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк*

Процесс вытяжки деталей является весьма распространенным способом изготовления изделий в самых разнообразных областях производства. Осуществление вытяжки требует анализа большого количества взаимосвязанных вопросов: определение размера заготовки и радиусов закруглений, оценка усилий вытяжки, обеспечение прочности. Рассматриваемые вопросы тесно связаны с конструкцией прессов и штампов. Несмотря на большое разнообразие кинематических схем прессов двойного действия осуществляющих вытяжку, процесс совершенствования конструкций продолжается. Ва-

риантов бесконечно много. В данной работе обосновывается необходимость создания интернет-моделей для подбора оптимальных вариантов конструкций прессов.

Ключевые слова: вытяжка, гофры, пресс двойного действия, циклограмма, усилие вытяжки, интернет-модель

В процессе вытяжки тонкого листа необходимо получить полое изделие (рисунок ).



Рисунок 1 – Пример вытяжки листовой заготовки

Вытяжка позволяет получить полые детали различной геометрической формы: осесимметричной, коробчатой, сложной несимметричной. Для любой формируемой детали нужны присущие ей характеристики: глубина детали, радиус закругления, площадь поверхности детали, толщина прессуемого листа. Дополнительные сложности возникают из-за неизбежного возникновения волн (гофров) по краям листа. Изготовить изделие возможно с помощью точно заданных режимов вытяжки: глубина, усилие прижатия, цикл нагружения. В свою очередь режимы напрямую зависят от конструкции пресса. В данной статье рассматриваются некоторые вопросы, требующие внимания при проектировании прессов.

Первая задача, решаемая при проектировании процесса вытяжки – это определение размеров листа (заготовки) по известным размерам изделия.

Рассмотрим вытяжку цилиндрической формы (рисунок 2).

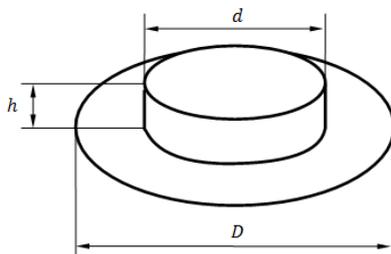


Рисунок 2 – К определению размеров заготовки

В тонкий лист толщиной  $s$  выполненный в форме диска диаметром  $D$  вдавливается пуансон в форме цилиндра диаметром  $d$  и вытягивает цилиндр с тем же диаметром  $d$  и высотой  $h$ .

Основным правилом для определения размеров заготовок при вытяжке является равенство объемов заготовки и готовой детали [1, 2]. Более того,

обычно пренебрегают изменением толщины листа, т.е. считается, что площадь кольцевой части равна площади боковой части ( $\pi \frac{D^2 - d^2}{4} = \pi dh$ ). Из равенства площадей вытекает формула

$$h = \frac{D^2 - d^2}{4d} \quad (1)$$

Исходя из формулы (1) можно оценить диаметр  $D$  заготовки.

В свою очередь диаметр заготовки влияет на выбор основных критериев вытяжки: коэффициента вытяжки  $m$  и относительной толщины листа  $\delta s$

$$m = \frac{d}{D} \quad (2)$$

$$\delta s = \frac{s}{D} 100\% \quad (3)$$

Рекомендуемые значения критериев зависят друг от друга и от материала. Например, для стали 08 при относительной толщине  $\delta s = 2\%$  коэффициент вытяжки на первом этапе не должен превышать  $m = 0,6$  [3].

Если коэффициент превышает критическое значение ( $m = 0,6$ ), то есть требуется более глубокая вытяжка, то ее осуществляют в несколько этапов при постепенном уменьшении диаметра пуансона (рисунок 1). Причем последующие этапы допускают более высокие коэффициенты вытяжки, вплоть до  $m = 0,9$ .

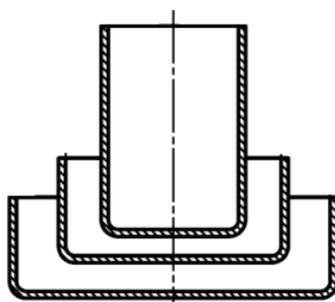


Рисунок 1 – Осуществление глубокой вытяжки

Процесс вытяжки начинается с пластической деформации в зоне «а» перехода фланца (кольцевой части) в цилиндрическую (рисунок 4).

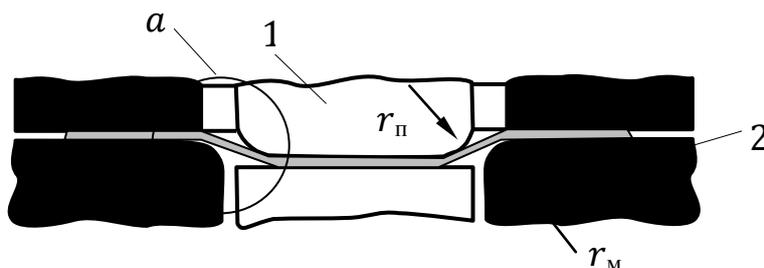


Рисунок 2 – Вытяжка с прижимом заготовки

Металл в зоне «а» растягивается, а толщина заготовки уменьшается. В местах изгиба возникает максимально высокая концентрация напряжений, т.е. может произойти разрыв листа. Для снижения концентрации напряжений радиусы закруглений рабочих кромок матрицы  $r_m$  и пуансона  $r_n$  не должны быть меньше некоторых рекомендуемых размеров [3].

Радиус кромки матрицы зависит только от относительной толщины

$$r_m = 15s(1 - 0,3\delta s) \quad (4)$$

Радиус кромки пуансона зависит только от относительной толщины для неглубоких вытяжек или на первом этапе вытяжки (таблица 1).

Таблица 1 – Радиус закругления кромок пуансона при первой вытяжке

$\delta s$	$<0,2$	$0,2 \dots 0,5$	$>0,5$
$r_n$	$2,2 r_m$	$1,52 r_m$	$r_m$

При поэтапной вытяжке радиус постепенно уменьшается и зависит от коэффициента вытяжки

$$r_n = \frac{d(m - 1)}{2m} \quad (5)$$

По мере погружения пуансона 1 тянущее усилие возрастает и наступает пластическая деформация дна заготовки. Далее наступает вторая стадия, которая заключается в пластической деформации фланца и втягивании его в матрицу 2.

Поскольку диаметр пуансона меньше диаметра заготовки при втягивании фланца одновременно происходит продольное сжатие. Растяжение участков фланца происходит под действием радиальных напряжений  $\sigma_r$ , сжатие создается окружными напряжениями  $\sigma_t$  (рисунок 5, а). Продольное сжатие приводит к потере устойчивости и образованию гофров (рисунок 3, б, рисунок 1).

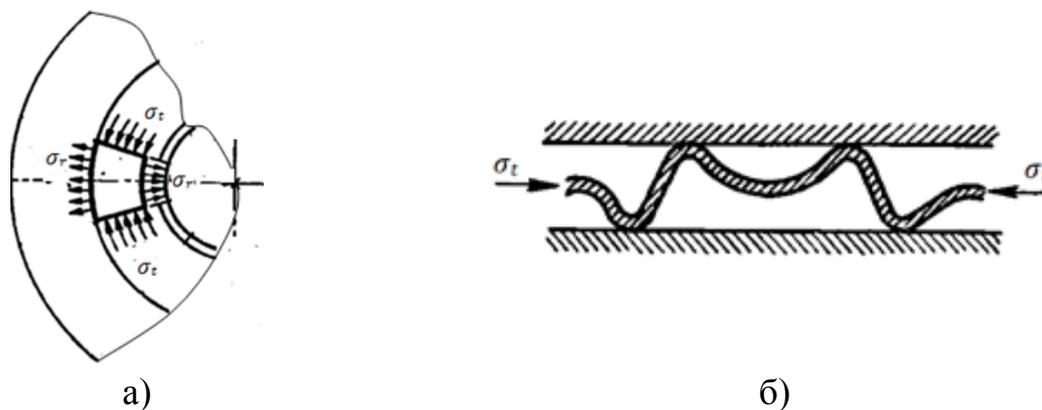


Рисунок 3 – Деформация элемента фланца (а) и схема образования гофров (б)

Для того, чтобы избежать образование гофров, особенно при глубокой вытяжке, необходимо осуществлять прижим листа. Согласованность операции вытяжки и прижима достигается за счет того, что обе операции выполняются одним и тем же механизмом – прессом двойного действия, рабочими органами которого являются наружный и внутренний ползуны. Длины звеньев прессы подбираются таким образом, чтобы наружный ползун прижал заготовку к матрице, затем внутренний ползун осуществляет непосредственно вытяжку (рисунок 6).

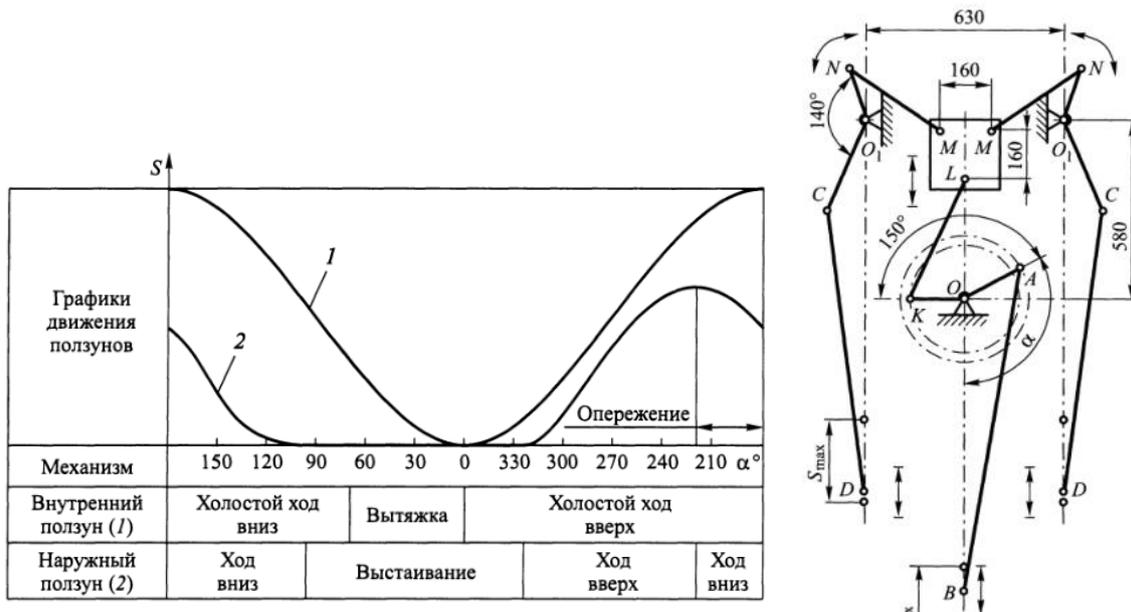


Рисунок 6 – Циклограмма вытяжного прессы двойного действия [Ошибка! Закладка не определена., С.26]

Максимальное усилие требуется примерно посередине рабочего хода внутреннего ползуна. На абсолютную величину усилия влияет толщина листа и материал. Например, при одних и тех же размерах для вытяжки алюминия требуется в три раза меньшее усилие, чем для стали и латуни (рисунок 7).

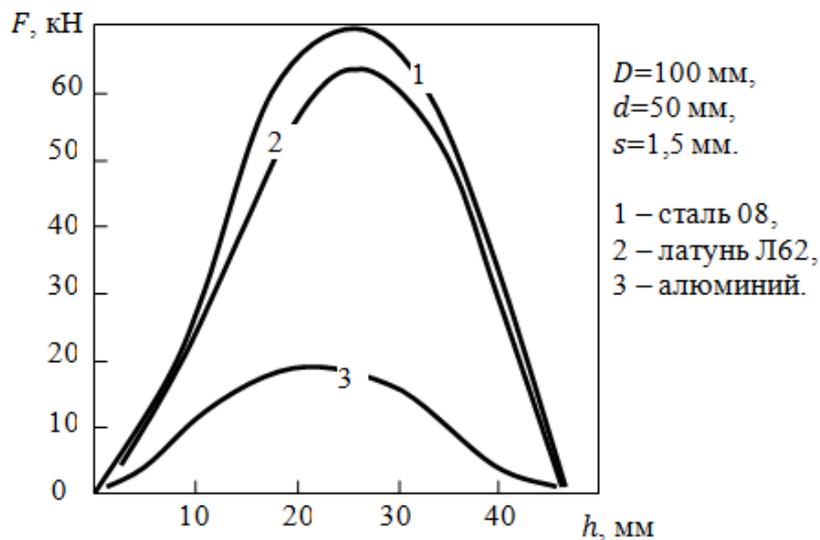


Рисунок 4 – Экспериментальные кривые усилия вытяжки [**Ошибка!  
Закладка не определена.**]

Из перечисленного видно, что к вытяжке предъявляется много сложно связанных между собой требований, соответственно конструкции прессов осуществляющих вытяжку отличаются повышенной сложностью (рисунок 8).

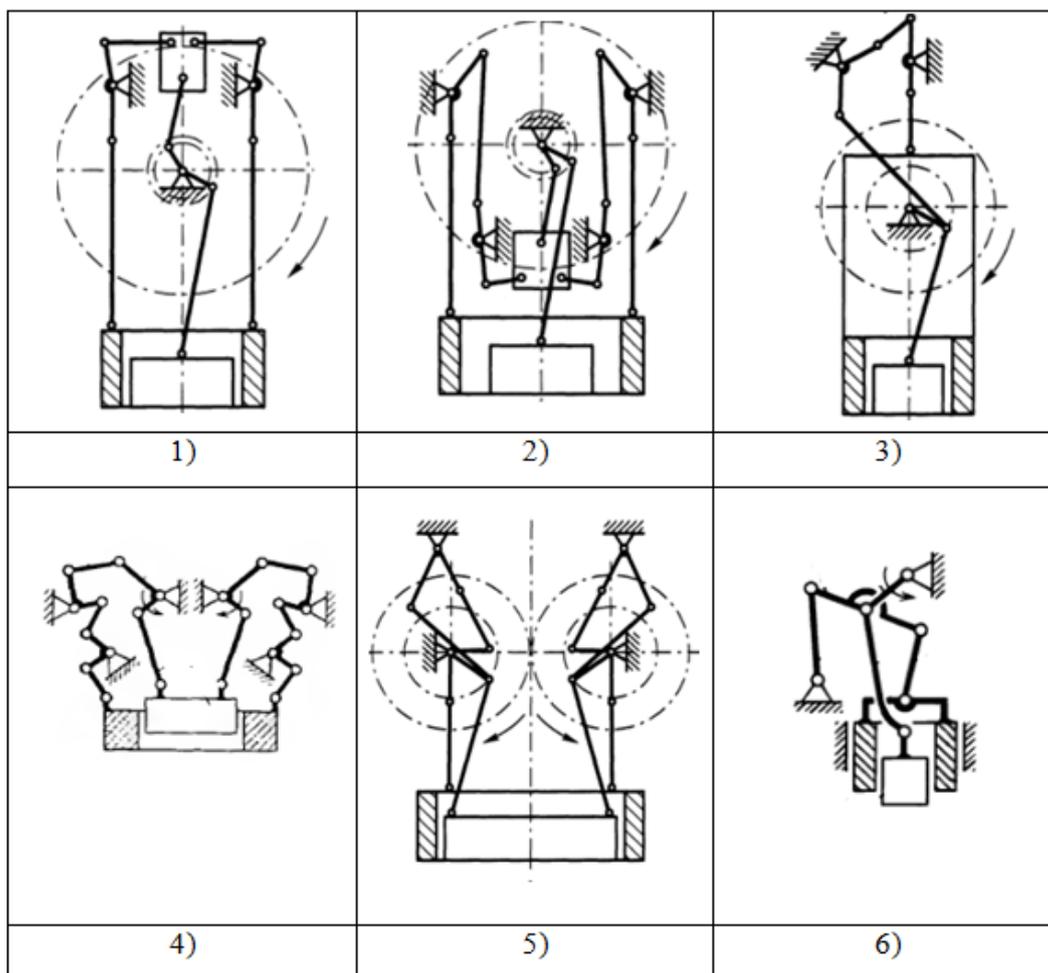


Рисунок 5 – Кинематические схемы прессов двойного действия [4, 5]

Длина каждого из звеньев влияет на работу пресса. Можно составить бесконечно большое количество комбинаций. Другими словами встает вопрос подбора наиболее оптимальных вариантов для вытяжки изделий или группы изделий заданной формы. Подбор вариантов можно осуществлять, используя компьютерные модели. Наиболее оптимальным выбором могут послужить интернет-модели, когда любой специалист, в любой точке мира может провести анализ работы механизма (перемещений, скоростей, ускорений ...) при заданном соотношении длин звеньев.

Анимацию модели одного из вариантов прессов двойного действия (№6, рисунок 8), с возможностью изменения длин звеньев можно посмотреть по адресу <https://www.geogebra.org/m/undzd5gg>. Представленная по данному адресу модель позволяет оценить ход ползунов (построить циклограмму) при разной длине звеньев и разным расположении опор.

### Библиографический список

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке /В.П. Романовский – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
2. Скрипачев А.В. Вытяжка листового материала : электрон. учеб.-метод. пособие / А.В. Скрипачев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016.
3. Кункин С.Н. Технологические методы листовой штамповки: Учебное пособие /С.Н. Кункин, А.В.Мамутов, В.С.Мамутов. - СПб, 2018. - 52 с.
4. Живов Л.И. Кузнечно-штамповочное оборудование: Учебник для вузов /Л.И.Живов , А.Г. Овчинников, Е.Н.Складчиков Под ред. Л.И. Живова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. - 560 с: ил.
5. Крайнев А.Ф. Словарь-справочник по механизмам / А.Ф.Крайнев. - 2-е изд., Москва: Машиностроение, 1987. – 560 с.

## **II ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ**

УДК 504.75

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ОТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ РАЙОННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

**Семичева И.Р.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Коротков С.Г.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: irs0809@mail.ru*

В работе рассмотрены источники выбросов загрязняющих веществ от промышленной площадки Южно-Кузбасской ГРЭС, с целью проведения инвентаризации источников выбросов и дальнейшей разработки проекта нормативов допустимых выбросов.

Ключевые слова: источники загрязнения атмосферного воздуха, загрязняющие вещества, котел, дымовые газы, очистка, неорганизованный источник.

Одним из важных экологических документов на предприятии является проект предельно допустимых выбросов (ПДВ) в атмосферный воздух. В нем отражена вся информация о предприятии в качестве загрязнителя атмосферного воздуха с приведенными качественными и количественными характеристиками.

Проект ПДВ - документ, в котором рассчитываются выбросы от стационарных источников предприятия. Разрабатывается с целью определения степени воздействия предприятия на окружающую среду и получения разрешения на выброс вредных (загрязняющих) веществ в атмосферу.

Отсутствие проекта для категории предприятий, для которых необходима разработка данного проекта, несет административную ответственность, огромные штрафы и приостановление деятельности предприятия.

Южно-Кузбасская ГРЭС - тепловая электростанция в г. Калтан, Кемеровской области, предназначена для покрытия базисных нагрузок Кузбасской энергосистемы. Первая в Сибири электростанция, где было начато освоение отечественного оборудования на высоких параметрах пара (90 Кгс/см<sup>2</sup>; 510°С) [1].

Проектным топливом является уголь, а для розжига используется мазут. Источником водоснабжения Южно-Кузбасской ГРЭС является водохранилище на реке Кондома, образованное изменением направления русла реки и строительством плотины, совмещенной с железнодорожным мостом. Гид-

роузел расположен в 44 км от устья реки. Водопользователем водохранилища является только ЮК ГРЭС [2].

На предприятии имеется 12 цехов, в которых располагаются основные источники загрязнения атмосферного воздуха.

К цеху топливоподачи относится открытый угольный склад максимальной ёмкостью 220 тысяч тонн с краном перегружателем, разгрузочное устройство, дробильный корпус и конвейерный тракт подачи угля. Уголь и промпродукт на склад площадью 18000 м<sup>2</sup> доставляется по железной дороге и автотранспортом. В процессе разгрузки и хранения угля происходит неорганизованное выделение пыли каменноугольной.

75 % от всего перегружаемого угля загружается на склад краном, 25% от всего перегружаемого угля погрузчиком загружается на транспортную ленту. В помещении разгрузки угля, дробления, узлах пересыпки аспирационных установок нет. Все ленточные конвейеры работают в закрытых галереях. Образующаяся при этом пыль каменноугольная удаляется гидросмывом.

В котельном цехе ЮК ГРЭС установлено 11 котлов типа ПК-10, проектная производительность которых составляет 230 т/час. Одновременно в зимний период могут работать 9 котлов (2 - в резерве), в летний период одновременно работают 6 котлов.

Основным видом топлива являются угли марок: ТМСШ, ТС и смесь данных углей с промпродуктом (при содержании промпродуктов в сжигаемом топливе до 40 %). Золошлакоудаление осуществляется мокрое.

Согласно технико-экономическим показателям работы ПАО «ЮК ГРЭС» годовой расход топлива (уголь + промпродукт) и растопочного мазута в целом на Южно-Кузбасской ГРЭС составляет соответственно 1 703 628,48 т/год и 3 231,69 т/год.

При сжигании топлива в котлах образуются следующие загрязняющие вещества: диоксид и оксид азота, сажа, серы диоксид, углерода оксид, бензапирен, зола твердого топлива и зола ТЭС мазутная.

На всех энергокотлах ПК-10 установлено пылеулавливающее оборудование. За котлами №№1,4,9,10 установлены мокрые золоуловители центробежного гравитационного типа Скруббера ВТИ с трубами Вентури. Проектная степень очистки 96,6 %. За котлами №№ 2,3,5,6,7,8,11 установлены золоулавливающие установки с Батарейными эмульгаторами II поколения. Проектная степень очистки 99,2 %.

Дымовые газы от каждого котла по двум газоходам поступают на очистку, где происходит улавливание твердых частиц золы, сажи и бензапирена. Очищенные дымовые газы от энергокотлов №№1,2,3,4,5,6 отводятся в дымовые трубы № 1 и № 2 высотой 100 м, диаметром 5,6 м; от энергокотлов №№ 7,8,9,10,11 отводятся в дымовую трубу № 3 высотой 100 м, диаметром 6 м.

Мазут на станцию поставляется в цистернах. Они устанавливаются на сливную эстакаду. При сливе по лоткам мазут поступает в приемные под-

земные мазутные баки № 1 и № 2 объемом по 100 м<sup>3</sup> каждый. Из них через фильтры мазут перекачивается в подземный бак № 3 - 100м<sup>3</sup> (расходный) или для хранения в наземные вертикальные баки № 4 и № 5 объемом по 840 м<sup>3</sup>. Каждый подземный мазутный бак оборудован паровым подогревом, что позволяет поддерживать необходимую температуру мазута. За год на предприятие поступает максимум 4000 тонн мазута (среднегодовое поступление составляет 3000 тонн). Во время слива и при хранении мазута происходит выделение предельных углеводородов и сероводорода.

Масло на станцию поставляется в автоцистернах. Масло хранится в 6 наземных вертикальных резервуарах объемом по 20 м<sup>3</sup>. За год на предприятие поступает до 82 тонн масла. Во время слива и при хранении масла происходит выделение паров масла минерального нефтяного.

На предприятии осуществляется зарядка кислотных аккумуляторных батарей. При зарядке аккумуляторов через вентиляционный короб выделяются пары серной кислоты (ИЗАВ № 0015).

В цехе механической мастерской работает кузнечный горн на угле. За год сжигается до 8 тонн угля. При эксплуатации кузницы в атмосферу без очистки выбрасываются оксид и диоксид азота, сернистый ангидрид, оксид углерода, бензапирен и пыль золы углей через дымовую трубу высотой 12 м. Склад угля (открыт с 2-х сторон) предназначен для разгрузки и хранения угля для работы кузнечного горна. Выбросы пыли каменноугольной осуществляются неорганизованно.

В мастерских установлены металлообрабатывающие станки, работающие с охлаждением

При работе металлообрабатывающих станков в атмосферу через короб вытяжного вентилятора выделяются эмульсол, оксид железа и пыль абразивная.

Ацетиленовая станция предназначена для выработки ацетилена для собственных нужд (сварка и резка). Выбросы ацетилена выводятся из здания станции через дефлектор.

В ремонтно-строительном цехе (РСЦ) имеется 7 деревообрабатывающих станков. Кроме того, имеется заточной станок для заточки станочных ножей. При деревообработке из столярного цеха в атмосферу без очистки через короб вытяжного вентилятора выбрасывается пыль древесная.

На балансе предприятия находится 2 единицы автотранспорта, которые размещаются на отдельных стоянках. При въезде/выезде на открытую стоянку, а также при проведении технического обслуживания образуются: диоксид азота, оксид азота, диоксида серы, оксид углерода, сажа, керосин. В атмосферу загрязняющие вещества поступают неорганизованно.

При ремонтных работах применяется сварка и резка металлов. Сварочные посты имеются в четырех подразделениях ЮК ГРЭС: в цехе топливоподачи, турбинном цехе, котельном цехе и химическом цехе. Виды сварки: ручная дуговая сварка чугуна и стали с использованием электродов; газовая

с использованием пропанбутановой смеси, газа-ацетилен; наплавка с использованием проволоки.

Выбросы загрязняющих веществ (железа оксид, марганца оксид, хром, пыль неорганическая: 70-20% двуокиси кремния, оксид углерода, диоксид и оксид азота, фториды, фтористые газообразные соединения, оксид никеля, оксид меди) осуществляются через короба вытяжных вентиляторов.

После определения источников и загрязняющих веществ, данные сведения используются для разработки проекта ПДВ.

#### Библиографический список

1. ПАО «Южно-кузбасская ГРЭС» [Электронный ресурс]// Информационный ресурс. URL: [http://www.mechel-energo.ru/power\\_division/predpriyatiya/southern\\_kuzbass\\_power\\_plant/](http://www.mechel-energo.ru/power_division/predpriyatiya/southern_kuzbass_power_plant/) (дата обращения 08.02.2022).
2. Проект нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от объектов Публичного акционерного общества «ЮК ГРЭС», Новокузнецк, 2018, 518с.

УДК 504.75

## **АНАЛИЗ РАСЧЕТА РАССЕЙВАНИЯ ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ОТ ЮЖНО-КУЗБАССКОЙ ГРЭС**

**Семичева И.Р.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Коротков С.Г.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: irs0809@mail.ru*

В работе проведен анализ расчета рассеивания приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе при сжигании угля в котлах Южно-Кузбасской ГРЭС, с целью выявления наибольших вкладчиков загрязнении атмосферного воздуха и проверки соответствия допустимых уровней загрязнения гигиеническим нормативам.

Ключевые слова: источники загрязнения атмосферного воздуха, дымовые трубы, рассеивание, приземные концентрации, загрязняющие вещества, предельно допустимая концентрация.

В соответствии с Конституцией Российской Федерации каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, каждый обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам, которые являются основой устойчивого развития, жизни и деятельности народов, проживающих на территории Российской Федерации [1].

В Кемеровской области расположено большое количество объектов

промышленности, которые оказывают антропогенное воздействие на окружающую среду. Вредные выбросы загрязняют атмосферу, воду, почвы, а также имеют пагубное влияние на здоровье и самочувствие граждан.

Главным экологическим документом на предприятии является проект предельно допустимых выбросов (ПДВ). В нем отражена вся информация о предприятии в качестве загрязнителя атмосферного воздуха с приведенными качественными и количественными характеристиками. В составе проекта проводится расчет рассеивания приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, образующихся от промышленного предприятия. Данный расчет необходим для доказательства соответствия (или несоответствия) санитарно-гигиенических критериев качества атмосферного воздуха от деятельности предприятия.

В котельном цехе Южно-Кузбасской ГРЭС установлено 11 котлов типа ПК-10, проектная производительность которых составляет 230 т/час. Одновременно в зимний период могут работать 9 котлов (2 - в резерве), в летний период одновременно работают 6 котлов.

Основным видом топлива являются угли марок: ТМСШ, ТС и смесь данных углей с промпродуктом.

В соответствии расчетной методикой определения выбросов [2] при сжигании угля в котлах образуются следующие загрязняющие вещества: диоксид и оксид азота, сажа, серы диоксид, углерода оксид, бензапирен и зола твердого топлива.

Образующаяся газозолевая смесь проходит очистку в Скрубберах ВТИ с трубами Вентури и батарейных эмульгаторами II поколения. Очищенные газы от энергокотлов отводятся в дымовые трубы № 1 (источник 0008) и № 2 (источник 0009) высотой 100 м, диаметром 5,6 м, а также в дымовую трубу № 3 (источник 0010) высотой 100 м, диаметром 6 м [2].

Расчет приземных массовых концентраций загрязняющих веществ в воздухе жилых районов города, создаваемых выбросами дымовых труб Южно-Кузбасской ГРЭС, выполнен на ПЭВМ по программе «ЭРА-Воздух» версия 2.5.

Климатические характеристики, коэффициент рельефа местности и фоновые концентрации района размещения Южно-Кузбасской ГРЭС приняты по письмам Кемеровского ЦГМС-филиала ФГБУ «Западно-Сибирского УГМС». Данные писем приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Метеорологические характеристики

Наименование характеристик	Величина
Коэффициент, зависящий от стратификации атмосферы, А	200
Коэффициент рельефа местности в городе	1.60
Средняя максимальная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца года, град.С	25.5
Средняя температура наружного воздуха наиболее холодного месяца, град С	-21.3

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристик	Величина
Среднегодовая роза ветров, %	
С	14.0
СВ	6.0
В	4.0
ЮВ	2.0
Ю	23.0
ЮЗ	40.0
З	7.0
СЗ	4.0
Среднегодовая скорость ветра, м/с	1.9
Скорость ветра, повторяемость превышения которой составляет 5 %, м/с	9.0

Таблица 2 – Фоновые концентрации района размещения предприятия

Код	Наименование ингредиента	Фоновая концентрация
0301	Диоксид азота	0,076 мг/м <sup>3</sup>
0330	Серы диоксид	0,018 мг/м <sup>3</sup>
0337	Углерода оксид	2,3 мг/м <sup>3</sup>
2902	Взвешенные вещества	0,260 мг/м <sup>3</sup>
0703	Бенз/а/пирен	5,6x10 <sup>-6</sup> мг/м <sup>3</sup>

Для контроля за соблюдением нормативов загрязнения атмосферного воздуха на ближайшей жилой застройке и границе санитарно-защитной зоны были выбраны расчётные точки с максимальной приземной концентрацией. Другие территории, к которым предъявляются повышенные экологические требования в районе расположения Южно-Кузбасской ГРЭС отсутствуют.

В соответствии с Приказ Минприроды России от 06.06.2017 N 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» [3] расчет уровней загрязнения выполнен по наиболее опасной скорости ветра, выбираемой ПЭВМ с помощью автоматического поиска опасной скорости ветра от 0,5 м/с до 13 м/с (U\*), и автоматического поиска опасного направления ветра от 0° до 360° для нахождения максимальных концентраций.

В соответствии с программой, ПЭВМ распечатывает в каждой узловой точке расчетного прямоугольника максимально возможную приземную массовую концентрацию в долях ПДК с указанием направлений и скорости ветра, при которых эта концентрация может иметь место, а также основных вкладчиков с указанием величины вклада в долях ПДК в данной точке.

Расчёты приземных массовых концентраций загрязняющих веществ, проведены в узловых точках расчётного прямоугольника, а также на границе

ориентировочной СЗЗ и исходя из условий максимальной нагрузки на котельный цех в зимний период (работа трех труб) и летний (работа двух труб).

По результатам оценки целесообразности расчётов выбросов от дымовых труб детальные расчеты рассеивания не проводятся для бензапирен и азота оксида (для летнего периода). Для остальных веществ, образующихся при сжигании топлива в котлах, расчет рассеивания проводится.

Согласно «Методическому пособию по расчёту, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух» [4], если расчётные величины приземных концентраций не превышают 0,1 ПДК на границе СЗЗ и в жилой зоне, то учёт фонового загрязнения рассматриваемого вещества не требуется. Таким образом, расчёт рассеивания загрязняющих веществ с учётом фоновых концентраций выполнялся для диоксида азота, диоксида серы, углерода оксида. Уровень расчётных максимальных приземных концентраций в долях ПДК в жилой зоне и на границе ориентировочной санитарно-защитной зоны с процентом вклада для зимнего и летнего периода приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Уровень расчётных максимальных приземных концентраций от дымовых труб

Код и наименование вещества	Расчетная максимальная приземная концентрация в долях ПДК		Источники, дающие наибольший вклад в макс. концентрацию в жилой зоне	
	в жилой зоне	на границе санитарно - защитной зоны	№ источника	% вклада
Зимний период				
0301 Азота диоксид	0.86392	0.86916	0010	45
			0009	31.2
			0008	19.9
0304 Азот (II) оксид	0.06402	0.06444	0010	45
			0009	31.2
			0008	19.9
0328 Углерод	0.23059	0.23114	0010	47.2
			0009	36
			0008	14.4
0330 Сера диоксид	0.273	0.27369	0010	46.4
			0009	32.4
			0008	20.6
0337 Углерода оксид	0.273	0.27369	0010	46.4
			0009	32.4
			0008	16.2

Продолжение таблицы 1

Код и наименование вещества	Расчетная максимальная приземная концентрация в долях ПДК		Источники, дающие наибольший вклад в макс. концентрацию в жилой зоне	
	в жилой зоне	на границе санитарно - защитной зоны	№ источника	% вклада
3714 Зола твердого топлива	0.75997	0.78111	0010	47.5
			0009	34.7
			0008	17.6
6204 Азота диоксид и Сера диоксид	0.71055	0.71428	0010	45.4
			0009	31.5
			0008	20.1
Летний период				
0301 Азота диоксид	0.65588	0.66075	0009	57
			0008	36.5
0328 Углерод	0.13143	0.13894	0009	66.5
			0008	25
0330 Сера диоксид	0.1593	0.15924	0009	60.2
			0008	38.7
0337 Углерода оксид	0.46614	0.46722	0009	8.7
			0008	3.6
Продолжение таблицы 3				
3714 Зола твердого топлива	0.42443	0.42989	0009	66.3
			0008	32.4
6204 Азота диоксид и Сера диоксид	0.48934	0.49197	0009	57.8
			0008	37

Из данной таблицы видно, что превышений согласно СанПиН 2.1.3.1032-01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест» [5] не выявлено (расчетная концентрация по всем компонентам < 1 ПДК).

Наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха от дымовых труб Южно-Кузбасской ГРЭС приходится на выбросы азота диоксида и золу твердого топлива.

Таким образом, на примере Южно-Кузбасской ГРЭС мною был произведен расчет рассеивания приземных концентраций загрязняющих веществ и сравнение полученных результатов с гигиеническими нормативами, которые соответствуют требованиям атмосферного воздуха для населения.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 09.03.2021) «Об

охране окружающей среды»//Собрание законодательства РФ.-2002.

2. Проект нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от объектов Публичного акционерного общества «ЮК ГРЭС», Новокузнецк, 2018, 518с.

3. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час, с учетом Методического письма НИИ Атмосфера № 335/33-07 от 17 мая 2000 г.

4. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (дополненное и переработанное). Санкт – Петербург, НИИ Атмосфера, 2012 г.

5. СанПиН 2.1.3.1032-01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест».

УДК 662.99

## **ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЮ**

**Гашникова А.О.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: gashnikova20172017@gmail.com*

В данной статье рассматриваются проблемы водородной энергетики и ее влияния на экологию: основные характеристики водорода, способы его получения, перспективы его использования в энергетике.

Ключевые слова: водородная энергетика, производство водорода, солнечный водород, экология.

В последнее время все чаще встречается понятие водородной энергетики, которой предсказывают большое будущее. Все это обусловлено тем, что средства массовой информации представляют водород как экологически чистое топливо.

Основной идеей использования данной технологии является стремление к декарбонизации атмосферного воздуха, другими словами, к снижению доли «парниковых» выбросов углекислого газа. Резкое снижение выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу, подразумеваемое Парижским соглашением, зависит от глобального перехода к «зелёной» энергетике. С каждым годом данное направление набирает все большее развитие. Для внедрения и развития этой технологии необходимо снижение себестоимости получения водорода и использование приемлемых решений для его транспортировки, хранения и использования.

Водород сам по себе является идеальным источником энергии и эколого-

гически чистым топливом. Теплота сгорания водорода составляет 1,17 ГДж/кг, что почти в три раза больше, чем у нефти, и в четыре раза больше, чем у каменного угля или природного газа. В 2018 году потребление водорода во всем мире составило около 74 млн. тонн. Чаще всего он применялся в нефтепереработке, химической промышленности и металлургии.

Водород является экологически чистым, так как при его использовании *образуется чистый водяной пар без вредных выбросов* в атмосферу.

Но, в основном, влияние водорода зависит от самого производственного процесса и от связанных с ним побочных продуктов. Допустим, доступный водород на рынке генерируется благодаря паровой конверсии природного газа, который, в свою очередь, является ископаемым топливом. Побочным продуктом природного газа является парниковый газ, выбросы которого могут привести к глобальному потеплению и изменению климата. Исходя из этого, водород, который образуется из ископаемого топлива, связан с глобальным потеплением также, как и прямое сжигание ископаемого топлива. Но, если рассмотреть с другой точки зрения, получение водорода с помощью возобновляемой энергии, таким, как солнечная энергия, можно сказать, что данная технология является экологически чистой во время циклов производства и сжигания.

Исходя из вышесказанного, следует отметить, что развитие и использование водородной экономики должно сопровождаться разработкой водорода, который является экологически чистым.

Далее отмечают несколько направлений, связанных с выработкой и использованием водорода. По способу производства водород классифицируют по цветам. По этой классификации существуют следующие виды:

1) «Зеленый» водород (безуглеродный) – электролиз с использованием возобновляемых источников энергии;

2) «Желтый» водород (безуглеродный) – электролиз с использованием атомных электростанций (АЭС);

3) «Бирюзовый» водород (малоуглеродный) – пиролиз природного газа (метана);

4) «Голубой» водород (среднеуглеродный) – паровая конверсия метана или угля с утилизацией CO<sub>2</sub>;

5) «Серый» водород (высокоуглеродный) – паровая конверсия метана с выбросом CO<sub>2</sub>;

6) «Бурый» водород (высокоуглеродный) – газификация или паровая конверсия угля.

Существует множество способов получения водорода, но не все способы являются экологически чистыми.

Один из экологичных способов производства связан с солнечной энергией. Под солнечной энергией понимают не только солнечное излучение, но и другие виды энергии, с которыми она связана, но не на прямую (ветровая энергия, гидравлическая энергия рек, энергия биомассы, энергия океана).

У солнечной энергии наблюдаются и свои недостатки. Она не настолько удобна для использования, как, например, бензин. К сожалению, использование солнечной энергии не может быть круглосуточным. Энергия солнечных лучей сильнее всего в тропиках и субтропиках, в то время как основные потребители сосредоточены в умеренных зонах. Энергия ветра наибольшая в полярных регионах и не столь велика в умеренных областях. То же самое можно сказать и о гидроэнергии, термальной энергии океанов, энергии волн, течений и приливов — в большинстве своем она наименее доступна в тех районах, где более всего нужна.

Существуют места, где в какое-то время и прямое, и не прямое воздействие солнечной энергии недоступно. В свою очередь необходим накопитель энергии, который будет действовать как связующее звено между солнечной энергией (прямой и не прямой) и потребителем.

Это связующее звено должно отвечать следующим условиям:

- 1) оно должно быть удобно в хранении и транспортировании;
- 2) это должно быть топливо, которое можно использовать на транспорте, в домах и промышленности;
- 3) оно должно отвечать требованиям экологической чистоты;
- 4) его ресурсы должны быть неограниченными.

Водород очень хорошо восполняет недостатки солнечной энергетики, и это соединение солнечного излучения и водорода называют солнечно-водородной энергетической системой. В ней водород производится с использованием солнечной энергии в ее прямой или косвенной форме. Затем он может переправляться по трубопроводам или в танкерах в районы потребления, где из него получают электроэнергию или сразу используют в качестве топлива. Традиционные топливные ресурсы успешно можно заменить водородом, получая при этом значительную выгоду и не ухудшая состояния окружающей среды.

Солнечная энергия не всегда и не везде доступна, поэтому солнечную энергию необходимо запасать в те моменты, когда ее много, чтобы использовать потом, когда она отсутствует. С помощью солнечной энергии экологически чистый водород можно производить четырьмя различными путями — прямым нагревом, термохимическим путем, электролизом и фотолизом.

Рассмотрим все эти способы получения.

1) *Прямой нагрев.* В данном методе водяной пар нагревают до 1400 °С или значительно выше, после чего молекулы воды подвергаются распаду, вследствие чего происходит образование газообразного водорода и кислорода. Чем выше температура, тем выше скорость распада молекул в паре. Для получения большого количества водорода нагрев необходимо проводить при температуре от 2500 до

3000 °С, что возможно при использовании параболических зеркал, фокусирующих солнечную энергию на контейнеры с водой.

2) *Термохимический метод*. Пар температурой от 300 до 1000 °С пропускают через железный порошок, что приводит к окислению железа кислородом и высвобождению связанного водорода.

3) *Электролитический метод*. Технология этого метода хорошо разработана. С ее помощью элементы, подобные автомобильным аккумуляторам, применяются для производства водорода и кислорода из воды.

4) *Фототипический метод*. В этом случае солнечное излучение применяется для прямого разложения воды на водород и кислород. Молекулы воды поглощают мельчайшие частицы, из которых состоят солнечные лучи - фотоны. Захватив много этих частиц, молекула распадается на водород и кислород. Данный метод получения водорода не очень эффективен, хотя он дешевле, чем остальные методы.

Исходя из всего вышесказанного следует отметить, что водород является экологически чистым посредником в использовании солнечной энергии. Сама взаимосвязь описывается следующим образом: используя солнечную энергию (прямую и непрямую), получают электроэнергию. Далее, применяя электроэнергию в электролизных установках, из воды получают водород - новое экологически чистое топливо - и кислород, который может быть выпущен в атмосферу или как-нибудь использован. Потом с помощью танкеров или трубопроводов водород отправляют в центры потребления. Там водород будет сожжен в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания вместо бензина и дизельного топлива или использован в топливных элементах для получения механической, электрической и тепловой энергии. Конечным продуктом всех этих процессов будет вода. В перспективе солнечно-водородные системы должны обеспечить человечество экологически чистой энергией.

Отметим еще один интересный способ получения водорода, а именно, при помощи бактерий. Данная методика происходит по схеме фотосинтеза: солнечный свет поглощается сине-зелеными водорослями, которые довольно быстро растут. Эти водоросли могли бы служить пищей для некоторых бактерий, в процессе жизнедеятельности выделяющих из воды водород. Исследования, которые были проведены с разными видами бактерий, показали, что всю энергетику города с миллионным населением может обеспечить водород, выделенный бактериями, питающимися сине-зелеными водорослями на плантации площадью около 18 км<sup>2</sup>.

Приведём расчет количества людей, которых может обеспечить водородной энергией данный способ:

Площадь мирового океана составляет порядка 361 100 000 000 км<sup>2</sup>, где процент водорослей в нём составляет около 0,01 процента.

Исходя из этих данных можно определить, какое количество водорослей находится в мировом океане:  $361100000000 \cdot 0,0001 = 361000 \text{ км}^2$ .

При среднем расходе на один миллион человек в 18 км<sup>2</sup> площади водо-

рослей определим количество равных частей, на которые можно разделить запасы водорослей на каждый миллион человек  $361000/18 = 2006$ .

И теперь, зная количество равных частей, приходящиеся на каждый миллион населения, мы можем определить количество людей, которых может обеспечить водородной энергией цикл экологически чистого получения водорода с помощью бактерий:  $2006 \cdot 1000000 = 2,000,000,000$ .

Именно такое количество людей энергией может обеспечить данный цикл. Данный метод является также экологически чистым и мог бы принести огромную пользу энергетическому комплексу.

#### Библиографический список

1. Энергетика 2.0 и «Водородная долина» России [Электронный ресурс]: сайт.– Режим доступа: <https://topwar.ru/179612-jenergetika-20-i-vodorodnaja-dolina-rossii.html> /, свободный (дата обращения: 07.11.2021)
2. Прорыв в производстве водорода из энергии Солнца [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <https://hightech.plus/2020/01/22/proriv-v-proizvodstve-vodoroda-iz-energii-solnca> , (дата обращения: 07.11.2021).
3. Ученые нашли в Мировом океане 195728 видов вирусов [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2019/04/26/somany-viruses/> /, свободный (дата обращения: 07.11.2021).
4. Водородная энергетика: что это такое и почему за ней будущее [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://nat-geo.ru/science/vodorodnaya-energetika-cto-eto-takoe-i-pochemu-za-nej-budushee/> (дата обращения: 07.11.2021).

УДК 620.95

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В КУЗБАССЕ

**Гашникова А.О., Волченкова О.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: gashnikova20172017@gmail.com*

В данной статье рассматриваются перспективы использования альтернативных источников энергии в Кузбассе: введение и применение данных источников энергии, описаны основные составляющие, рассмотрены перспективы их использования.

Ключевые слова: гидроэлектростанция, альтернативные источники энергии, гидроузел, Горная Шория, цены на электроэнергию, энергетический кризис, возобновляемая энергетика, малая и микроэнергетика.

В настоящее время все чаще встречается термин-альтернативные источники энергии. Под альтернативной энергией понимают энергию, которую можно получить с помощью окружающей среды. Важно отметить, что ресурс этой энергии является неисчерпаемым, ведь энергия может изменять свою форму и накапливаться. Данный термин встречается во многих странах мира, так как использованию альтернативных источников энергии уделяется особое внимание. Термин широко распространен и в Кемеровской области.

Сами по себе источники энергии делятся на: солнечную, ветровую, энергию внутреннего тепла Земли (в том числе геотермальную), тепловую энергию океанов, энергию приливов и отливов. В Кузбассе солнечная и ветровая энергия ограничены по сравнению с другими регионами Российской Федерации. В то же время имеются значительные запасы биомассы и неплохой потенциал малой гидроэнергетики – свыше 100 рек.

Потенциал таких источников энергии, как солнце и ветер существенно зависит от района области, поскольку условия по ее территории, как отмечалось, резко отличаются. Энергия ветра также сильно зависит от района области, ее территория далеко не целиком пригодна для развития ветроэнергетики. Наиболее благоприятные районы – это северная и выборочно центральная части области, а также Горная Шория на юге, в Таштагольском районе. При скоростях ветра, наиболее часто повторяющихся в этих районах, вполне возможно использование источников малой и средней мощности.

Однако из-за метеозависимости такие источники энергии, как ветер и солнце, являются ненадежными, что наглядно продемонстрировала текущая ситуация в европейских странах. Главным образом, энергетический кризис в Европе спровоцирован зависимостью от окружающей среды.

В 2020 году доля солнечно-ветровой генерации электроэнергии в Европе достигла 19,1 %, в США – 11,2 %, в Японии – 10,7 %, в Китае – 9,6 %. И как только погодные условия отклонились от своей десятилетней нормы, это мгновенно вызвало энергетический кризис в этих странах.

Казалось бы, это разовая погодная аномалия, которая бывает раз в 100 лет, и больше никогда этого на нашем веку не повторится.

Но, как мы видим, последствия той зимы таковы, что ситуация с энергетическим кризисом только усугубляется. Несмотря на рекордный ввод в 2020 году установленных мощностей солнечной (126 ГВт) и ветровой (112 ГВт) энергетик, их общая выработка упала на 12% из-за особенностей установившейся погоды.

Как сообщает французская аналитическая компания ICIS, в Великобритании мегаватт-час электроэнергии за последние полтора месяца подорожал втрое, а за год - почти в семь раз. Сегодня он стоит 331 евро - таких цен не было с прошлого века. В других странах Европы цены тоже растут, хоть и не такими бешеными темпами: например, в Германии мегаватт-час за месяц подорожал на 30 %. И главная причина роста цен - европейцев подвела возобновляемая энергетика. Вот уже несколько недель ветряные электро-

станции в Северном море практически бездействуют: не дует! А заодно и солнечные электростанции стали вырабатывать меньше энергии - пришла осень и небо затянуло облаками.

- К сожалению, решения о структуре энергетического баланса принимают люди, которые в этом ничего не понимают. Это касается большинства стран мира, в том числе Европейского союза, - констатирует Рустам Танкаев, член комитета по энергетической стратегии и развитию ТЭК Торгово-промышленной палаты России. - Специалисты давно рассчитали, что доля метеозависимых возобновляемых источников энергии (солнечная и ветряная генерация, - Ред.) в энергетическом балансе страны не должна превышать 10 %. Иначе риски становятся очень высокими, ведь человечество не умеет управлять климатом. Но европейские политики в своем стремлении к энергетической независимости довели долю солнечной и ветроэнергетики в своем балансе до 20 %. И тем самым выкопали себе яму.

Гидроэнергетика же, напротив, достаточно перспективна. Как отмечалось, в Кузбассе более ста средних и малых рек, помимо основной и самой крупной реки Томь. Общий объем поверхностного стока рек области составляет около 40,3 км<sup>3</sup> /год. Гидроэнергетический потенциал может подвергаться изменениям в зависимости от сезона или месяца. Кемеровская область имеет перспективу для развития малой и микрогидроэнергетики, так как в нашей области имеется опыт в этом направлении. Опыт заключается в использовании равнинных малых гидроэлектростанций. Наибольшей перспективой обладает использование установок микрогидроэнергетики (мощностью до 100 кВт) в горных районах Кемеровской области, что экономически является верным, так как малая гидроэнергетика важна для отдаленных, труднодоступных и изолированных энергодефицитных районов, которые не подключены к Единой энергетической системе, а также для локального электроснабжения небольших городов и поселений.

Строительство МГЭС дольше, и обходится дороже, чем ветро- и солнечные электростанции. Это связано с более длительными изысканиями, процессом проектирования и строительства, а также созданием нетипового уникального оборудования практически для каждой гидроэлектростанции.

Вместе с тем ГЭС имеет значительно превышающие другие виды установок, использующих ВИЭ, показатели, такие, как КПД, КИУМ (коэффициент использования установленной мощности) и срок службы. Нормативный КИУМ ГЭС составляет 38 %, ВЭС – 27 %, СЭС – 14 %. Сооружения и оборудование ГЭС можно эксплуатировать 50-40 лет, что в 3-4 раза дольше, чем срок службы фотоэлектрических модулей и оборудования ВЭС.

Малые гидроэлектростанции (ГЭС) отличаются экологичностью, более щадящим отношением к окружающей среде, а также дополнительными преимуществами, например, возможностью монтажа, накопления и последующего использования воды питьевых кондиций. Благоприятными условиями для

эффективного функционирования мини- и микро-ГЭС обладают территории с контрастным рельефом, отличающиеся повышенным перепадом высот.

Для Кемеровской области — это в первую очередь район Горной Шории и все прилегающие к нему территории, где реки имеют типично горный или близкий к нему характер и большие скорости течения. На данный момент примерно в 40 деревнях Горной Шории нет постоянного электрообеспечения.

Современные ГЭС довольно разнообразны и могут вырабатывать электроэнергию индивидуальными погружными агрегатами, оборудованными турбиной и генератором.

По мощности ГЭС классифицируются:

- микро-ГЭС - мощностью до 100 кВт;
- мини ГЭС - мощностью от 100 до 500кВт;
- малые гидроэлектростанции - мощностью от 500 и до 10МВт;
- средние гидроэлектростанции - мощностью от 10 до 1000 МВт;
- крупные гидроэлектростанции - мощностью выше 1000 МВт.

В настоящее время имеется успешный опыт эксплуатации оборудования с использованием существующих плотин, каналов, систем водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий и объектов городского хозяйства, очистных сооружений, оросительных систем и питьевых водоводов.

Перспективным является направление упрощения конструкции микро- и мини-ГЭС, прежде всего, за счёт использования нерегулируемых гидротурбин, а стабилизацию генерируемой электроэнергии осуществлять, используя статические полупроводниковые регуляторы.

Фактором, препятствующим освоению гидроэнергетического потенциала, является слабая изученность гидрологических характеристик малых и средних рек области на значительной их протяженности, отсутствие данных непосредственных измерений стоков воды и скоростей течений.

Одним из перспективных решений внедрения гидроэлектростанций является достройка Крапивинской ГЭС. Крапивинская ГЭС является недостроенной гидроэлектростанцией на реке Томь в Кемеровской области, она находится у посёлка Зеленогорский Крапивинского района. Строительство самой гидроэлектростанции началось в 1976 году, но было остановлено в 1989 году. Спустя столь длительное время строительство данной электростанции все же планируется. Сооружения Крапивинского гидроузла находятся на балансе Федерального государственного водохозяйственного учреждения «Верхне-Обьрегионводхоз», который находится в подчинении Федерального агентства водных ресурсов.

В августе 2021 года прошли общественные слушания по вопросам достройки гидроэлектростанции. Компания En+ планирует инвестировать в достройку станции 20 млрд. рублей и ввести ее в эксплуатацию в 2026-2027 г.

Крапивинская ГЭС имеет проектную мощность — 300 МВт, среднего-

довая выработка — 1895 млн. кВт·ч. По сооружениям станции запланировано создание автодорожного перехода.

Данный инвестиционный проект предполагает введение альтернативной энергии - вода, который помимо сохранения экологии может привести к экономическому росту региона и компании инвестора.

Исходя из этих данных, можно выделить следующее:

Расчётная мощность данной станции будет составлять 345 МВт/ч. На сегодняшний день средняя цена кВт/ч энергии в регионе (в Кузбассе) составляет 3,7руб., а инвестиционная компания при своих подсчетах определила сумму достройки данной ГЭС - 20 млрд. рублей.

Расчёт срока окупаемости инвестиционного проекта:

- 1)  $345000 \cdot 3,7 = 1276500$  руб. - доход за день работы ГЭС;
- 2)  $1276500 \cdot 24 \cdot 365 = 11,1$  млрд. руб. - за год работы ГЭС.
- 3) Рассчитываем срок, когда окупится данный проект:  
 $20 \text{ млрд.} / 11,1 \text{ млрд.} = 1,7$  лет.

Крапивинский гидроузел спроектирован, в первую очередь, для целей водоснабжения и улучшения качества воды в реке Томь, сильно загрязнённой промышленными стоками, с попутной выработкой электроэнергии.

Задачи, которые призван решить Крапивинский гидроузел:

- 1) Повысить качество воды в реке Томь, особенно в маловодные периоды;
- 2) Создать устойчивое водоснабжение населения, промышленности и сельского хозяйства Кемеровской и Томской областей в межсезонные периоды, особенно в маловодные годы, уменьшить объёмы вторичного использования речной воды и долю безвозвратного отбора воды из реки Томи в критические для реки гидрологические периоды;

3) Защитить население, снабжаемое пресной водой из р. Томи, от пиковых загрязнений, возникающих при залповых сбросах вредных веществ в верхнем течении;

4) Снизить в нижнем течении вплоть до Томской области ущерб от наводнений;

5) Обеспечить выработку 1,9 млрд. кВт·ч в год возобновляемой электроэнергии;

6) Восстановить утраченное судоходное значение Томи и обеспечить возможность её использования в качестве транспортной артерии;

7) Создать на берегах водохранилища организованную зону отдыха населения.

На данный момент проект «Крапивинская ГЭС» имеет и свою негативную сторону. Он критикуется за возможные значительные площади затопления земель. Отмечается возможность изменения микроклимата, режима реки ниже водохранилища, сокращение ареалов произрастания ряда редких растений. Также выдвигаются предположения об ухудшении качества воды в водохранилище и реке Томь.

Но мы считаем, что введение данной гидроэлектростанции может улучшить многие аспекты жизни, которые были описаны ранее.

#### Библиографический список

1. Альтернативные источники энергии [Электронный ресурс]: сайт.– Режим доступа: <https://alter220.ru/news/alternativnyye-istochniki-energii.html> /, свободный (дата обращения: 27.10.2021).

2. Альтернативные источники энергии: виды и использование [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <https://www.irb.basnet.by/ru/alternativnyye-istochniki-energii-vidy-i-ispolzovanie/> , (дата обращения: 27.10.2021).

3. В Кузбассе решают судьбу недостроенного Крапивинского гидроузла [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://rg.ru/2019/01/17/reg-sibfo/v-kuzbasse-reshat-sudbu-nedostroennogo-krapivinskogo-gidrouzla.html> /, свободный (дата обращения: 28.10.2021).

4. En+ оценивает инвестиции в достройку Крапивинской ГЭС [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/5018846> свободный (дата обращения: 28.10.2021).

5) Энергетический кризис всё больше распространяется по миру. [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/dbk/energeticheskii-krizis-vse-bolshe-rasprostraniatsia-po-miru-evropa-angliia-ssha-kitai-popolnit-li-etot-spisok-rossiia-6169697b1122cb3882d92252/>, свободный (дата обращения: 28.10.2021).

УДК 004.9:658.345.8

## МОТИВАЦИЯ РАБОТНИКОВ НА БЕЗОПАСНЫЙ ТРУД

Гашникова А.О.

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: gashnikova20172017@gmail.com*

В данной статье рассматриваются вопросы мотивации работников на безопасный труд: определены основные проблемы нарушений по охране труда, пути исправления поведения работников работодателем, описаны основные принципы безопасности, кривая Брэдли, а также показаны значение и важность культуры безопасности.

Ключевые слова: охрана труда, культура безопасности, безопасный труд, правильные привычки, мотивация работников.

Перед тем, как начинать мотивировать работников на безопасный труд, необходимо рассмотреть основные случаи нарушений. Опасное пове-

дение работников вытекает из четырех отрицаний:

1) *Одним из них является понятие «не умеет», либо не владеет необходимыми для работы знаниями, специальными методами, приемами, навыками или не способен усвоить и запомнить их;*

2) *Далее следует понятие «не может», либо испытывает недомогание, усталость, стресс, боязнь, эмоционально неустойчив, импульсивен или рассеян, пьян, физически слаб, плохо видит или слышит;*

3) *Существует вариант «не обеспечен», под которым понимают отсутствие инструментов, материалов, средств защиты, соответствующих санитарно-гигиеническим требованиям условий, информации об опасностях для жизни и здоровья;*

4) *Преобладает понятие «не хочет», в данном случае работник недобросовестен, безответственен, недисциплинирован, пассивен, любит рисковать или мотивирован нарушать правила.*

Чтобы добиться от работников безопасного поведения на производстве, обязательно нужно исключить четыре этих фактора.

Безопасность труда напрямую связана с отношением работника к соблюдению тех или иных правил. Ранее действовал принцип «старой школы», смысл которой заключался в следующем: успехи поощрялись, промахи карались. Но в современных реалиях мотивация направлена на создание положительных подходов, которые не формируют страх у работника быть пойманными в нарушении, а побуждают его взаимодействовать с руководством и совместными усилиями повышать культуру охраны труда на производстве.

В свою очередь, под мотивацией труда понимают совокупность внешних и внутренних стимулов, которые направляют работника достигать определенную цель. Ведь каждая компания заинтересована в том, чтобы персонал стремился к высоким результатам работы, проявлял профессионализм, внимательность, ответственность - в целом осознанно подходил к своему труду.

Ранее существовала такая система как штрафы (а в каких-то фирмах и по сей день) - частое явление мотивации. Но, несмотря на существование законодательного запрета, штрафование происходит через сокращение или полное лишение премии. Однако это один из самых малодейственных способов, так как вряд ли работник станет говорить о проблемах на производстве, ведь это может привести к уменьшению заработной платы.

Современные методы повышения охраны труда и промышленной безопасности в мире неразрывно связаны с вводом такой системы, как DSS Bradley Curve, схема которой представлена на рисунке 1.

*Суть данной системы заключается в том, чтобы наглядно показать градацию зависимости производительности от уровня развития культуры охраны труда в компании.*

На рисунке видно, что самый высокий уровень травматизма и самая низкая производительность на первом этапе, где управление отсутствует. Люди сами решают, как им действовать, основываясь на своем опыте.

На втором этапе безопасность становится важным элементом организации. Управление в виде надзора. Появляется обучение, процедуры наказания. На этом уровне применяется расследование инцидентов и принимаются меры по их недопущению, работают системы для контроля опасностей и рисков.



Рисунок 1 - Кривая Брэдли

Третий этап – «предупреждающий» или «независимый», когда безопасное поведение людей определяется их собственным сознанием, заботой о своем здоровье и безопасности. Его принцип: «Мы выявляем и работаем над проблемами, которые еще встречаются».

Четвертый этап и самый высокий уровень развития культуры охраны труда – «побуждающий» («взаимозависимый»), прогрессивный, где применяется командная организация работы. Безопасное поведение основано на общих целях и ценностях, заботе о других членах команды.

Четвертая ступень является кульминацией развития системы взаимоотношения работника и работодателя с точки зрения охраны труда, где каждый понимает ответственность за свое рабочее место, за свою жизнь и жизнь своих коллег, и для достижения таких показателей культуры безопасности предлагается ряд мероприятий, таких как:

1) Необходимо показать свою нацеленность на безопасность:

Руководство исправит поведение работников, если начнет с себя. Нередко, глава компании поддерживает инициативы по развитию культуры безопасности, но при этом сам остается в стороне. А когда поднимается вопрос о затратах, проекты так и остаются проектами. Тем самым все руководители от высшего до линейного уровня должны показывать другим пример для подражания. То, как поступают руководители, с чем они мирятся и на чем настаивают, определяет норму поведения работников. Если начальник цеха не надевает каску в производственном помещении, то через некоторое время все работники цеха будут пренебрегать необходимыми средствами

защиты.

2) Нужно оценить опасное поведение работников:

Наблюдение можно провести двумя способами. Первый заключается в режиме реального поведения, которое можно наблюдать на территории предприятия, и для потенциального – его называют профилем безопасности. Руководство должно показывать приверженность требованиям охраны труда. Поведенческие привычки в работоспособном возрасте уже сформированы. Изменить их или трудно, или невозможно. Но современная психология позволяет оценить персональный профиль по фактору отношения к безопасности и получить представление о сильных и слабых сторонах.

При получении этих результатов строят индивидуальные обучающие программы, вводят кадровые решения и формируют бригады из наиболее подходящих друг другу сотрудников. Скорректировать профиль безопасности работника позволит высокий уровень культуры безопасности. Он складывается из приверженности менеджмента, коммуникаций, вовлеченности сотрудников, обучения или информирования, мотивации и самообучаемости. Чем хуже ситуация с профилем безопасности сотрудников, тем выше должны быть требования к уровню культуры безопасности в организации.

3) Необходимо развивать культуру безопасности:

Для этого руководству необходимо взять на себя определенные обязательства. Сравните время, деньги и человеческие ресурсы, которые выделяют на поддержку безопасности, с производственными и финансовыми показателями. Результат покажет уровень мотивации здоровья и безопасности в организации.

Эффективные менеджеры должны подавать пример работникам. Приверженность безопасности подтверждают реальными действиями.

Например, регулярными визитами руководителя в цех, остановкой производства для решения проблем. Если таких действий нет, работники будут убеждены, что работодатель ставит выше всего коммерческие интересы. Любые инициативы работодателя в таком случае работники будут воспринимать как циничные. Вопросы о здоровье и безопасности сделайте частью повседневных рабочих бесед. Руководство должно активно слушать и воспринимать всерьез, что говорят сотрудники.

Дайте работникам возможность участвовать в мероприятиях по безопасности, чтобы использовать знания, которыми они обладают.

4) Работайте с персоналом:

Налаженные коммуникации между руководством и персоналом предприятия создают атмосферу доверия. Это важно для культуры безопасности. Ведь работник, который не доверяет руководителю, не станет информировать его о происшествиях и проблемах в безопасности.

Есть два вида коммуникации: односторонняя и двусторонняя. Используйте оба вида, чтобы сформировать безопасное поведение работников.

Сотрудникам, которые развивают коммуникации в компании, нужно

уметь убеждать, вызывать доверие у работников и обладать качествами лидера. Управленческие навыки понадобятся линейным руководителям, чтобы выводить работников на диалог. Убедите их проводить инструктаж на рабочем месте не по методу «начальник говорит, а подчиненный молчит».

5) Необходимо поддерживать культуру безопасности:

Демонстрируйте высокие стандарты безопасности при контактах с сотрудниками, начиная от размещения вакансии и интервью с кандидатом и заканчивая увольнением. Любой новый сотрудник должен знать, что вопросы безопасности на предприятии важнее всего.

Руководитель должен поощрять каждый факт остановки производства, которое угрожает жизни и здоровью работников, даже если тревога была ложной.

Количество нарушений охраны труда, напрямую зависит от количества несчастных случаев на предприятии. Поэтому основанная польза заключается в следующем:

- снижается количество несчастных случаев;
- снижается финансовая нагрузка;
- снижается время простоев;
- уменьшается количество неисправностей и поломок оборудования.

Для мотивации необходимо введение дополнительных мер:

1) *Плакаты и лозунги.* Они должны привлекать внимание, чтобы у работников появился повышенный интерес к тому, что может быть изображено на представленном стенде.

2) *Обучение и проведение инструктажей по охране труда.* При проведении обучения, инструктажей по охране труда есть возможность улучшить мотивацию сотрудников на соблюдение безопасности труда. Методы представлены на рисунке 2.

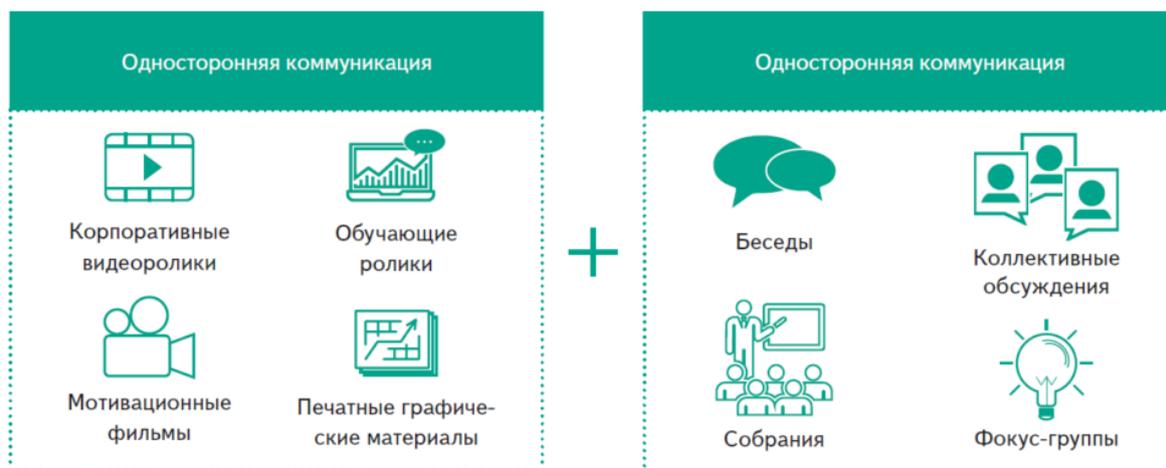


Рисунок 2 – Формы односторонних и двухсторонних коммуникаций

В данном случае необходимо вызвать заинтересованность и интерес у работников. Вовлеченность может быть достигнута такими методами, как

приглашение профессиональных спикеров, решение нестандартных кейсов в области охраны труда и промышленной безопасности.

3) *Премии и поощрения*. Суть его заключается в следующем: необходимо установить период, по результатам которого работникам структурного подразделения, в котором не было никаких происшествий, нарушений или инцидентов по охране труда, промышленной безопасности и другим направлениям, выплачивается премия.

4) *Дни охраны труда*. Создание данных мероприятий как дополнительный метод повышения мотивации сотрудников на соблюдение требований охраны труда, которые могут проводиться в определенные дни, недели или месяцы. Руководство должно показать работникам, почему важно соблюдать охрану труда. Вариации проведения таких мероприятий безграничны.

Примерам могут являться: корпоративные конкурсы на лучшее соблюдение охраны труда среди структурных подразделений, соревнование структурных подразделений по количеству поданных идей среди сотрудников предприятия по улучшению условий промышленной безопасности и охраны труда.

Таким образом, можно сделать вывод, что совокупность различных способов и методов, которые возможно применить на производстве, даст мотивацию сотрудникам предприятий соблюдать нормы охраны труда и промышленной безопасности, а также повысит культуру производства, что привьет работникам чувство коллективной ответственности за каждое действие, что в результате может значительно повлиять и на производительность труда, и одновременно с этим даст положительный экономический эффект.

#### Библиографический список

1. Как убедить работников соблюдать требования охраны труда [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://ot-online.ru/article/nojs/3017/>, свободный (дата обращения: 20.02.2022)

2. Как мотивировать работника следовать безопасности? [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <https://journal.Ecostanda.rdgroupp.ru/ot/skills/kak-motivirovat-rabotnika-sledovat-bezopasnosti-praktika-rossiyskikh-kompaniy/>, (дата обращения: 20.02.2022).

3. Мотивация работников на соблюдение требований охраны труда [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: [https://help-ot.ru/ohra\\_natruda.php?id=314](https://help-ot.ru/ohra_natruda.php?id=314) /, свободный (дата обращения: 20.02.2022).

4. Охрана труда - основные понятия и разъяснения [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: [https://git87.rostrud.gov.ru/poleznaya\\_informatsiya/118679.html](https://git87.rostrud.gov.ru/poleznaya_informatsiya/118679.html) (дата обращения: 20.02.2022).

5. Значения культуры безопасности [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: DSS Bradley Curve | DuPont Sustainable Solutions ([consultdss.ru](http://consultdss.ru)), (дата обращения: 20.02.2022).

6. Как повлиять на небезопасное поведение работников [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: Как повлиять на небезопасное поведение

работников (srg-eco.ru), (дата обращения: 20.02.2022).

7. Повышение производительности через нулевой травматизм [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: Повышение производительности через нулевой травматизм (ur-pro.ru) , (дата обращения: 20.02.2022).

УДК: 620.9:658.155

## **РЕНТАБИЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК В РОССИИ**

**Беляев К.В., Гассман А.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: belkir1976@mail.ru*

В статье описан принцип использования биогазовых установок, а также приводятся доводы «за» и «против» их использования на территории России.

Ключевые слова: биоэнергетика, БГУ, биогаз, органические отходы.

Любая деятельность человека способна нанести вред окружающей среде. Под этим подразумевается загрязнение окружающей среды, которое происходит за счёт привнесения в живую природу химических, физических, химических или биологических реагентов и превышения их естественного уровня. Из-за загрязнения окружающей среды происходит снижение плодородия почв, деградация и опустынивание земель, разрушение экосистем, ухудшение состояния атмосферного воздуха, вымирание многих видов организмов. Все эти факторы ведут к изменению климатических условий на нашей планете и её повышению средней температуры земли. Именно поэтому эту глобальную проблему человечество должно решать здесь и сейчас, а не через несколько лет. Понимая эту глобальную проблему, правительства многих стран подписывают международные соглашения, регулирующие меры по снижению содержания углекислого газа в атмосфере. Ярким примером может послужить Парижское соглашение, которое было подготовлено взамен Киотского протокола в ходе Конференции по климату в Париже и принято консенсусом 12 декабря 2015 года, а подписано 22 апреля 2016 года.

Целью этого соглашения является удержание роста глобальной средней температуры «намного ниже» 2 °С и «приложить усилия» для ограничения роста температуры величиной 1,5 °С, а именно начать в период с 2050-2100 гг. ограничивать выброс парниковых газов, получаемых в результате промышленной деятельности человека, пересматривать в сторону увеличения каждые пять лет вклад каждой отдельной страны по снижению вредных выбросов в атмосферу, развитые страны должны выделять средства в специ-

альный климатический фонд для помощи более бедным государствами на борьбу с последствиями климатических изменений.

На данный момент прописанная в соглашении программа выполняется, в пример к этому можно привести введение так называемого углеродного налога. Углеродный налог - это плата за сжигание топлива на основе углерода (уголь, нефть, газ и другие ископаемые). В Великобритании этот налог ввели ещё в 2013 году, размер которого составляет \$24 за тонну. Этот метод способствовал сокращению использования угля как топливо и спустя 6 лет доля энергии, использованная углём, снизилась с 40 % до 3%. Тем не менее есть и противники введения этой меры, которые считают её нецелесообразной, поскольку это может привести к увеличению затрат на бизнес, снижению уровню инвестиции, росту общественного недовольства среди работников, которые работают на экономически важных отраслях для страны, в особенности для России. Бывший губернатор Кемеровской области Аман Гумирович Тулеев полагает, что «введение этого налога может привести к росту цен на электроэнергию и тепло и остановке нефтегазовой и химической промышленности, транспорту, агробизнесу, цветной и чёрной металлургии» [1]. Налог пока ещё не введён, поскольку власти продолжают рассматривать её целесообразность.

Так, в энергетике взят курс на изучение, создания и распространения большого количества проектов, связанных с переходом на использование природного газа, как экономически и экологически выгодного источника энергии по сравнению с другими альтернативами (например, распространения солнечных и ветряных электростанций).

Сегодня биоэнергетика – одно из наиболее перспективных видов возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Больше всего инвесторов привлекают проекты с производством биогаза, который способен сокращать платы за утилизацию органических отходов и получения дополнительного дохода.

Одним из наиболее перспективных направлений является создание промышленных биоустановок. Больше всего производство биогаза развито в Китае, где находится более 10 млн. установок, которые производят 7млрд м<sup>3</sup> биогаза в год.

В России в настоящее время единственным реально действующим промышленным энергетическим объектом в России, использующим в качестве топлива биогаз из отходов сельскохозяйственного производства, является биогазовая электростанция в Калужской области, идет активное строительство биогазовых установок в Белгородской области, где планируется ввести 10–15 станций.

Российский газовый сектор обладает огромными запасами природного газа как наиболее экологически безопасного и экономически эффективного топлива. Поэтому перспективы применения биогаза в этом секторе экономики для энергетических нужд на первый взгляд представляются достаточно сомнительными.

Биогаз - это смесь 55%-75% метана, 25-45% углекислого газа и некоторого количества водорода, сероводорода и других газов, полученная в результате жизнедеятельности бактерий при разложении биомассы [2].

Для получения биогаза требуется пригодное сырьё животного или растительного происхождения. Это может быть навоз коров, свиней, птичий помёт, свежая трава, зерно, фуражный жом, клубни картофеля и т.д.

Для обеспечения функциональной и эксплуатационной безопасности, а также безопасной работы персонала газ должен быть предварительно очищен от вредных компонентов. Основные этапы при подготовке газа к использованию:

- отделение влаги и взвешенных частиц;
- удаление сероводорода;
- удаление галогенсодержащих соединений;
- удаление углекислого газа;
- сжатие или сжижение.

Качество биогаза определяется в первую очередь содержанием метана либо соотношением горючего метана ( $\text{CH}_4$ ) к «бесполезной» двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ). Двуокись углерода разбавляет биогаз и вызывает потери при его хранении. Поэтому важно стремиться к высокому содержанию метана и как можно низкому содержанию двуокиси углерода [3].

Принцип получения биогаза выглядит следующим образом:

1. В перерабатывающий бункер загружают отходы разного вида. Часто смешивают твердые и жидкие, чтобы массы могла легко перекачиваться насосами. Сухое сырьё иногда разводят водой для достижения оптимальной влажности 85%. Для большей эффективности к животным отходам добавляют растительные компоненты.

2. Биомасса попадает в реактор и разогревается. При температуре 35-38°C бактерии активируются и начинают активно перерабатывать отходы. В результате их жизнедеятельности вырабатывается газ. Поток сырья должен быть постоянным, чтобы обеспечить микроорганизмы необходимым количеством корма. Всю эту массу периодически перемешивают, чтобы равномерно распределить бактерии в емкости. Микроорганизмы выделяют до 80% всего биогаза, производимого установкой.

Биогаз собирается в газгольдере, а затем очищается. Чтобы очистить биогаз до уровня природного газа, нужно установить дополнительное дорогостоящее оборудование.

После очистки газ отправляют в котел или электрогенератор, где он преобразуется в тепло- или электроэнергию.

Образовавшиеся в процессе биораспада удобрения делятся на жидкую и твердую фракцию с помощью сепаратора и накапливаются в специальной емкости.

При переработке 1 т твердых бытовых отходов органического происхождения можно получить от 45 до 100 м<sup>3</sup> биогаза. Так, 1 т свежих отходов

крупного рогатого скота и свиней при влажности 85% дают от 45 до 60 м<sup>3</sup> биогаза, 1 т куриного помета при влажности 75% – до 100 м<sup>3</sup> биогаза [4].

Развитие биогазовых технологий будет способствовать реализации курса страны на энерго- и ресурсосбережение. Наблюдается значительный эффект от реализации биогазовых технологий из расчета удельной чистой прибыли от реализации товарной продукции 518 руб./тыс. м<sup>3</sup> и количества ежегодно образующихся отходов производства и потребления III–IV классов опасности органического происхождения на объектах добычи и транспортировки природного газа. При реализации нескольких установок эффект, безусловно, значительно выше.

В завершение стоит отметить, что в 2011 г. ОАО «Газпром» подписало Меморандум о взаимопонимании и сотрудничестве с ЗАО «Евротехника» и корпорацией «БиоГазЭнергоСтрой» по биогазу. Данный документ отражает намерение компаний развивать сотрудничество в области производства «зеленого» газа в России и обеспечения возможности использования его преимуществ в странах ЕС.

В газовой промышленности наличие соответствующего объема биогаза позволяет высвободить дополнительные единицы природного газа, что, с одной стороны, способствует снижению техногенной нагрузки на окружающую среду, повышению энергоэффективности производства, а с другой – увеличению объема поставок на рынок сбыта. Кроме того, географическая гибкость биогазовой установки открывает возможности и для поставки энергии потребителям, не имеющим доступа к традиционным энергосетям. Увеличение доли биогаза в общем энергобалансе позволяет снизить удельный экологический след на единицу реализуемой продукции и сократить негативное влияние на окружающую среду путем снижения доли захоронения органических отходов.

Минусами биогазовой технологии для хозяйства являются достаточно высокие капитальные, но единовременные вложения. Уровень этих вложений зависит от мощности установки, оснащения современными средствами автоматизации и контроля и производителя конкретных устройств. Высокая стоимость специального оборудования вызвана еще и тем, что в отсутствие достаточного спроса оно производится в небольших количествах. Сама установка наиболее рентабельна при эксплуатации ее в хозяйстве в качестве дополнительного оборудования. Капитальные затраты окажутся выше, чем в других странах из-за более холодного российского климата и связанной с этим необходимости повышенной теплоизоляции, влекущей большую материалоемкость оборудования.

#### Библиографический список

1. Пушкарев Г. Углеродный налог: нововведение может привести к росту тарифов ЖКХ// Комсомольская правда. 2019. URL: <https://www.kp.ru/putevoditel/nauka/uglerodnyj-nalog/> (дата обращения: 05.12.2021).

2. Интернет магазин BoneCrusher.ru: сайт. - URL: <https://bonecrusher.ru/news/chto-takoe-biogaz-kak-ego-poluchayut-i-v-chem-ego-preimushchestva/> (дата обращения: 05.12.2021).

3. Давронов Фармонжон Фахриддин Угли, Хужжиев Маъмуржон Янгибоевич Состав и качество биогаза // Вопросы науки и образования. 2018. №2 (14). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostav-i-kachestvo-biogaza> (дата обращения: 05.12.2021).

4. Ишков А.Г., Пыстина Н.Б., Акопова Г.А., Юлкин Г.М. Роль биогаза в современной энергетике // Территория Нефтегаз. 2014. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-biogaza-v-sovremennoy-energetike> (дата обращения: 05.12.2021).

5. Найман С. М., Тунакова Ю. А. Экологические и экономические аспекты применения биогазовых технологий для переработки органических отходов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №17. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-i-ekonomicheskie-aspekty-primeneniya-biogazovyh-tehnologiy-dlya-pererabotki-organicheskikh-othodov> (дата обращения: 05.12.2021).

УДК 658.567.1:629.3.02

## **ПЕРЕРАБОТКА АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО СЫРЬЯ**

**Гашникова А.О.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк, e-mail: gashnikova20172017@gmail.com*

В данной статье рассматриваются способы переработки автомобильных шин, их основная характеристика, влияние на окружающую среду, перспективные качества переработки автомобильных шин.

Ключевые слова: автомобильные шины, переработка автомобильных шин, окружающая среда.

На сегодняшний день остро стоит проблема хранения и утилизации автомобильных шин. Их общемировые запасы составляют около 25 миллионов тонн при ежегодном приросте не менее 7 миллионов тонн. Изношенные шины хранятся как на свалках, которые предназначены исключительно для использованных шин, так и на смешанных свалках с различными видами отходов.

Данный вид отходов представляет большую опасность для окружающей среды. Вред, в свою очередь, заключается, в следующем:

1) все вещества, которые используются при производстве, переработке и утилизации шин, являются токсичными для человека и всей окружающей

среды;

2) шины очень легко воспламеняются, а тушатся крайне тяжело. В некоторых случаях погасить возгорание удаётся лишь по истечении срока, который может составлять несколько недель;

3) свалки шин могут занимать огромные территории, вследствие чего количество нерационального вывода этих территорий из использования значительно растёт;

4) старые и выброшенные покрышки разлагаются в земле более ста лет, при этом происходит загрязнение почвы, вымывание токсинов и канцерогенных веществ грунтовыми водами;

5) при высокой температуре воздуха происходит их нагрев, а из покрышек и шин выделяются высокотоксичные соединения. По этой причине крайне не рекомендуют использовать покрышки на детских площадках;

6) во время горения покрышек происходит выделение копоти и сернистой кислоты.

Высокая экологическая опасность изношенных шин обусловлена, с одной стороны, токсическими свойствами материалов, из которых они изготовлены, с другой — свойствами более ста химических веществ, выделяемых в окружающую среду во время эксплуатации, обслуживания, ремонта и хранения шин.

Поэтому необходимо перерабатывать шины, направлять их во вторичное использование для улучшения экологического состояния. Окружающей среды. Существует также множество нормативно-правовых актов для улучшения экологии, где указывается следующее:

В соответствии со статьей 51 Федерального закона «Об охране окружающей среды» запрещается:

1) сброс отходов потребления в поверхностные и подземные водные объекты, на водосборные площадки, в недра и на почву;

2) размещение опасных отходов (а покрышки относятся к 4 классу опасности) на территориях, прилегающих к городским и сельским поселениям, в лесопарковых, курортных, лечебно-оздоровительных, рекреационных зонах, на путях миграции животных, вблизи нерестилищ и в иных местах, в которых может быть создана опасность для окружающей среды, естественных экологических систем и здоровья человека;

3) захоронение опасных отходов на водосборных площадях подземных водных объектов, используемых в качестве источников водоснабжения, в бальнеологических целях, для извлечения ценных минеральных ресурсов.

Чтобы все эти запреты соблюдались, предусмотрена административная и уголовная ответственность.

В соответствии со статьей 8.2 Кодекса РФ об административных правонарушениях за сжигание, захоронение отработанных покрышек предусмотрено наложение административного штрафа в следующих размерах:

1) на физических лиц от 1000 до 2000 рублей;

- 2) на должностных лиц от 2000 до 30000 рублей;
- 3) на индивидуальных предпринимателей от 2000 до 50000 рублей или приостановление деятельности на срок до 90 суток;
- 4) для юридических лиц от 10000 до 250000 рублей или приостановление деятельности на срок до 90 суток.

Статьей 247 Уголовного кодекса предусмотрены следующие меры ответственности.

При угрозе причинения вреда:

- 1) штраф в размере от 200 до 500 МРОТ;
- 2) или в размере заработной платы за период от 2 до 5 месяцев;
- 3) или иного дохода осужденного за период от 2 до 5 месяцев;
- 4) либо ограничение свободы на срок до 3 лет;
- 5) либо лишение свободы на срок до 2 лет.

При причинении вреда окружающей среде:

- 1) лишение свободы на срок до 5 лет.

Если деяние повлекло смерть человека или массовое заболевание людей:

- 2) лишение свободы на срок от 3 до 8 лет.

Расследованием уголовных дел данной категории занимается Следственный комитет Российской Федерации.

Существует множество методов утилизации шин и их последующее применение. Рассмотрим некоторые из них:

1) Сжигание - один из самых простых способов переработки шин, который заключается в высокотемпературном окислении, в основном, в барабанных печах на цементных заводах. Использование автопокрышек в количестве до 25% от массы основного топлива позволяет организовать процесс горения практически без выделения угарного газа и обеспечивает полное сгорание шин. При сжигании выделяется тепло, которое идёт на отопление или для производства электроэнергии. Данный способ переработки является энергетически малоэффективным, так как при изготовлении одной покрышки затрачивается энергия, содержащаяся в 35л нефти, а при сжигании выделяется энергия, эквивалентная 8л нефти.

2) Пиролиз – способ термической переработки резины с ограничением или без доступа кислорода. Автошины разделяются на куски с помощью механического инструмента. Температура в аппарате поддерживается на уровне от 500°C до 1000°C. От температуры зависит состав продуктов и соотношение твердой, жидкой и газообразной фракций. Для охлаждения аппарата пиролиза до температуры 100°C производится продувка системы углекислотой. К достоинствам разработанной установки можно отнести простоту и надежность конструкции, а также экологическую чистоту технологии. Газообразные продукты пиролиза содержат от 48% до 52% водорода, от 25% до 27% метана и имеют высокую теплоту сгорания (до 44 МДж/кг). Они используются для получения энергии.

Твердые продукты пиролиза (так называемый шинный кокс) исполь-

зуют при очистке сточных вод от ионов тяжелых металлов, нефтепродуктов. Технический углерод, получаемый при пиролизе, используется в качестве активного наполнителя при производстве резины, пластмассы и в лакокрасочной промышленности. Жидкая фракция также является высококачественным топливом.

3) Измельчение (дробление) шин для производства резиновой крошки представляет собой довольно эффективный метод их переработки, так как при этом в продуктах переработки максимально сохраняются физические свойства резины. Существующие методы измельчения подразделяют на измельчение при положительных температурах и криогенное измельчение. Применение резиновой крошки в качестве добавки в резиновые смеси, а также в качестве основы изделий строительного и технического назначения сохраняет и реализует ценные свойства полимерных материалов. Кроме того, технология получения крошки является, в основном, экологически безопасной. Проблема состоит в образовании пыли из-за невозможности полного улавливания тонкоизмельченных отходов текстильного корда.

4) Пиролиз, при котором автопокрышки под влиянием тепла при отсутствии кислорода разделяются на твердые, жидкие и газообразные вещества, не нашел широкого применения. Продукция, полученная в результате переработки шин методом пиролиза (пиролизное масло, сажа и сталь), является низкокачественной, что вызывает трудности ее реализации. В то же время технический углерод, получаемый в процессе пиролиза, может быть переработан в топливные брикеты и другие виды топлива. Кроме того, у этого способа переработки шин есть проблемы и в экологическом плане. При пиролизе (особенно, если он протекает при низких и средних температурах) имеют место температурные колебания и, как следствие, не полностью протекающие реакции. В результате образуются ядовитые вещества - диоксин и фуран, что требует дополнительных капиталовложений на очистку газов.

5) Технология переработки автошин путем растворения в органическом растворителе (термолиз). В основе данного метода лежит способ переработки резиносодержащих и полимерных отходов путем растворения в органическом растворителе (термолиз). При этом конечным результатом является не только уничтожение вредных и практически не разлагающихся отходов, но и получение на конечной стадии процесса переработки высококачественных продуктов.

В результате переработки (рециклинга) автопокрышек образуются:

1) бензиновая фракция (компонента) с октановым числом - 100, не содержащая свинец и серу (Pb, S), используемая на предприятиях нефтехимии, а также нефтеперерабатывающих заводах при производстве высокооктанового экологически чистого бензина;

2) мазут (аналог) - тяжелые углеводороды, по своим показателям соответствует ГОСТ 105899 (М-40), массовая доля содержания серы - 0,6 %;

3) технический углерод, содержащий от 92% до 99 % чистого углеро-

да, в технологическом процессе направляется на облагораживание, в результате чего получают углерод-углеродные материалы (УУМ) и (или) электропроводный техуглерод.

Предлагаемый процесс гарантирует защиту окружающей среды от выделения любых летучих (токсичных и нетоксичных) соединений.

Высокая прибыль, получение высококачественных материалов при переработке автошин и отсутствие отрицательного влияния на экологическую обстановку делают этот метод наиболее приемлемым и перспективным в плане утилизации автомобильных покрышек.

Важным условием успешного внедрения технологий по переработке автомобильных шин является участие органов государственной власти. При этом основной задачей федеральных органов власти должно стать создание благоприятного инновационного климата в области утилизации отходов. Региональным органам власти необходимо вменить в обязанность разработку эффективного механизма управления отходами с учетом специфики региона и принятие соответствующих программ.

#### Библиографический список

1. Иванов К.С., Сурикова Т.Б. Использование и переработка отработавших шин. Доклады Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы экологии / Тула: Инновационные технологии, 2009.

2. Шулдякова, К. А. Воздействие автомобильных шин на окружающую среду и здоровье человека / К. А. Шулдякова. - Текст : непосредственный // Молодой ученый. - 2016. - № 20 (124). - С. 472-477. - URL: <https://moluch.ru/archive/124/34317/> / (дата обращения: 28.12.2021).

3. Утилизация и вторичное использование автопокрышек [Электронный ресурс]: Режим доступа [https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00561437\\_0.html](https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00561437_0.html) (дата обращения 28.12.2021).

4. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002. № 7-ФЗ.

5. Утилизация автомобильных шин [Электронный ресурс]: Режим доступа <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=665348> (дата обращения 28.10.2021).

## **ПЛАТЕЖИ ЗА ВРЕДНЫЕ ВЫБРОСЫ И СБРОСЫ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ КАК МЕХАНИЗМ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**Гашникова А.О.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: gashnikova20172017@gmail.com*

В данной статье рассматривается и описывается механизм применения платежей за вредные выбросы и сбросы загрязняющих веществ, а также процесс реализации стратегии ресурсосбережения.

Ключевые слова: вредные выбросы, сбросы загрязняющих веществ, платежи, окружающая среда.

Согласно официальной статистике, в Российской Федерации ежегодно происходит увеличение антропогенного воздействия на окружающую среду. Техногенное воздействие связано с тенденцией приумножения естественных экосистем с выраженной неспособностью к самовосстановлению и ухудшению качества условий жизни.

Для обеспечения правовых норм, организационных механизмов в нашей стране существует структура управления охраной природы. Целью данной структуры является создание заинтересованности предприятий в проведении природоохранных мер, что в данный момент находится на стадии становления.

Методы оценки вреда в результате негативного воздействия на окружающую среду необходимо совершенствовать в законодательстве Российской Федерации, в гражданской и природоохранной сферах.

Мерой эколого-экономической ответственности природопользователей при работе в штатном режиме является взимание платы за загрязнение окружающей среды. Но существует еще юридическая ответственность, согласно которой в случае нарушения природоохранного законодательства убытки должны быть возмещены.

Плата за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия, установленная федеральным законом от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 30.12.2021) "Об охране окружающей среды", статья 16. Плата за негативное воздействие на окружающую среду относится к указанным платежам, а значит, к федеральным налогам.

Платежи вносят организации, в ходе деятельности которых оказывается вредное воздействие на природную среду. Formой возмещения экономического ущерба за сбросы и выбросы вредных веществ в окружающую среду

на территории Российской Федерации являются платежи за загрязнение окружающей среды.

Данные платежи направлены на:

- 1) компенсацию затраченных средств на уменьшение воздействия выбросов и сбросов загрязняющих веществ;
- 2) стимулирование уменьшения или поддержания выбросов и сбросов в пределах нормативов;
- 3) стимулирование осуществления затрат на проектирование и строительство природоохранных объектов.

Но несмотря на это, предприятия и иные организации, вносящие платежи за негативное воздействие, не освобождаются от соблюдения и выполнения природоохранных мероприятий, оплаты штрафов за экологические правонарушения и возмещения вреда, причиненного загрязнением окружающей среды народному хозяйству, здоровью и имуществу граждан. Оплата за загрязнение окружающей среды и размещение отходов осуществляется с природопользователей, то есть с предприятий, учреждений, организаций, российских и иностранных юридических и физических лиц, ведущих любые виды деятельности на территории Российской Федерации, которые непосредственно связаны с природопользованием.

Плата за негативное воздействие на окружающую среду является неналоговым доходом, согласно бюджетному кодексу РФ установлены нормативы распределения платы за негативное воздействие на окружающую среду в бюджеты бюджетной системы Российской Федерации в размере : 20% - в федеральный бюджет, 40% - в бюджеты субъектов Российской Федерации, 40 % - в бюджеты муниципальных районов и городских округов.

Исходя из вышесказанного, плата за негативное воздействие взимается как компенсация причиненного вреда окружающей среде от деятельности различных предприятий и организаций.

В постановлении Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 (ред. от 24.01.2020) "О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах" указаны размеры выплат за 1 тонну загрязняющих веществ (отходов производства и потребления). Данные представлены за 2018 год и являются актуальными, но в ближайшее время в силу вступят некоторые изменения. Ставки платы за негативное воздействие на окружающую среду в следующем году будут выше, чем в текущем. Так, согласно подготовленному Минприроды проекту, ставки платы за НВОС на 2022 год будут установлены на уровне 2018 года с учетом их индексации на коэффициент 1,17. В 2021 году коэффициент составлял 1,08.

Ставка платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками в отношении пыли каменного угля также вырастет – с 61 рубля за тонну до 66,17 рублей за тонну.

Рассмотрим следующие виды платежей за выбросы загрязняющих веществ, которые наиболее распространены в Кемеровской области (данные

представлены в таблице 1 и в таблице 2).

Таблица 1 - Ставки платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками (некоторые загрязняющие вещества)

(рублей)	
Наименование загрязняющих веществ	Ставки платы за 1 тонну загрязняющих веществ (отходов производства и потребления)
	2018 год
Метан	108
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца (в пересчете на свинец)	18244,1
Марганец и его соединения	5473,5
Оксид азота	93,5

Далее рассмотрим размер оплаты за сбросы загрязняющих веществ в водные объекты.

Таблица 2 - Ставки платы за сбросы загрязняющих веществ в водные объекты

(рублей)	
Наименование загрязняющих веществ	Ставки платы за 1 тонну загрязняющих веществ (отходов производства и потребления)
	2018 год
Марганец	73553,2
Нефтепродукты (нефть)	14711,7
Медь	735534,3
Цинк	73553,2

Все выплаты используются на соответствующие природоохранные мероприятия, которые включают в себя: содержание и использование золоуловителей, очистных сооружений, фильтров и других природоохранных объектов, а также на хранение, захоронение и утилизацию отходов экологически опасных, формирование санитарно-защитных зон в соответствии с действующими государственными санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами, очистку сточных вод, улучшение береговых линий и лесонасаждений и так далее.

Таким образом, плата за загрязнение окружающей среды является

важным стимулятором для поддержания стабильности экологии того или иного региона, частичной компенсацией для восстановления природного баланса, стимулятором для разработки новых технологий, которые позволят при том же количестве ресурсов производить большее количество продукции, уменьшая тем самым нагрузку на окружающую среду.

#### Библиографический список

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 30.12.2021).

2. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 N 913 (ред. от 24.01.2020) "О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102409476> , (дата обращения: 30.12.2021).

3. О плате за негативное воздействие на окружающую среду, в том числе при размещении твердых коммунальных отходов [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: [https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/plata\\_za\\_negativnoe\\_vozdeystvie\\_na\\_okruzhayushchuyu\\_sredu/](https://www.mnr.gov.ru/activity/directions/plata_za_negativnoe_vozdeystvie_na_okruzhayushchuyu_sredu/) /, свободный (дата обращения: 30.12. 2021).

4. Экологические платежи: Плата за негативное воздействие на окружающую среду [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://www.airsoft-bit.ru/stati-po-ekologii/188-ekologicheskie-platezhi> / (дата обращения: 30.12.2021).

УДК 357.223

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ КОНЕВОДСТВА В ФИНЛЯНДИИ

**Кириляк М.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: [mkirilyak16@mail.ru](mailto:mkirilyak16@mail.ru)*

Рассматриваются экологические программы коневодства в Финляндии, содержания лошадей, влияния на экологию среды, а также их отходов для выработки тепловой энергии для поддержания тепла в жилых помещениях и получения органических удобрений.

Ключевые слова: Финляндия, коневодство, окружающая среда, биотопливо, органические удобрения, удобрение

В 2002 году на Нью-Йоркском экономическом форуме из 142 стран Финляндия заняла первое место по экологическим показателям окружающей среды. Однако из 100 баллов Финляндия заработала 73,7. Для сравнения

Россия заняла лишь 74-е место, Италия 86-е, Великобритания-98-е [1]. Финляндия добивается значительных успехов в сельском хозяйстве, причем славится своей гарантией и качеством.

В основном, жители Финляндии занимаются сельским хозяйством, а именно тепличным производством, звероводством, коневодством, рыбоводством. По качеству продуктов питания Финляндия опережает многие страны Европы. На данный момент насчитывается около 70 тысяч фермерских хозяйств, из них 85 % занимают площадь до 50 га, крупными считаются те, у кого не менее 76 га. В развитии животноводства главное место принадлежит коневодству, молочному скотоводству и разведению оленей. Из 60 000 тысяч лошадей, примерно половина – универсальная финская порода. Ее используют как тягловую рабочую силу, для конноспортивных состязаний и в туристических деревнях. Работая на экологически чистой пашне, фермеры применяют, главным образом, органические удобрения и обязаны строго соблюдать регламент применения агрохимикатов. Осуществляется строгий ветеринарный контроль на предприятиях. Перед тем, как туда войти, все надевают белые халаты и одноразовые бахилы [2].

Принимая во внимание негативные факторы влияния окружающей среды и человека на популяции лошадей, финны внедряют практические мероприятия на конных заводах, в конноспортивных школах и секциях, хозяйствах, в которых содержат лошадей. Цель мероприятий- обеспечить здоровье лошадей и условия их нормального воспроизводства. В настоящее время существует колледж *Harju*, который является частным, образовательным учреждением природных ресурсов, расположенный в идиллической местности старой усадьбы в *Virolahti*. Как Сельскохозяйственное общеобразовательное учреждение он открылся в 1889 году. Территория колледжа имеет примерно 900 га сельскохозяйственных угодий, из которых 650 га приходится леса и 180 га на пахотные земли. На данный момент в колледже обучается примерно 200 студентов. Студенты осваивают не только практические занятия по верховой езде, но и теоретические, такие как:

- основы кормления (правила заготовки сена, силоса, овса, ячменя, пшеницы, канареечника и др.),
- ковка лошадей,
- теория верховой езды,
- уход за лошадьми,
- содержание лошадей,
- общеобразовательные курсы.

В колледже 117 лошадей, в том числе жеребят. Есть 5 конюшен, отдельные выгульные пастбища. Для обучения на территории колледжа имеется три манежа, один открытый и два закрытых, две дорожки с беговыми препятствиями, ходунки, 2 полноценных ипподрома. Конюшни расположены на территории колледжа. Учебное заведение предоставляет лошадей для студентов, туристов в качестве увлекательных прогулок. Конюшни состоят из 5 от-

делений: кормовой стол, денники, душевой отдел, пристройка с хранилищем для торфа, пристройка для сбора и утилизации навоза. Конные заводы, ипподромы, конноспортивные секции проводят необходимые практические мероприятия по хранению, утилизации и реализации конского навоза [3].

Навоз и иные органические вещества и материалы, образующиеся в животноводстве в результате содержания сельскохозяйственных животных и являющиеся продуктами жизнедеятельности последних, после их обезвреживания и обеззараживания на их основе могут быть реализованы в качестве продукции. Например, в Финляндии соревнования по конному спорту теперь не только радуют зрителей, но и приносят пользу экологии: тонны навоза, который оставляют лошади, финны превращают в биотопливо. Волонтеры собирают навоз вперемешку с соломой, которую кладут в стойлах, а затем его перерабатывают в электричество и тепловую энергию [4]. По данным источникам в соревнованиях участвовали 370 лошадей, которые вместе смогли выработать 150 МВт энергии. На соревновании навоз использовали для работы фонарей, табличек с результатами и зарядных станций. Компания, которая обеспечивает электричество на соревновании, называется Fortum HorsePower. Ее сотрудники говорят, что такой метод будет эффективен для стран с большой популяцией лошадей. Это означает, что дом одной финской семьи могут обеспечить энергией всего две лошади. Таким образом, электричества хватило не только на соревнования, но и на отопление домов в Хельсинки. В зависимости от вида топлива оно подходит для использования в:

- отопительных и отопительно-варочных печах,
- водяных и воздушных котлах,
- каминах,
- пиролизных котлах и печах,
- любых твердотопливных теплогенераторах с автоматической загрузкой топлива (материал из навоза должен подходить по форме и размеру).

По своим химическим свойствам конский навоз больше похож на опилки. При этом он более энергоэффективен, чем коровий навоз, и менее вреден для окружающей среды. Использование конского навоза для отопления снижает выборы диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) на 200 кг на тонну удобрения.

Кроме того, с переработкой навоза связано еще одно принятие решения открыть первую автозаправочную станцию (АЗС), сотрудники которой будут перерабатывать газ из навоза с целью улучшения экологической ситуации в Финляндии. Отмечено, что перерабатываемый газ по своим техническим параметрам не будет отличаться от обычного газа, которым ранее заправляли автомобили. Стоимость газа, переработанного из навоза, будет значительно ниже, в сравнении с обычным газовым топливом, которое предлагается потенциальным клиентам на данный момент времени. Финская семья Вуоренмаа, которой принадлежит почти 200 ферм, сотрудничает с компанией Valio. В настоящее время на всех фермах финского кооператива Valio установлено около 20 станций по переработке навоза в биогаз. К 2035

году Valio планирует избавиться от так называемого углеродного следа и перейти на экологически безопасное топливо [5].

Как говорилось выше, применение навоза – это использование его в качестве эффективного органического удобрения. Внесение фосфогипса в конский навоз заметно улучшает его качество как удобрения. Действие фосфогипса на конский навоз обусловлено тем, что сера, содержащаяся в нем, связывает выделяющийся аммиак в сульфат аммония. При этом одновременно углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) связывается кальцием ( $\text{Ca}$ ) в карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) это важно для кислых почв. Как было установлено, введение фосфогипса повышает содержание азота в почве, причем не нитратного и не нитритного. Установлено, что навозные компосты, приготовленные с добавлением фосфогипса в норме 30 т/га, при внесении под картофель и томаты значительно повышают до 20 % урожайность этих паслёновых культур. Оптимальная дозировка: 1 т фосфогипса на 10 т конского навоза [6, 7].

Таким образом, предложенные финнами методы являются экологически чистыми и дают возможность создавать новые технологические безотходные процессы, что приносит значительный экологический и экономический эффект Финляндии.

#### Библиографический список.

1. Экологические программы утилизации отходов в Финляндии / М.В. Кириляк, Т.А. Михайличенко // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Сибирский государственный индустриальный университет; под общественной редакцией М.В. Темлянцева. Новокузнецк, 19-21 мая 2020 г.

2. Сельское хозяйство Финляндии. Как живет финский фермер [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: [https://zen.yandex.ru/media/finland/selskoe-hoziaistvo-finliandii-kak-jivet-finskii-fermer-5c3e1072ca940600a\\_a08f53b/](https://zen.yandex.ru/media/finland/selskoe-hoziaistvo-finliandii-kak-jivet-finskii-fermer-5c3e1072ca940600a_a08f53b/), свободный (дата обращения: 15.01.2019).

3. Коневодство Финляндии История коневодства [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://davaiknam.ru/text/1-koneodstvo-finlyandii-istoriya-konevodstva/>, свободный (дата обращения: 28.10.2017).

4. В Хельсинки электричество на спортивных соревнованиях получили из конского навоза (излишки пустили на отопление домов) [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://rtvi.com/takoe2/horse-manure-power/>, свободный (дата обращения: 28.10.2019).

5. В Финляндии появится станция заправки автомобилей биогазом из навоза [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://www.pravda.ru/news/science/1518645-finlyandiya/>, свободный (дата обращения: 06.08.2020).

6. Зачиняев Я.В. Фосфогипс улучшает качество удобрений / Я.В. Зачиняев, В.В. Русинов, В.Н. Соколов // Коневодство и конный спорт. - 1991. – №2. – С.3.

7. Зачиняев Я.В. Влияния фосфогипса на урожайность паслёновых / Я.В. Зачиняев, В.В. Русинов, В.Н. Соколов // Тез. докл. 1-й науч. конф. ученых Ленинградского техно. ин-та им. Ленсовета «Проблемы химии и технологии органических веществ и биотехнологии», 1-5 апр. - 1991. – С.46-47.

УДК 622.272.002.5

## **КУЗБАСС В СВЕТЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ПАРИЖСКОГО СОГЛАШЕНИЯ**

**Кириляк М.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк, e-mail: mkirilyak16@mail.ru*

В статье рассматриваются проблемы Кузбасса в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» и Парижского соглашения, принятого Рамочной конвенцией ООН об изменении климата в 2015 г. и подписанного Россией в 2016 г.

Ключевые слова: Парижское соглашение, Кузбасс, экология, проект «Чистый воздух», выбросы, квоты, парниковый газ.

4 ноября Владимир Путин подписал указ «О сокращении выбросов парниковых газов» в рамках выполнения Парижского соглашения. Кроме того, Путин поручил разработать стратегию социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. На достижение основных целей Парижского соглашения направлен и реализуемый в стране национальный проект «Экология», в том числе входящие в его состав федеральные проекты «Чистый воздух» и «Наилучшие доступные технологии» (НДТ), которые предусматривают сокращение выбросов парниковых газов (ПГ), стимулируют бизнес к внедрению лучших зеленых технологий с минимальным ущербом для окружающей среды, а также развитие нормативного регулирования (механизма) квотирования выбросов. Национальный проект охватывает такие сферы, как промышленность, металлургия, энергетика и прочие. Для предприятий разработаны зеленые стандарты и справочники по внедрению НДТ [1].

Согласно опубликованным данным, выброс вредных веществ в атмосферу по итогам 2019 года на территорию Новокузнецка пришлось 16,71 % (Междуреченск – 11,61 %, Кемерово – 3,17 %, Прокопьевск оценивался по содержанию пыли (взвешенных веществ)) всех выбросов. На рисунке 1 представлен уровень загрязнения атмосферного воздуха городов Кемеровской области – Кузбасса.

В связи с этим город Новокузнецк стал участником федерального проекта «Чистый воздух». Проект направлен на улучшение состояния воздуха в

крупных промышленных городах. На качество воздуха в Кузбассе влияет ряд факторов. Во-первых, это особенности климата и географического расположения. Из-за этого большая часть промышленных выбросов не рассеивается в воздухе, а осаждается в Кузнецкой котловине. При этом образуется фотохимический смог, который негативно влияет на здоровье жителей региона. Во-вторых, на качество воздуха оказывают влияние промышленные предприятия: топливно-энергетического комплекса и химической промышленности в Кемерово и металлургического производства в Новокузнецке [2].

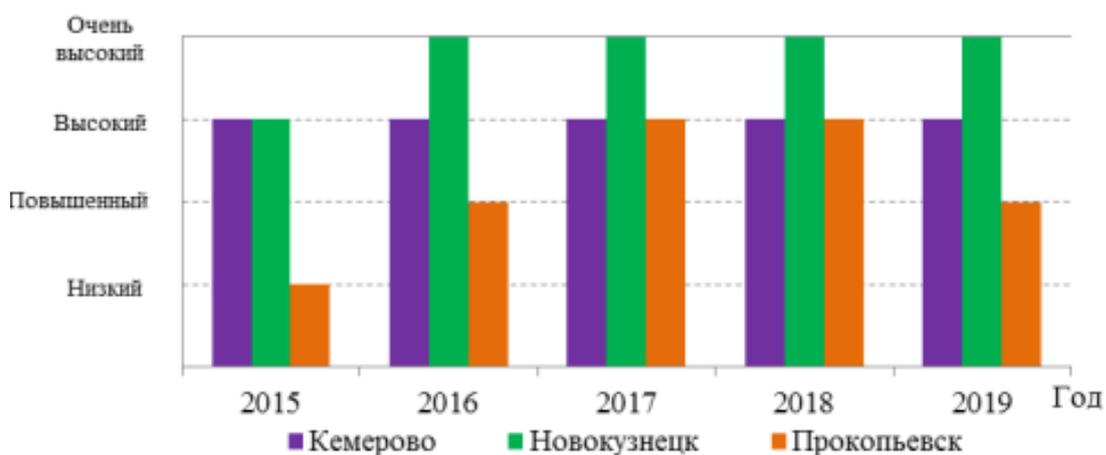


Рисунок 1 - Уровень загрязнения атмосферного воздуха городов Кемеровской области – Кузбасса

В 2020 году Кузбасский филиал СГК опубликовал статистику по выбросам в регионе. Аналитики подсчитали, что за десять лет, с 2010 по 2019 годы, количество вредных веществ от кузбасских электростанций компании сократилось на 23 %. Как пояснили Сибдепо, в пресс-службе СГК Кузбасс давно собирали данные о проделанной работе. В рамках экологической программы проводили работы по минимизации вреда окружающей среде. Их цель – снизить количество выбросов настолько, насколько это позволяет технический прогресс. В компании отметили, что, например, установка электрофильтров на Кемеровской ГРЭС позволила улавливать 98 % загрязняющих атмосферу веществ. В настоящее время работы по уменьшению выбросов ведутся на Кузнецкой ТЭЦ. По информации регионального министерства экологии и природных ресурсов работа ведется по 24 мероприятиям. В результате к 2024 году планируется снизить объем выбросов в атмосферу Новокузнецка на 77,07 тыс. т, или на 21,51 %, к уровню 2017 года. Официальные статистические данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух будут сформированы во втором квартале 2022 года.

Также новосибирские ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ТЭЦ-4, ТЭЦ-5 и Барабинская ТЭЦ снизили выбросы загрязняющих веществ на 25 %: от 92 712 до 68 996 т. В частности, снижение произошло по маркерным веществам, которые характеризуют основные выбросы предприятий энергетики: твердые частицы, ди-

оксид серы, оксиды азота, оксид углерода. Лидер по объемам снижения – крупнейшая станция Новосибирска – ТЭЦ-5. Она сократила выбросы на 43 %. Одним из факторов, который оказал влияние на снижение объема выбросов ТЭЦ-5, стал ее перевод в 2018 году на «новый» вид топлива – бурый уголь. Станция стала сжигать больше угля, но бурый уголь имеет меньшую зольность и содержание серы. Это и привело к сокращению суммарных выбросов в год в полтора раза.

В 2022 году в рамках проекта «Чистый воздух» в Новокузнецке будут продолжены работы по обновлению общественного транспорта, в том числе развитию электротранспорта и улучшению инженерной инфраструктуры, газификации частного сектора, переключению потребителей котельных, работающих на угольном топливе, на экологически более чистый теплоисточник Центральной ТЭЦ, работающей на газе, внедрению наилучших доступных технологий, современных пылегазовых очистных сооружений и т.д. на источниках выбросов загрязняющих веществ промышленных предприятий (АО «ЕВРАЗ ЗСМК», АО «РУСАЛ Новокузнецк», АО «Кузнецкие ферросплавы», АО «Кузнецкая ТЭЦ»). Плановое снижение совокупного объема выбросов опасных загрязняющих веществ в 2022 году по отношению к 2017 году составляет 8 %. Кроме того, предприятия Новокузнецка являются участниками эксперимента по квотированию, который проходит в России впервые. В конце декабря 2021 года предприятия получили квоты на выбросы и в течение трех месяцев обязаны разработать планы мероприятий для достижения установленных показателей. Если по каким-то причинам планы не будут выполнены в срок, предприятиям предстоит реализовывать компенсационные мероприятия для улучшения экологической ситуации. Механизм компенсаций еще прорабатывается, четких критериев и связи между объемами превышения квот и, к примеру, количеством деревьев, которые нужно будет посадить взамен, не прописано.

Отметим, что для улучшения связи с регионами создан научно-методический центр компетенций на площадке «ВНИИ Экология» по решению Минприроды России. Представитель «ВНИИ Экология» будет работать в каждой региональной природоохранной структуре [3].

Еще одна крупнейшая компания под названием ЕВРАЗ представила стратегию по сокращению выбросов парниковых газов. Сталелитейные предприятия компании поставили перед собой цель сократить выбросы парниковых газов на 20 %, а общие выбросы в атмосферу – на 33 %. Планируется перерабатывать 95 % общих и металлургических отходов и сократить до нуля сброс сточных вод. В рамках федерального проекта «Чистый воздух» ЕВРАЗ запустил новую пылегазоочистную установку на капитально отремонтированной доменной печи № 6 ЕВРАЗ НТМК, модернизировал электрофильтры на ЗапсибТЭЦ ЕВРАЗ ЗСМК. Реализация природоохранных мер продолжится до 2024 года. Инвестиции составят около 6,4 млрд. рублей. Пе-

ред угольщиками ЕВРАЗа стоят задачи утилизации метана, образующегося при дегазации шахт, на 75 % и сокращение выбросов пыли при транспортировке и хранении угля на 35 %. На шахте «Алардинская» уже смонтировали две установки факельного типа для сжигания метана. Каждая способна утилизировать до 50 м<sup>3</sup> метано-воздушной смеси в минуту. До 2026 года на шахтах Распадской угольной компании (РУК, управляет угольными активами ЕВРАЗа) будет смонтировано 25 подобных установок. На втором этапе экологического проекта перед компанией стоит задача из метана вырабатывать тепловую энергию. В 2022 году рассматривается возможность смонтировать и запустить в работу контейнерную газовую котельную, топливом для которой будет метан. Тепловую энергию направят на обогрев воздуха, подаваемого в горные выработки [4].

#### Библиографический список

1. Как Россия выполняет условия Парижского соглашения [Электронный ресурс]: сайт.– Режим доступа: <https://www.dw.com/ru/chto-grozit-rossii-iz-za-imitacii-raboty-po-parizhskomu-soglasheniju/a-55912915/> , свободный (дата обращения: 12.12.2020).

2. Публичное обсуждение хода реализации Федерального проекта «Чистый воздух» в городе Новокузнецке [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <http://ecokem.ru/publichnoe-obsuzhdenie-xoda-realizacii-federalnogo-proekta-chistyj-vozdux-v-gorode-novokuznecke/> , (дата обращения: 06.06.2019).

3. Экологический вестник Кузбасса [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <http://gazeta.ecokem.ru/2020/12/30/predpriyatiya-sgk-za-10-let-summarno-snizili-vybrosy-v-atmosferu-na-22/> , (дата обращения: 30.12.2020).

4. ЕВРАЗ представил стратегию по сокращению выбросов парниковых газов [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://cntd.ru/news/read/evraz-predstavil-strategiu-po-sokrascheniu-vybrosov-parnikovyyh-gazov/> , свободный (дата обращения: 17.05.2021).

УДК 336.227

## УГЛЕРОДНЫЙ СБОР В СИСТЕМЕ НАЛОГОВЫХ ПЛАТЕЖЕЙ

**Кириляк М.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: mkirilyak16@mail.ru*

В рамках стимулирования снижения выбросов от крупнейших компаний разрабатывается система штрафов за нарушения порядка отчётности и

искажение информации в документах о выбросах организации в свете Парижского соглашения.

Ключевые слова: Парижское соглашение, парниковые газы, углеродный сбор, плата и штрафы, карбоновый полигон.

Для достижения целей Парижского соглашения все больше ужесточается углеродное регулирование на основе учета выбросов парниковых газов. Предлагается штрафовать компании за непредоставление, нарушение порядка отчётности и искажение информации в документах о выбросах. Президент РФ Владимир Путин подписал закон, согласно которому предприятия, в результате работы которых в атмосферу попадает большое количество парниковых газов, будут ежегодно отчитываться об объёмах выбросов [1].

Законопроект Минэкономразвития вносит поправки в Кодекс об административных правонарушениях (КоАП). Документ предусматривает, что за первое нарушение штраф для должностных лиц составит до 75 тыс. рублей, для индивидуальных предпринимателей от 100 до 250 тыс. рублей, для юридических лиц от 100 до 500 тыс. рублей. Максимальная сумма штрафов за повторное нарушение составит 150 тыс. рублей для должностных лиц, 500 тыс. рублей - для ИП и один миллион рублей - для юрлиц. Система штрафов будет действовать с момента, когда компании начнут предоставлять отчётность: для эмитентов выбросов CO<sub>2</sub> с массой более 150 тыс. т - с 2023 года, для эмитентов выбросов CO<sub>2</sub> с массой более 50 тыс. т - с 2025 по 2026 г. По словам представителя ведомства, административное наказание должно простимулировать бизнес более ответственно подходить к исполнению закона. Поскольку под его требования попадают прежде всего крупные хозяйствующие субъекты, сумма штрафа не должна быть для них незаметной. Аналогичная практика уже предусмотрена в кодексе для других сфер законодательства. Например, за искажение информации о счетах в иностранных банках, за недостоверные сведения в ходатайствах по иностранным инвестициям штраф составляет до 1 млн. руб. Полученные средства направят в специальный фонд поддержки реализации проектов по сокращению выбросов, затем их потратят на мероприятия по внедрению ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий и поглощение CO<sub>2</sub>.

Избежать налога нарушители смогут в трёх случаях:

- за счёт «сокращения выбросов парниковых газов» (видимо, накопленных ранее или от предыдущего зафиксированного уровня, даже если не получится уложиться в квоту).

- деятельностью, направленной на поглощение CO<sub>2</sub> (создание зелёных насаждений и пр.).

- приобретая единицы сокращения или единицы поглощения парниковых газов (по-видимому, у других предприятий).

Конкретики законопроект содержит мало. Предполагается, что сам углеродный сбор начнут взимать с 2026 года, но его размер, объём квот и мно-

гие другие конкретные параметры «озеленения» экономики должно установить правительство. Также непонятно и то, как на практике будет работать механизм купли-продажи CO<sub>2</sub>-единиц. Ясно только, что нынешняя модель, основанная на самостоятельной инвентаризации предприятиями выбросов в атмосферу и добровольной реализации проектов по сокращению негативного воздействия на экологию, Минэкономразвития не устраивает.

Первыми законопроект раскритиковали предприниматели. В частности, больше всего отзывов на документ в ходе публичных консультаций оставили представители топливно-энергетического комплекса (ТЭК). По большому счёту углеродный сбор придётся платить четырём отраслям: электрогенерация, нефтегазодобыча, транспорт и металлургия, на которые приходится 75 % выбросов парниковых газов в России. Предприниматели уверены, что документ вводит избыточные обязанности, а также приводит к возникновению необоснованных расходов для бизнеса и, в конечном итоге, разгонит инфляцию. Первыми вверх пойдут цены на металлургическую продукцию, транспортные перевозки и тарифы жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ). Согласно оценке Минэнерго, каждый рубль такого сбора увеличит тариф на отопление на 1,2 рубля. В Совете Федерации также считают, что законопроект создаст дополнительную фискальную нагрузку на бизнес, негативным образом скажется на благосостоянии граждан и инвестиционных планах компаний, что в конечном итоге притормозит рост российской экономики. Кроме того, сенаторы опасаются диссонанса национального регулирования (рыночный оборот углеродных единиц) с международными правилами, которые только предстоит выработать. Хотя предложенный Минэкономразвития механизм практически копирует нынешние европейские практики углеродного госрегулирования.

Забраковали антиуглеродную инициативу и в Минэнерго. Предлагаемая законопроектом модель регулирования чрезмерно упрощена, а экономические последствия ее внедрения не оценены. Между тем опыт стран, в которых в течение длительного времени действует плата за выбросы парниковых газов, системы торговли квотами, показывает необходимость создания сложных систем формирования и распределения квот, учета особенностей национальных экономик, структуры экспорта и импорта.

Показательна в этом смысле Великобритания, где двукратное увеличение углеродного сбора до 18,08 фунтов за тонну в 2015 году нанесло удар по целому ряду отраслей и сократило общий объем железнодорожных грузоперевозок на 22,2 % от 110,5 млн. т в 2015 г. до 86 млн. т в 2016 г. Поначалу новый налог стимулировал импорт, но потом этот эффект сошёл на нет и страна стала деиндустриализироваться в ускоренном темпе. Перевозки угля упали на 64,2 %, металлов - на 15,7 %, международное сообщение «просело» на 20,5 %. В ЕС происходят схожие процессы. Углеродный сбор здесь составляет от 5 до 35€ на тонну выбросов CO<sub>2</sub> -эквивалента, причём изначально-

но его платили только производители, а затем стали платить и те, чья продукция косвенно оставляет углеродный след. Применение подобной схемы на российской почве несёт риски для выполнения задач и целевых показателей в части наращивания объема экспорта несырьевых неэнергетических товаров, включая энергоёмкие товары, например, продукция металлургической и химической промышленности, доля которого к 2024 году должна составить не менее 20 % ВВП страны.

Здесь вообще не идет речь об экологии. Ведь каждый человек или животное выделяет углекислый газ в процессе жизнедеятельности, и получается, что это налог на все живое. Это больше похоже не на экологию, а на политику - политику ограничения развития определенных стран, в том числе России. Примерно так воспринимают углеродный сбор нынешние власти США. В аналитическом докладе управления конгресса по бюджету и Национальной ассоциации производителей говорится, что такая манипуляция рынком представляет собой рецепт для непредвиденных последствий и нанесения себе экономического ущерба. После этого 10 июня 2016 года палата представителей приняла резолюцию, где с опорой на общую позицию 22 научно-исследовательских институтов назвала новый налог не соответствующим интересам страны. Спустя год о выходе США из Парижского соглашения по климату объявил президент США Д. Трамп [2].

Несмотря на рост выбросов (с 2,818 млрд. т CO<sub>2</sub>-эквивалента в 2017 году до 2,948 млрд. т в 2019 году), Россия уже сегодня досрочно выполнила свои обязательства по Парижскому соглашению сократить эмиссию парниковых газов к 2030 году до 70 % от базового уровня 1990 года (рисунок 1).

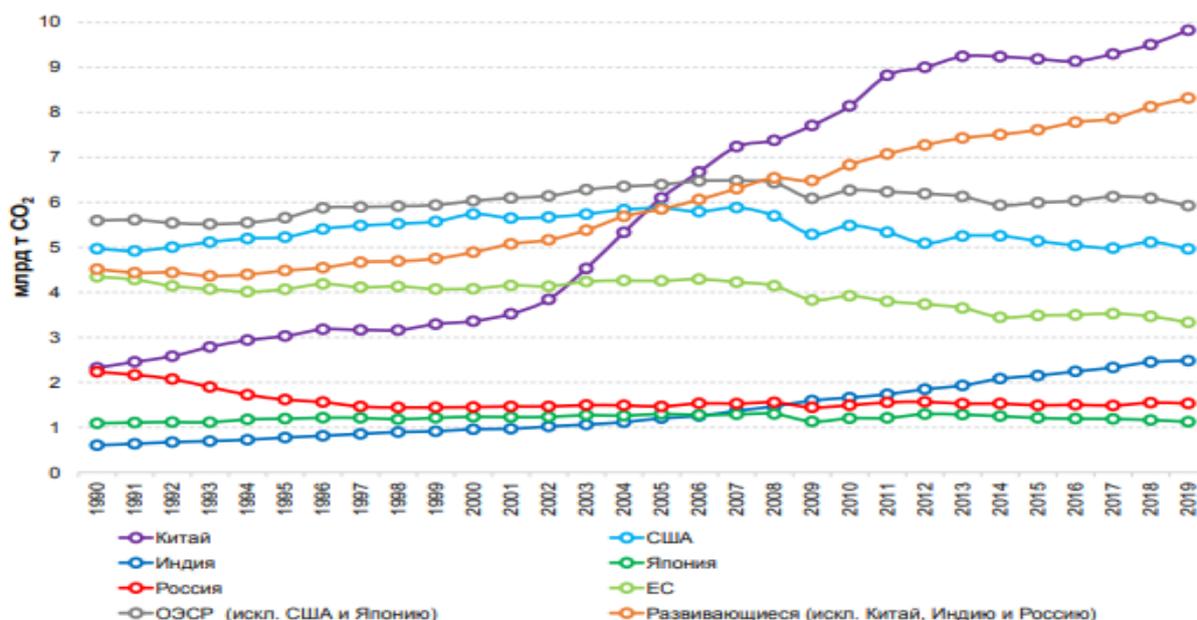


Рисунок 1 - Выбросы CO<sub>2</sub> по ведущим странам и регионам мира, млрд. т CO<sub>2</sub>, 1990–2019 годы

Есть даже определённый запас для роста, а падающая динамика выбросов фиксируется во всех отраслях - лидерах эмиссии, кроме транспорта. Ничего сокращать в абсолютном выражении пока не придётся и Китаю с Индией, которые обязались сокращать выбросы относительно роста ВВП, и, по-видимому, именно по этой причине декларируют всецелую приверженность Парижским соглашениям. Но проблема в том, что, запустив машину глобального экологического регулирования в строго заданных рамках, сойти с неё будет очень сложно [3].

Например, ответственно подходит к исполнению закона компания «СДС – Уголь». В Кемеровской области, г. Кемерово находится «СДС-Уголь», который планирует построить первый в Кузбассе карбоновый полигон для мониторинга выбросов парниковых газов. Под полигоны выделятся три участка земли общей площадью 2 тыс. га. Стоимость проекта может составить до 300 млн. руб.

Карбоновый полигон - это земельный участок, где высаживают растения и проводят эксперименты для контроля за производством и поглощением ими парниковых газов. Обычно растения поглощают 2 т CO<sub>2</sub> на 1 га в год, то есть речь идет о поглощении 4 тыс. т CO<sub>2</sub>. Вся угольная отрасль и угольная энергетика России суммарно выбрасывают 200 млн. т эквивалента CO<sub>2</sub> в год. На «СДС-Уголь» приходится около 10 % всей добычи угля в России, но у компании нет угольных электростанций, которые являются основными источниками выбросов CO<sub>2</sub>. В состав компании входят кузбасские угольные разрезы «Черниговец», «Восточный», «Первомайский», шахты «Южная» и «Листвяжная», обогатительные фабрики и ряд сервисных предприятий. В 2020 году добыча угля у холдинга, по данным ЦДУ ТЭК, снизилась примерно на 17,8 %, т.е. до 20,2 млн. т. «СДС-Уголь» задумалась о создании карбоновых полигонов на фоне планируемого ввода Евросоюзом так называемого углеродного налога с 2026 года. На первом этапе выплаты за ввоз в ЕС высокоуглеродной продукции коснутся производителей железа, стали и азотных удобрений, для которых ущерб может составить от 398€ млн. до 655€ млн. в год. Но европейский регулятор не исключал, что может распространить в дальнейшем этот налог и на другие товары, включая уголь.

Углеродный налог - условное название: фактически импортеры товаров в Евросоюз будут покупать специальные сертификаты и обменивать их на право ввезти углеродоемкую продукцию. Кроме того, «СДС-Уголь» является партнером крупного производителя азотных удобрений «СДС-Азот», который как раз подпадает под действие европейского налога. Если в России создадут систему по торговле зелеными сертификатами, то компании смогут засчитывать в зачет своих собственных выбросов CO<sub>2</sub> результаты, полученные на карбоновых полигонах, подтверждающие потребление диоксида углерода растениями. Это позволит им снижать углеродный след своей продукции, что станет критически важным с 2026 года. Так уже поступают многие нефтяные компании в мире, закупая квоты на полигонах в США, Латин-

ской Америке и Австралии. Нефтяная компания ЛУКОЙЛ также задумывается о покупке подобных сертификатов для поставки на экспорт сырья, свободного от  $\text{CO}_2$ , и строительстве карбоновых ферм.

Министр науки и высшего образования РФ Валерий Фальков заявлял, что ведомство планирует создать в регионах России около 50 карбоновых полигонов для развития системы расчета углеродного баланса. Первые полигоны, появятся в семи пилотных регионах - Чечне, Краснодарском крае, Калининградской, Новосибирской, Сахалинской, Свердловской и Тюменской областях. Первый карбоновый полигон площадью 2,32 га открыли в Тюмени на базе Западно-Сибирского научно-образовательного центра. До конца 2021 года всего будет открыто семь пилотных полигонов, в том числе в Новосибирске. В ходе проекта планируется разработать методики измерения потоков основных парниковых газов - диоксида углерода, метана, оксида азота и других. По словам специального представителя Минобрнауки по вопросам биологической и экологической безопасности Николая Дурманова, национальная сеть карбоновых полигонов нужна для разработки и испытания методик измерения выбросов и поглощения парниковых газов. В недалеком будущем это превратится в отдельную большую индустрию.

Нужна специальная государственная программа по обновлению российских лесов, в том числе по новым посадкам правильных сортов деревьев, поглощающих углекислый газ, а также по развитию деревянного строительства. Зеленые насаждения - это же еще и незаменимые фильтры воздуха. Исследования показали, что один гектар пихтового леса способен задержать за год 32 т пылевидных частиц. Пыль, оседающая на листьях и ветвях деревьев, смывается дождями на землю. В связи с этим запыленность воздуха летом в городском парке, например, на 42 % ниже, чем на обычной улице [4]. По расчетам ученого А.Н. Куприянова, чтобы в Кемеровской области восстановить функцию поглощения углерода естественными лесами, необходимо сажать ежегодно новые деревья на площади не менее 9 тыс. га. Ученый приводит свои расчеты по депонированию углерода:

1 м<sup>2</sup> листьев поглощает за 1 час 0,1  $\text{CO}_2$ ,

1 дерево имеет 20 м<sup>2</sup> листьев,

вегетация 200 дней,

одно дерево консервирует 2 444 л  $\text{CO}_2$  за сезон.

Компенсировать выброс 1 т  $\text{CO}_2$  означает сохранить 764 дерева или 0,4 га леса.

В этом случае через 20 - 30 лет Россия может стать донором, который будет поставлять кислород и убирать  $\text{CO}_2$  по всему миру. За это донорство Россия может получить деньги (например, от продажи квот), сопоставимые со стоимостью продажи газа за рубеж.

#### Библиографический список

1. Как Россия выполняет условия Парижского соглашения [Электрон-

ный ресурс]: сайт.– Режим доступа: <https://www.dw.com/ru/chto-grozit-rossii-iz-za-imitacii-raboty-po-parizhskomu-soglasheniju/a-55912915/> , свободный (дата обращения: 12.12.2020).

2. США завершили выход из Парижского соглашения по климату [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <https://tass.ru/mezhdunarodnaya-panorama/9910097/> , (дата обращения: 04.11.2020).

3. Новая модель низкоуглеродной экономики [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/ritmeurasia/nujen-li-rossii-nalog-na-vybrosy-parnikovyh-gazov-5db6a5ecb477bf00ac531fb2/> , свободный (дата обращения: 22.08.2021).

4. В Кузбассе появится первая частная карбоновая ферма [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://news.ecoindustry.ru/2021/09/v-kuzbasse-poyavitsya-pervaya-v-rossii-chastnaya-karbonovaya-ferma/> , свободный (дата обращения: 02.09.2021).

УДК 669.01

## **ПРОБЛЕМА ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ И ХАРАКТЕРИСТИКА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ НА ИХ ОСНОВЕ**

**Александрова М.Ю.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Раскрыта проблема переработки металлургических шлаков и получения из них готовой продукции. Проведена оценка технологий переработки шлаков металлургического производства. Показана роль шлаковых отходов в структуре металло - и ресурсосбережения. Представлена характеристика наиболее распространенных и перспективных видов продукции из шлаковых отходов металлургического производства, используемых в различных отраслях промышленности.

Ключевые слова: шлаковые отходы, промышленное производство, строительные материалы, готовая продукция, перспективы использования шлаковых отходов.

Металлургическая промышленность производит значительное количество металлургических шлаков. Металлургические шлаки – это, так называемая, пустая порода, образующаяся после металлургической плавки. Удельный выход только сталеплавильного шлака составляет в среднем от 150 до 200 кг/т стали. В доменном переделе этот показатель еще выше [1, 2]. В результате промышленной деятельности происходит ежегодное увеличение шлаковых отвалов в масштабах всей планеты на 200 – 300 млн. тонн. Шла-

ковые отвалы занимают ценные земельные угодья, транспортировка шлака, складирование и эксплуатация отвалов требуют повышенных материальных и финансовых затрат. Они ухудшают ландшафтный дизайн окружающей среды и эстетическое восприятие природы. Шлакоотвалы загрязняют воздушный и водный бассейны и ухудшают химико-минеральный состав почв и сельхозугодий. Пыление шлакоотвалов при сильных ветрах и неблагоприятных погодных условиях (повышенная влажность воздуха, туманы) формирует вторичное загрязнение окружающей среды, отрицательно влияет на здоровье людей и на продуктивность сельскохозяйственных угодий. Экологическая составляющая технологии рециклинга и требования законодательства по охране окружающей среды требуют ликвидации шлакоотвалов, переработки металлургических шлаков и получение на их основе готовой продукции, что благоприятно сказывается на экологической обстановке в промышленном регионе. Другим аспектом переработки шлаковых отходов является возможность использования их в качестве сырья для ресурсосберегающих технологий, позволяющего заменить дорогостоящее минеральное сырье менее дорогими отходами производства. Оба аспекта проблемы позволяют повысить эффективность производства. Классификация металлургических шлаков представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация металлургических шлаков

Минеральный состав шлаков основных переделов черной металлургии отличается незначительно. Минеральный состав шлаков технологий цветной металлургии отличается более существенно. В зависимости от процесса, при котором получают шлаки, они различаются по химическому составу, температуре плавления, вязкости в момент образования и выпуска, газонасыщенности и другими свойствами. В зависимости от химического состава, скорости охлаждения, вида металлургической технологии физические характе-

ристики, прочностные свойства, структура и цвет шлаков существенно отличаются. Шлаки, затвердевшие после кристаллизации, обладают новыми физическими свойствами. Минеральный состав твердых шлаков также может существенно отличаться от состава жидкого расплава. После механической или физико-химической переработки шлаков содержание основных компонентов также меняется. Основные компоненты любого шлака – это неметаллические материалы в форме оксидов широкого класса металлов, металлические включения, газовые пузыри и технологические загрязнители.

Наибольшее количество шлаков производят в доменном переделе. Они являются отходом производства при выплавке чугуна в доменных печах. Чугун и шлак образуются в доменной печи в процессе плавления компонентов шихты: руды, топлива и флюса (известняка или доломита). Шлак, выпускаемый из доменной печи, сливают в шлаковозные ковши и отвозят на участки переработки или на шлаковые отвалы. Отвальные доменные шлаки получают сливом шлакового расплава в отвал и последующей механической разработки отвала. Отвальный шлак представляет собой преимущественно кусковой материал с крупностью отдельных кусков до 100 – 120 мм. Отвалы разрабатывают с таким расчетом, чтобы полученный щебень возможно больше был выдержан на открытом воздухе для освобождения его от распадающихся и сернистых соединений. Основные виды продукции из металлургических шлаков представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные виды продукции их металлургических шлаков

№	Промышленное производство	Наименование продукции
1	Строительное	Шлак, щебень, песок, цемент, пемза, клинкеры, шлако-ситаллы. бетон, литые изделия, наполнитель для строительных изделий и блоков, сооружение дамб, кровельная черепица, дисперсный краситель строительных изделий
2	Дорожное	Дорожное полотно, сооружение водосливов и откосов, асфальтобетон, тротуарная плитка, дисперсный краситель дорожного полотна, дизайнерские и ландшафтные материалы и композиции
3	Огнеупорное и производство тепловой изоляции	Наполнитель огнеупорных и керамических изделий, бетонов, засыпок, теплоизолирующих и торкретирующих смесей, мертелей, подварочных масс, теплоизоляционные блоки, рулоны, ваты, засыпки, композиты, формовочные смеси
4	Химическое	Катализаторы, адсорбенты, реактивы, лакокраски, мастики, защитные и антикоррозионные покрытия, вяжущие материалы и клеи
5	Машиностроительное	Абразивные и пескоструйные материалы (круги, бумага, песок, измельчители массы)
6	Сельскохозяйственное	Удобрения, подсобные и вспомогательные материалы

Наибольший объем продукции из металлургических шлаков используется в строительном и дорожном производстве. Особую ценность они представляют для собственного металлургического производства, для которого характерны минимальные затраты на транспортировку, хранение и переработку. Можно добавить, что отвалы доменные шлаки, переработанные на щебень, применяются для сооружения насыпного полотна железных дорог, отсыпки внутрицеховых территорий, для строительства собственных объектов и сооружений и др. Шлаковый щебень обладает хорошим сцеплением с битумами и, в особенности с пеками, а также с цементными растворами. Продукты переработки могут использоваться как самостоятельно, так и в виде частичного заменителя основного сырьевого материала.

Значительный объем шлаков используют в собственных металлургических технологиях [1 – 4]. В последнее время шлаки успешно применяют для производства огнеупорных и теплоизоляционных материалов [2]. Предлагается использовать металлургические шлаки для каталитической очистки технологических газов от газообразных вредностей и в качестве зернистых насадок для регенеративных горелочных устройств [5]. Содержание в сталеплавильных шлаках до 8 – 12 % остаточного металлического железа и от 15 до 40 % его оксидов делает шлак ценным сырьем для комплексной переработки с максимальным извлечением ценных компонентов и восстановлением железа из оксидов. Содержание оксидов железа в шлаке сопоставимо с уровнем их содержания в бедных природных рудах. При этом выплавка железа из расплавленного шлака путем восстановления оксидов энергетически эффективнее, чем из твердых материалов в шахтных печах. Такая технология позволит в РФ дополнительно извлекать из сталеплавильных шлаков до 1,8 млн. железа без вредных примесей и неметаллических включений. Перспективными направлениями в рециклинге шлаков является их применение для производства абразивных материалов, защитных и антикоррозионных покрытий и мастик, использование их в дизайнерских проектах и в ландшафтном дизайне. Некоторые из этих технологий опробованы опытным путем на кафедре ТЭ и Э СибГИУ.

#### Библиографический список

1. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
2. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
3. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
4. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
5. Павловец В. М. Устройства для промышленной теплогенерации. – Новокузнецк: СибГИУ, 2007. – 218 с.

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ РАСПЛАВЛЕННЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ**

**Александрова М.Ю.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Представлена характеристика и оценка технологий переработки металлургических шлаков и готовой продукции на их основе. Показана роль шлаковых отходов в структуре металло - и ресурсосбережения. Представлена характеристика наиболее распространенных и перспективных видов грануляции и методов диспергирования жидких шлаковых отходов металлургического производства.

Ключевые слова: шлаковые отходы, промышленное производство, готовая продукция, виды грануляции и методы диспергирования.

Металлургическая промышленность производит значительное количество металлургических шлаков. Металлургические шлаки – это отходы, образующаяся после металлургической плавки. Отходами называют неиспользуемые остатки сырья, продуктов или полуфабрикатов, образующихся в результате производственного процесса, не имеющие в данном виде потребительских свойств. Переработка отходов является одним из признаков мало - или безотходного промышленного производства. Способы переработки металлургических шлаков и направления их использования зависят от востребованности конкретной шлаковой продукции, наличия энергоносителей, производственных площадей, экономической целесообразности, от минерального состава и некоторых факторов. Одним из направлений переработки шлаков является их использование в собственном металлургическом производстве: в ремонтно-строительном секторе, для получения низкотемпературных огнеупоров, теплоизоляторов, катализаторов и вспомогательных материалов, для экологических технологий и коммерческой продукции [1-4]. Имеются технические предложения по использованию металлургических шлаков в химической промышленности. Жидкие шлаки могут перерабатываться непосредственно у плавильных агрегатов или выпускаться в шлаковозные ковши и доставляться к первичным шлакоперерабатывающим установкам. Схема наиболее распространенных способов переработки шлаков и направления использования шлакопродукции показаны на рисунке 1.

Первичной технологической операцией переработки жидких металлургических шлаков является перевод жидкости в твердое кристаллическое состояние в форме диспергированных или гранулированных материалов. В этой технологии охлаждение жидких шлаков совмещено с грануляцией. Грануля-

ция – процесс переработки шлакового расплава в остеклованные гранулы посредством резкого охлаждения водой, паром, воздухом или инертным газом. Грануляция расплава может быть припечной или проводиться на централизованных установках с транспортировкой шлака в ковшах. Припечная грануляция используется чаще централизованной. В зависимости от расхода воды различают три вида грануляции: мокрую, полусухую и сухую. В настоящее время в металлургии в большинстве стран получили развитие водные способы грануляции.

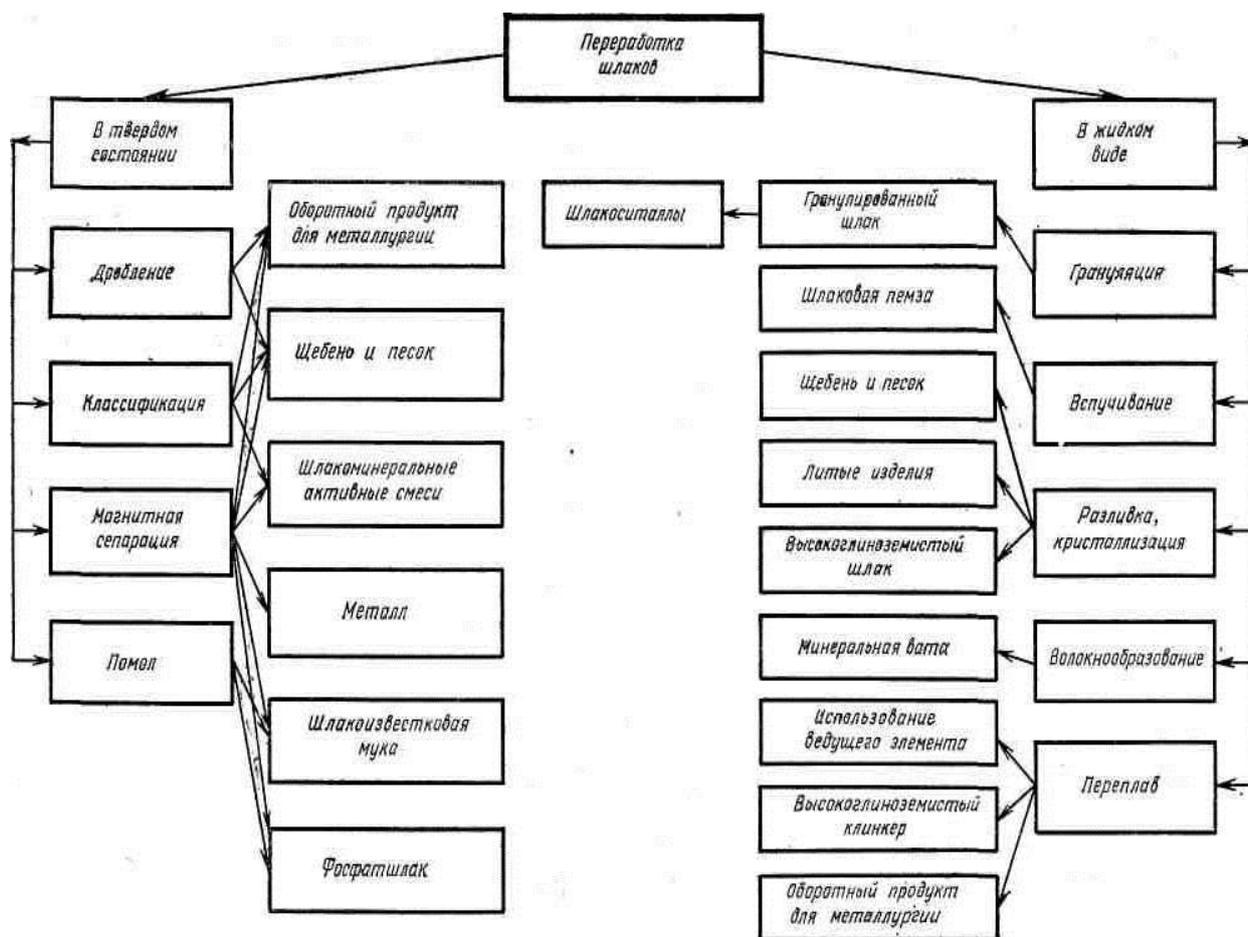
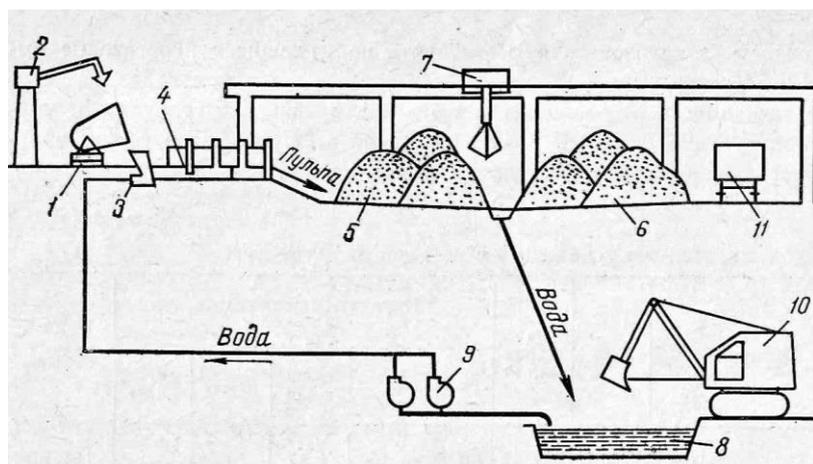
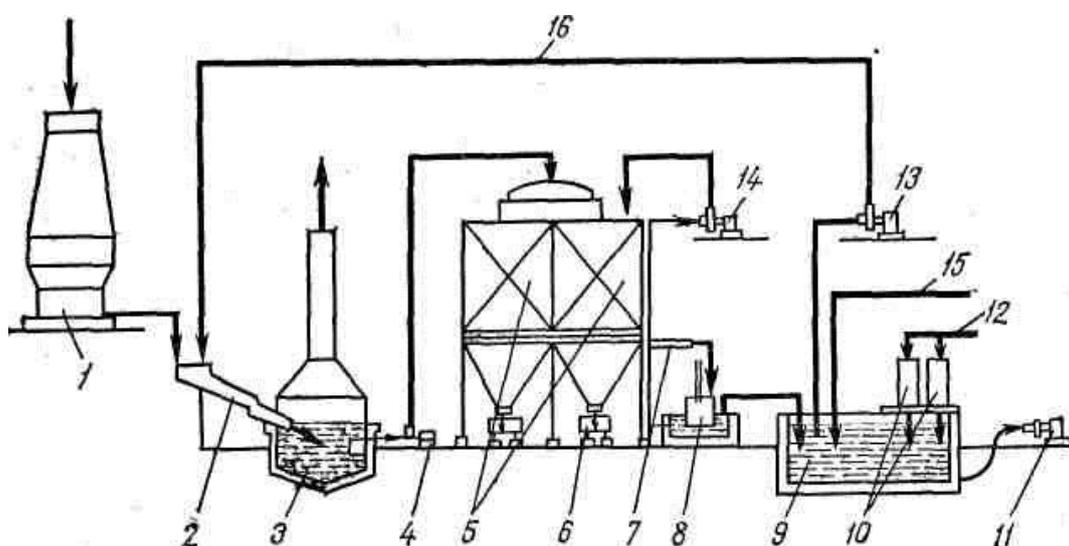


Рисунок 1 – Технологии и продукты переработки шлаков черной металлургии

Схемы припечной грануляции, применяемые в разных странах, показаны на рисунках 2 и 3. Технические характеристики способов грануляции приведены в таблице 1. Наиболее распространен способ гидрожелобной грануляции. Он заключается в дроблении расплава ограниченным количеством воды, подаваемой под высоким давлением на желоб длиной 6–12 м, куда сливается расплав из ковша (рисунок 2). Обезвоживание гранулированного шлака происходит на складе, оборудованном грейферным краном для штабелирования и отгрузки шлака. Стекающая вода поступает в отстойник, а от туда насосами перекачивается в систему оборотного водоснабжения.



а



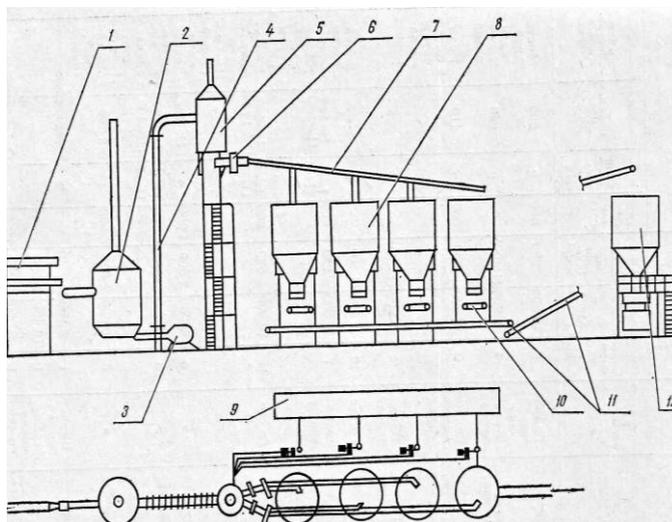
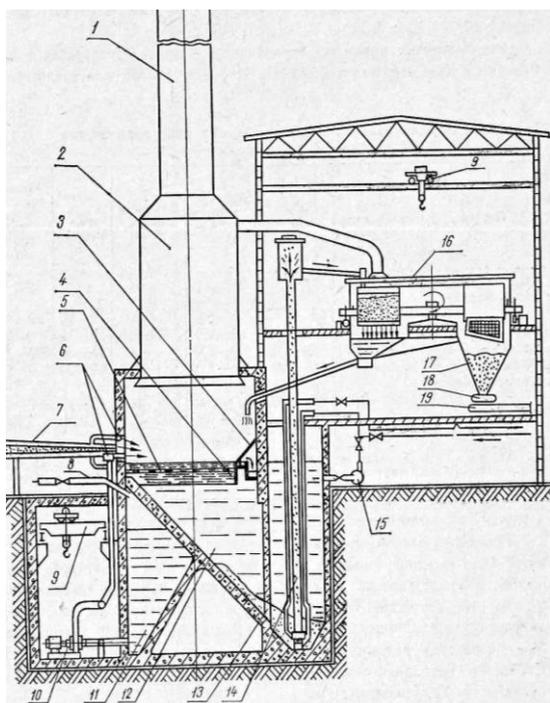
б

В позиции а: 1 – шлаковый ковш; 2 – копер; 3 – сливной лоток; 4 – гранулятор; 5 – обезвоживательная площадка; 6 – склад граншлака; 7 – кран; 8 – отстойник; 9 – насос; 10 – экскаватор; 11 – вагон

В позиции б: 1 – доменная печь; 2 – шлаковый желоб; 3 – пульпоприемник; 4 – пульпонасос; 5 – обезвоживающий резервуар; 6 – вагон; 7 – трубопровод; 8 – отстойник; 9 – водяной бассейн; 10 – охладители воды; 11 – насос; 12 – водовод подачи воды в охладители; 13 – насос подачи воды на грануляцию; 14 – циркуляционный насос; 15 – водовод подачи подпиточной воды; 16 – водовод подачи воды на грануляцию

Рисунок 2 – Схемы придоменной грануляции шлака в РФ – а и в Японии – б

Конструктивное оформление гидрожелебного способа грануляции позволяет использовать различные схемы подачи воды, менять его давление и расход, применять различные конструкции смесительного лотка, гидронасадка и другие устройства. Готовая продукция отгружается скреперной лебедкой и экскаватором. Гранулы поступают в бункер-отстойник, откуда эр-лифтом или насосами перекачиваются в обезвоживатели (рисунок. 3).



а

б

В позиции а: 1 – вытяжная труба; 2 – скруббер; 3 – экран; 4 – скиммерная доска; 5 – решетка; 6 – гранулятор; 7 – желоб; 8 – водовод; 9 – кран; 10 – насос; 11 – камера оборотной воды; 12 – отстойник; 13 – окно; 14 – эрлифт; 15 – насос; 16 – фильтр; 17 – промбункер; 18 – питатель; 19 – конвейер

В позиции б: 1 – желоб; 2 – пульпоприемник; 3 – пульпонасос; 4 – пульпопровод; 5 – резервуар; 6 – распределитель; 7 – желоб-распределитель; 8 – обезвоживатель; 9 – бассейн; 10 – питатель; 11 – конвейеры; 12 – отгрузочный бункер

Рисунок 3 – Схемы припечной грануляции шлака в РФ – а и в Германии – б

Обезвоживание осуществляется в бункерах-обезвоживателях, оборудованных фильтрующими решетками с дополнительным дообезвоживанием на открытом складе (схема используется в РФ). На ряде доменных печей (ОАО НЛМК, РФ) обезвоживание осуществляется в карусельных обезвоживателях, оборудованных коробками с перфорированными откидными днищами. При вращении обезвоживателя каждая коробка последовательно проходит периоды заполнения пульпой, фильтрации воды через отверстия в днищах и разгрузки обезвоженного шлака в бункер. При вододутьевом способе на грануляцию подается воздух при расходе  $100\text{--}200 \text{ м}^3/\text{т}$  и давлении  $0,1\text{--}0,2 \text{ МПа}$ . При вододутьевой припечной грануляции дробление расплава на гранулы и их транспортировка осуществляются потоком дутья (воздуха или азота).

Наиболее высокий коэффициент теплоотдачи от шлака к энергоносителю формируется у воды или у водовоздушного потока. При использовании газового энергоносителя повысить коэффициент теплоотдачи можно более высокой скоростью газового потока, используя сжатый газ или компрессорный воздух, перегретый водяной пар. После разрушения жидкости и охлаждения частиц они накапливаются в приемном устройстве. Более интенсив-

ное охлаждение шлака достигается за счет дозированной подачи воды на разные участки обработки. На доменной печи № 3 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» предложено 2/3 воды подавать в зону накопления и 1/3 на раздув.

Таблица 1 – Технологические параметры различных способов грануляции доменных шлаков и характеристика продукции

	Способ грануляции	Температура шлака, °С	Расход шлака, т/мин	Расход воды, м <sup>3</sup> /т	Давление воды, МПа	Влажность граншлака,	Объемная масса гран-
1	Гидрожелобной	1300–1350	6,0–2,5	1,1–3,5	0,4–0,6	12–20	700–1000
2	Барабанный	1300–1400	4,6–3,6	0,8–2,0	0,2–0,4	10–15	800–
3	Бассейновый	1300–1400	6,0–4,6	1,5–2,0	0,2–0,3	15–30	1000
4	Желобной	1300–1400	3,0–2,6	1,3–2,0	0,3–0,4	15–20	600–1000
5	Припечной	1480–1620	8,0–13,0	3,0–5,0	0,3–0,4	12–17	800–1000
6	гидрожелобный	1400–1550	5,0–10,0	0,6–0,8	0,3–0,4	5–10	900–1200
	Вододутьевой						1000– 1300

В некоторых рубежных странах (Япония) наиболее распространенным способом является грануляции расплавленного шлака на отдельно стоящих установках, которые работают по комбинированному полусухому способу. Поток шлака через приемный желоб поступает в закрытую камеру, состоящую из чугунных плит. В ее передней части находится сопло для подачи воды, которая своей струей разбивает струю шлака на гранулы. Из камеры шлак поступает в нижний желоб, где мощной вспомогательной струей воды он дополнительно охлаждается и одновременно уносится в бассейн. На дне бассейна находится решетка из рельсов, промежутки между которыми заполнены гравием, выполняющим функцию фильтра. Под бассейном расположена воздушная камера для подсушки фильтра и предотвращения забивания его гранулированным шлаком. Конечная влажность граншлака составляет 10 %. В этой технологии применяется обезвоживание гранул с помощью фильтрующего слоя из гранулята. Отгрузка готовой продукции осуществляется с помощью вибротоктов и конвейеров. Все системы герметичны, операции процесса грануляции, наполнения бункеров, промывки сит автоматизированы и механизированы. Решена проблема пневмотранспорта гранулята. Степень рекуперации теплоты шлака составляет более 50 %.

Одним из продуктов переработки шлаков является шлаковая пемза. Пемза получается при обработке шлакового расплава ограниченным количеством воды, воздуха или их смеси, что приводит к его вспучиванию. В этой технологии возможно применение пара, различных газов. В результате обработки образуется сильно поризованный кристаллический продукт

меньшей объемной массы, чем исходный шлак. Существует несколько способов поризации расплава. Гидроэкранный способ включает слив шлака через приемную ванну на желоб, в торец которого подается ограниченное количество воды для поризации и охлаждения расплава. Поризованная масса для формирования равномерной пористой структуры отбрасывается на экран, затем на второй желоб, где дополнительно обрабатывается водой.

Анализ технологий грануляции показывает низкую степень или полное отсутствие использования теплоты расплавленного шлака, гранулированного продукта и нагретой воды. Все материальные потоки аккумулируют значительное количество теплоты, которая теряется при грануляции, если ее полезно не утилизировать. Ее рациональное использование позволит организовать энергосбережение в этих технологиях. Наиболее распространенными теплоутилизаторами в промышленности являются разнообразные теплообменники, выполненные из чугуна, стали или керамики. Учитывая высокую химическую активность металлургических шлаков, целесообразно применение керамических или металлокерамических теплообменников. Правильный подбор теплообменников позволяет обеспечить их долговечность и тепловую эффективность [2, 5]. Полученная тепловая энергия может быть востребована в теплоэнергетике предприятия, использоваться для местных производственных и коммунальных целей. Использование подобных технологий приближает современное металлургическое предприятие к малоотходным ресурсосберегающим производствам.

#### Библиографический список

1. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
2. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
3. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
4. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
5. Павловец В. М. Рекуператоры для промышленных печей. – Новокузнецк: СибГИУ, 2012. – 218 с.

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН НА РЕЗИНОВУЮ КРОШКУ**

**Вдовченко А.С.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Представлена характеристика и оценка технологий переработки автомобильных шин на крошку и готовой продукции на ее основе. Показана роль переработки резинотехнических отходов в технологиях ресурсосбережения. Приведена характеристика наиболее распространенных и перспективных видов резинотехнических изделий на основе резиновой крошки.

Ключевые слова: резинотехнические отходы, измельчение автомобильных шин, резиновая крошка, готовая продукция.

Количество зарегистрированных легковых и грузовых автомобилей и другой спецтехники в РФ составляет более 50 миллионов. По ориентировочным оценкам образование изношенных шин и других отходов резины составляет более 1 миллиона тон в год, включая многочисленные свалки, на которых скопилось более 10 миллионов тон шин, накопленных еще со времен СССР. Это означает, что в процессе эксплуатации автомобильной техники образуется значительное количество отработанных шин, что требует их рациональной переработки. В Кемеровской области одно из самых больших образований изношенной резины в России. По оценкам экспертов прирост объема изношенных шин, образующихся от промышленных предприятий и жителей Кузбасса, оценивается более чем 100 000 тонн ежегодно. Это большая проблема, которой необходимо заниматься. Динамика образования отработанных автомобильных шин приведена в таблице 1. Из таблицы следует, что основной объем подлежащих утилизации шин – это грузовые покрышки, на втором месте шины легковых автомобилей. Специальным шинам отведено более скромное место. Переработка изношенных автомобильных шин в России и странах СНГ на сегодняшний день не развита настолько, как за рубежом. Однако стоит отметить, что в последние годы происходит положительная динамика в технология переработки шин и резиносодержащих изделий: строятся новые заводы, проектируются современные установки и технологические линии.

В РФ существует большое количество производителей резиновой крошки и компаний, предлагающих современное дробильное оборудование для переработки автомобильных шин в резиновую крошку (таблица 2).

Таблица 1 – Динамика образования отработанных автомобильных шин

№	Типы шин в общем объеме отходов	Образование отходов по странам, % от всего объема шин	
		СНГ, Россия, %	США, Европа, страны АТР, %
1	Шины грузовиков с ЦМК	Не более 4. В основном импортные покрышки с ЦМК.	Около 60
2	Шины грузовиков со смешанным типом корда	Около 60. В основном шины радиальной конструкции пр-ва СНГ.	Менее 5
3	Шины легковых автомобилей со смешанным типом корда (содержание текстиля около 1%)	Менее 30. Отечественные и импортные шины радиальной конструкции с содержанием текстиля 30 %	Менее 30. Шины радиальной конструкции с содержанием текстиля 34 %
4	Вездеходные и тракторные шины диагональной конструкции	Около 3. Шины от грузовых внедорожников типа Газ 66, ЗИЛ 131	Менее 3. Тракторные шины фермерских хозяйств.
5	Крупногабаритные покрышки карьерных самосвалов (КГШ и СКГШ) и другой спец. техники с ЦМК	Менее 1,0. Зарубежные специальные шины	Более 5
6	КГШ и СКГШ с диагональной конструкцией корда (текстильный корд).	Около 3	Менее 0,5
7	Авиационные шины	Менее 0,2	Около 0,5

Таблица 2 – Характеристика оборудования для производства резиновой крошки

№	Марка	Внешний вид дробилок	Стоимость, руб
1	Дробилка AMD200D		156 591
2	Дробилка AMD400D		177 468
3	Дробилка AMD600D		162 556
4	Дробилка AMD-600DU		184 231
5	Дробилка PZO-400 DMG/DLG		753 945
6	Дробилка AMD-700DU		261 542
7	Дробилка PZO-600 DKU		1 121 844
8	Дробилка PZO-600 DMS/DL		1 109 612
9	Дробилка PZO-400 DKG		863 033
10	Дробилка PZO-600 DMU/DLU		1 121 844

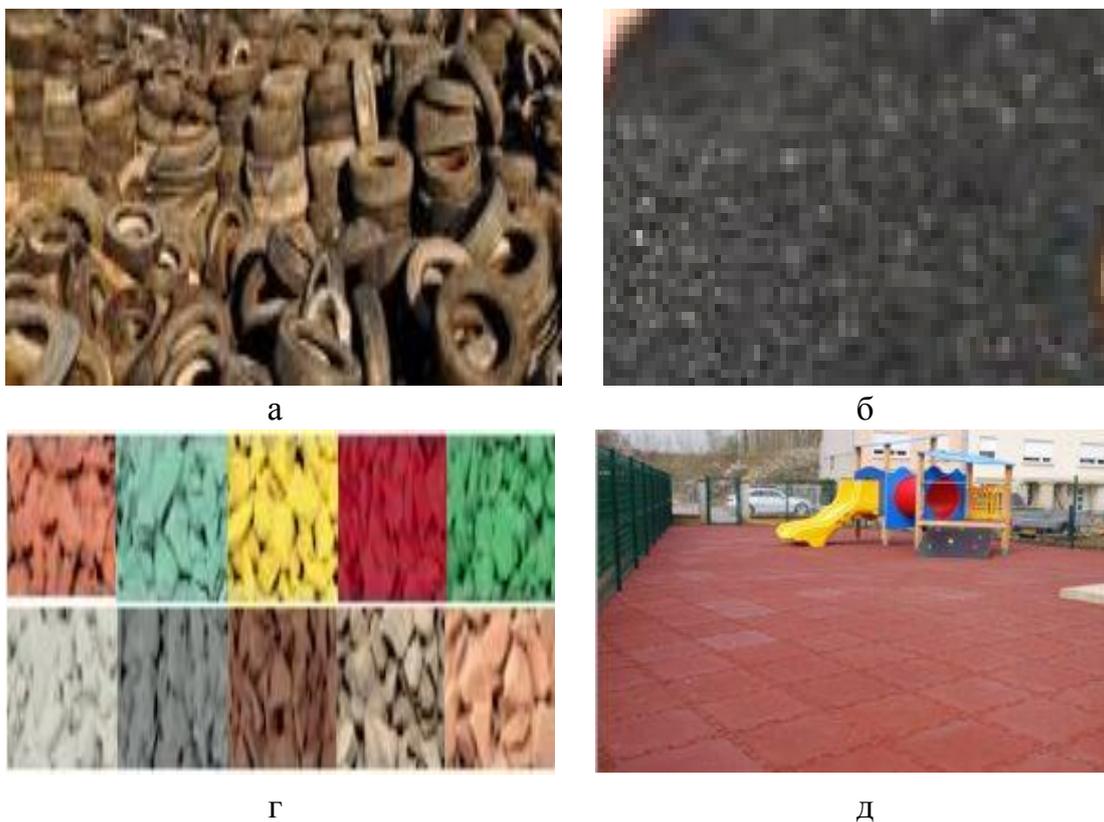
Переработка шин – важное, прибыльное и необходимое дело для современного индустриального общества. Переработка шин позволяет организовать выгодный бизнес, обеспечить высокий спрос на произведенную продукцию, создать рабочие места. Одновременно формируется дополнительная налогооблагаемая база и улучшается окружающая среда. Есть два основных метода утилизации и переработки автомобильных покрышек: механический метод переработки автомобильных шин с получением полуфабрикатов и готовой продукции и пиролиз сырья с получением искусственного органического топлива и углеродсодержащих продуктов.

В промышленности используется ряд полуавтоматических линий измельчения шин (ЛПШ-150, ЛПШ-300, ЛПШ-700) производительностью до 150 – 700 кг/ч по входящему сырью, на выходе по резиновой крошке до 90 – 420 кг/час. Линия ЛПШ включает в себя оборудование для поэтапной разделки и измельчения шин, сепарации частиц проволочного и текстильного корда, разделения частиц резины на фракции. Линия соответствует всем требованиям ТС к данному оборудованию по уровню шума, вредным выбросам, безопасности жизнедеятельности и отходам. Изношенные автомобильные шины, изделия из резины или каучука складываются в непосредственной близости от цеха по переработке. Линия снабжена транспортером для подачи шин с места хранения до цеха переработки, что позволяет существенно снизить стоимость линии, электропотребление и одновременно повысить производительность. Отличается простотой технологии и полной ремонтпригодностью. Линия экологически безопасна, так как в производственном процессе по переработке шин отсутствуют выбросы в грунт и атмосферу. Современное оборудование по переработке шин и производству резиновой крошки предусматривает многоэтапную очистку крошки от включений металлического корда и текстильного волокна, что позволяет получать резиновую крошку более высокого качества.

При механической переработке резины получают резиновую крошку, металлический корд, и текстильный пух. Механическое дробление предполагает переработку покрышек в резиновые частицы различной формы: крошку, чипсы, фрагменты, резиновые гранулы. Промышленность выпускает резиновую крошку размером 0,1 – 2,0 мм и 2,0 – 4,0 мм; с рабочей температурой от - 40 до + 60 °С; насыпной плотностью не менее 0,4 г/см<sup>3</sup>. Массовая доля воды в ней не более 1,5 %. отсутствуют камни и песок, содержание прочих включений менее 1 % в общей массе.

Получение крошки является абсолютно безотходным производством, каждый произведенный товар имеет достаточно высокую цену. Этот способ считается наиболее распространённым и экологически чистым в мире. Резиновая крошка, полученная методом механического дробления шин, наиболее качественная и востребованная на рынке. На нее значительно меньше тратится связующего и пигментного красителя при производстве резиновой плитки или другого напольного резинового покрытия. Востребована резино-

вая плитка на основе резиновой крошки – это продукция, которая обладает уникальными свойствами и характеристиками. На резиновой плитке не образуется луж и наледи, обладает высокой эластичностью и травмобезопасностью, легко укладывается и убирается в случае необходимости. Резиновая плитку удобно использовать в гараже, на даче, балконе, бане, детской, спортивной или игровой площадке. На рисунке 1 показана динамика получения резиновой крошки и ее использования для спортивных сооружений.



а – отработанные автомобильные шины; б – первичная резиновая крошка; в – цветная тротуарная резиновая плитка на основе резиновой крошки; г – плиточное покрытие корта

Рисунок 1 – Динамика получения резиновой крошки и ее использования для спортивных сооружений

Резиновая крошка является промежуточным продуктом для производства готовой продукции. Поэтому она обладает широким спектром использования в различных областях техники. В настоящее время из резиновой крошки производят следующие изделия: регенерированную резину; наполнитель для новых автопокрышек; сырую резну; резиновые детали для автомобилей; вспенивающийся каучук; резиновые шланги и бытовые резиновые изделия; ковры для спортивных площадок и футбольных полей; заливные бесшовные резиновые покрытия; подошвы для обуви; подкладки под ЖД рельсы и железнодорожную фурнитуру; сантехнические прокладки; резиновый шифер и черепицу для кровли; добавки в асфальт (15 – 70 т на 1 километр покрытия); гранулы ЕРДМ; резиновую тротуарную брусчатку; протекторную ленту для восстановления колес; прокладки и уплотнители для две-

рей и окон; причальные отбойники; изделия для тампонирования нефтяных скважин и т.д.

Первичный анализ свойств резиновой крошки и ее химический состав позволяют дополнить возможные области ее применения в тяжелых отраслях промышленности. Поскольку резиновая крошка содержит более 90 % углерода, то появляется возможность ее использования в качестве нетрадиционного восстановителя, заменяющего более дорогостоящие первичные материалы (кокс, уголь, антрацит). Безусловно, это сложная задача, требующая тщательной экспериментальной проработки и выбора кускового материала для исследования (например, агломерата, брикетов или окатышей). Во многих отраслях промышленности (металлургия, машиностроение, химия, производство строительных, огнеупорных, теплоизоляционных материалов, топливных брикетов и др.) используются, так называемые, порообразующие и структурообразующие добавки, формирующие поры и структуру изделий после их выгорания [1, 2]. Можно прогнозировать, что резиновая крошка способна формировать регламентированную пористую структуру у формованных огнеупорных изделий и кусковых сырьевых материалов в металлургии [3, 4]. Ближайшие технические требования к резиновой крошке, как к структурообразующему материалу, направлены на получение резиновых частиц более мелкой фракции 0 – 0,1 мм, которые можно получить дополнительным глубоким измельчением первичного сырья. Близкие к этому предложению технологии отработаны на практике [5]. Безусловно, что в технологии формования или окатыывания дисперсной массы на основе резиновой крошки необходим особый вид связующего, выбор которого также потребует экспериментального анализа. Полученные свойства такого вида сырья следует корректировать с нормативными требованиями. Первичные исследования в этом направлении выполнены на кафедре ТЭ и Э СибГИУ и показали техническую возможность реализации этой технологии.

#### Библиографический список

1. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
2. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
3. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
4. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
5. Патент № 2750432 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020133386/02, Заявл. 09.10.2020; Оpubл. 28.06.2021. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2021. – №19.

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИИ ПИРОЛИЗА ОТХОДОВ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ И ОТРАБОТАННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН**

**Вдовченко А.С.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Представлена характеристика и оценка технологий пиролиза отходов резинотехнических изделий и отработанных автомобильных шин. Показана роль переработки резинотехнических отходов в технологиях ресурсосбережения. Дана характеристика наиболее распространенных и перспективных видов углеродсодержащей продукции на основе переработки резинотехнических отходов и отработанных автомобильных шин.

Ключевые слова: отходы резинотехнических изделий, отработанные автомобильные шины, технологические линии, пиролиз, углеродсодержащая продукция.

Пиролиз углеводородного сырья является одной из наиболее распространенных технологий в химической промышленности [1]. В технологиях переработки техногенного вторичного сырья пиролиз широко используют для утилизации углеродсодержащих отходов промышленности. Он в большей степени отвечает требованиям охраны окружающей среды по сравнению с «традиционным» сжиганием открытым пламенем, поскольку позволяет получать востребованные товарные продукты. Пиролизом можно перерабатывать разнообразные углеродсодержащие промышленные и бытовые органические отходы 2 – 5-го класса опасности, в том числе, нефтесодержащие отходы, нефтешламы, мазуты, шины, смешанные виды отходов, загрязненных водой, песком, ржавчиной, металлами, отходы полигонов ТБО, отходы при добыче нефти и газа; масел; каучука; угля, торфа; отходы растворителей и лакокрасочных средств; медицинские отходы; загрязненный маслами обтирочный материал и спецодежду; полиэтиленовую тару и пленки; ж/д шпалы; отходы рубероида; коксовых масс и др.

Пиролиз углеродсодержащих отходов может протекать в разных температурных режимах. Метод низкотемпературного пиролиза основан на термической диссоциации органических отходов при плавном нагревании в диапазоне температур 0 – 600 °С в отсутствии кислорода и контакта отходов с открытым пламенем. В результате происходит разложение отходов на жидкие и газообразные продукты с минимальным выходом газа и максимальным образованием пиролитического масла (печного/пиролизного топлива) и зольных остатков, оказывающих минимальное вредное воздействие

на окружающую среду (ниже ПДК). Отсутствие кислорода и контакта отходов с открытым огнем гарантируют, что сырье не будет гореть, а также не будет помех для процессов нагревания, плавления, испарения и разложения углеродистых соединений. При высокотемпературном пиролизе (до 1200 °С) отходы сжигаются открытым пламенем, а на выходе преобладают газообразные продукты распада органики. Этот метод менее востребован, поскольку не обеспечивает получения товарной продукции в виде жидкого топлива. Переработка отходов методом низкотемпературного пиролиза – это более перспективное и высоко rentабельное производство с возможностью получать не только плату за утилизацию отходов, но и товарную продукцию в виде жидкого топлива, которое востребовано на рынке. При этом пиролизное оборудование потребляет минимум электроэнергии и работает за счет собственного пиролизного газа. Благодаря утилизационным платежам и реализации получаемого топлива рентабельность производства (переработки отходов) при пиролизе некоторых видов отходов, особенно нефтесодержащих, может превышать 500 %, что делает эту технологию экономически более привлекательной, чем высокзатратная утилизация без получения жидкого топлива. Дополнительную прибыль можно получать от предприятий за утилизацию их собственных нефтешламов. На сегодняшний день стоимость темного печного топлива составляет около 20000 руб/т, а осветленного – уже превышает 35000 руб/т. При всем этом себестоимость переработки отходов, например, на пиролизных установках Т-ПУ1 составляет около 2000 руб/т.

Количество образующегося печного (пиролизного) топлива и углеродистого остатка (технического углерода) зависит от вида и состава сырья (отходов). Так на РТИ, шинах он может достигать 50 %, а на нефтешламах, гудронах, масляных отходах – может быть более 70 %. Получаемое печное (пиролизное) топливо широко применяется для обогрева различных помещений – как жилых, так и производственных; и широко используется в отопительных теплотехнических системах. На сельскохозяйственных предприятиях оно применяется для сушки древесины, сена, зерна. В строительном производстве – для производства асфальта, битума и т. п. По сравнению с другими видами топлива, темное печное топливо имеет ряд преимуществ, самым главным из которых является повышенная теплота горения и мало сернистость. Популярность этого вида топлива растёт и область применения топлива расширяется. Прогнозируется, что в будущем такое топливо займет достойное место в рейтинге нефтепродуктов. Темное печное топливо кроме теплотехнических показателей характеризуют такие показатели, как плотность, зольность, кислотность, коксуемость, кинестетическая вязкость, температура вспышки. Цвет его зависит от типа сырья и может меняться в пределах от светло-коричневого до чёрного. Дополнительное преимущество печного топлива – это простота хранения и транспортировки. Эксперты в этой области техники прогнозируют, что в ближайшем будущем, печное топливо будет основным резервным источником тепловой энергии.

В настоящее время пиролиз углеродсодержащих материалов проводят в установках «Т-ПУ1» объединения ООО ПТК «Пиролиз-Экопром», которое включено Минпромторгом России в список предприятий РФ, производящих отечественное импортозамещающее оборудование. С 2019 года на предприятии производятся новые модернизированные установки, которые потребляют до 1,1 кВт электроэнергии и работают за счет собственного пиролизного газа, вырабатываемого в процессе переработки. Важный параметр для установок Т-ПУ1 – утвержденная в Государственной экологической экспертизе на оборудование санитарная-защитная зона, равная всего 100 метров. Пиролизные установки «Т-ПУ1» имеют низкие показатели по выбросам вредных веществ, таких как диоксины, уровень которых ниже установленных экологическим законодательством. С 2018 г. запущена в серийное производство принципиально новая модель реторты перспективной конструкции, с внутренним объемом 2,58 м<sup>3</sup>. Она выполнена из хромоникелевой титаносодержащей нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т, которая имеет более высокую прочность и устойчива к окислению элементов при высоких температурах горения. Сферическое высокопрочное днище и крышка реторты в несколько раз снижает вероятность его деформации (вытягивания) при нагреве. Конструкция реторты дает возможность при новых варках поворачивать основной корпус реторты относительно крышки на углы, кратные 90 град., что значительно снижает термическую нагрузку на днище за счет периодического поворота зоны нагрева относительно факела горелки печи. В установках «Т-ПУ1» разработан более оптимальный размер реторты (уменьшена высота и увеличен диаметр). Установка обеспечивает лучший и более быстрый прогрев сырья по всему объему, что приводит к сокращению времени нагрева и повышению качества продуктов пиролиза. Снижение высоты реторты облегчает ее обслуживание, позволяет использовать помещение с более низкими перекрытиями и более простые погрузочные механизмы и погрузчики. Теплозащитная футеровка установки изготовлена из огнеупорного волокна, защищенного слоем прочного огнеупорного бетона, армированного нержавеющей сталью. Она обладает высокой стойкостью к механическим и химическим воздействиям, обеспечивает температуру наружной поверхности установки не выше 60 °С, что соответствует рекомендуемым санитарным нормам и безопасно для операторов, которые обслуживают установку в течение всего процесса. Конструкция надежная и снабжена взрывозащитным клапаном и системой аварийного сброса давления газа, что обеспечивает безопасность операторов и оборудования в случае аварийного нарушения процесса. Установка простая в работе и обслуживании и предназначена для мобильного использования. Она имеет стандартные размеры для транспортировки любым видом транспорта; снабжена фланцевыми соединениями во всей конструкции, за счет чего процесс монтажа-демонтажа не требует сварочных работ и занимает минимум время. На поверхности установки сооружена фиксированная бетонная футеровка, поэтому демонтаж ее

не требуется. Установка относится к теплотехническим объектам, обслуживаемым надзорными органами. Поэтому требования по безопасности для нее повышенные. В таблице представлены продукты, которые получают пиролизом углеродсодержащего сырья.

Таблица – Продукты, получаемые пиролизом углеродсодержащего сырья

№	Наименование продукта	Область использования	Выход, %
1	Жидкое печное и котельное топливо	Органическое топливо в котельных и промышленных теплотехнических установках. Вторичное сырье на НПЗ для получения жидких нефтяных фракций – бензиновой, дизельной и мазута.	35 – 45
2	Технический углерод	Твердое топливо в бытовых и производственных установках. Сорбент в очистных сооружениях, в производстве шин, шлангов, кабеля и другой резинотехнической промышленности.	40 – 45
3	Пиролизный газ	Газообразное топливо для теплогенерации и поддержания технологического процесса пиролиза и отопления помещений и промышленных объектов.	10 – 12
4	Металлокорд	Вторичное сырье металлургической и машиностроительной промышленности	8 – 10
5	Парафин	Вторичное сырье химической промышленности	1 – 5
6	Пиролизный шлак	Вторичное сырье для строительной промышленности	2 – 4
7	Тепло	Аккумулируемая теплота в котлах-утилизаторах и теплообменниках для подогрева воды и целей отопления.	

Анализ свойств продуктов пиролиза и их химический состав позволяют дополнить возможные области их применения в тяжелых отраслях промышленности. В частности, для многих тяжелых отраслей производства жидкое и газообразное топливо можно использовать в качестве альтернативного энергоносителя. Твердый углерод можно рекомендовать к использованию в разнообразных сформованных продуктах в качестве порообразующих и структурообразующих добавок, формирующих поры и структуру изделия после их выгорания [2–6]. Его можно использовать в качестве углеродсодержащего наполнителя при производстве углеродсодержащих огнеупоров, например, периклазоуглеродистых, широко используемых в качестве ковшевых огнеупоров в металлургии. Углеродистый порошок способен формировать пористую структуру формованных огнеупорных бетонов и кусковых сырьевых материалов в металлургии. Ближайшие технические требования к углеродному порошку направлены на использование частиц фракции 0 – 0,1 мм, которые можно получить более глубоким измельчением первичного продукта. Безусловно, что в технологии брикетирования или окатывания дисперсной массы для этого типа частиц потребуется особый вид связующего, позволяющего улучшить гидрофильные свойства формуемой массы. Технический углерод после соответствующей подготовки, целесообразно применять для изготовления топливных брикетов, красителей, наполнителей фильтров и др. Получение необходимых свойства у такого вида сырья на основе технического углерода потребуют дальнейших исследований и учета требований нормативных документов. Первичные исследования в этом направлении выполнены на кафедре ТЭ и Э СибГИУ и показали техническую возможность реализации этой технологии.

#### Библиографический список

1. Пиролиз углеводородного сырья / Мухина Т.И. [и др.]. – Москва: Химия, 1987. – 240 с.
2. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
3. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
4. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
5. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
6. Патент № 2743435 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – №2020104648 /02, Заявл. 31.01.2020; Оpubл. 18.02.2021. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2021. – №5.

## **МЕТОДЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕШЛАМОВ И ПОЛУЧЕНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

**Жерлицин О.П., Упоров А.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проведена оценка технологий переработки углешламов в промышленном производстве. Представлен ряд перспективных технологий с использованием углешламов для производства готовой продукции с высокими потребительскими свойствами.

Ключевые слова: углешламы, методы переработки, промышленное производство, потребительские свойства, перспективы использования углеродсодержащих отходов в промышленности.

Уголь и угольный концентрат являются сырьевой базой для получения разнообразных химических и топливных продуктов в энергетике, химической и огнеупорной промышленности, металлургии и в других отраслях техники [1 – 4]. Это особенно актуально при периодическом снижении спроса на уголь в промышленной теплоэнергетике и металлургии. Продукты глубокой переработки угля многократно превышают цену обычного каменноугольного топлива, поэтому угольные предприятия могут получать прибыль от развития углехимии. Практически из угля можно получать более сотни видов химической продукции. Это особенно актуально для Кузбасса – угольного центра РФ, где проводится масштабная добыча угля и возможна его комплексная переработка и отходов, образующихся при его добыче, обогащении и сжигании. В настоящее время в администрации КО на стадии согласования находится Стратегия развития кластера «Комплексная переработка угля и техногенный отходов» на 2022 – 2030 годы, реализуемая ГАУ КО «Малый бизнес». Эта программа содержит три основных направления: добыча и переработка газа (метана) из угольных пластов с получением сжиженного природного газа (СПГ) и компримированного природного газа (КПП); глубокая переработка угля и отходов его обогащения с получением обогащенного угля (углеконцентрат), кокса, пылеугольного топлива, водоугольного топлива, гуминовой кислоты и углеродных сорбентов; переработка золошлаковых и прочих техногенных отходов с получением полиэтиленовых и полипропиленовых гранул, резинотехнических изделий, стройматериалов и сопутствующих продуктов переработки техногенных отходов. Созданный кластер является структурной частью крупнейшего в РФ территориально-производственного комплекса в угольной промышленности и

объединяет ведущие предприятия угледобычи, углеобогащения и предприятия, использующие уголь в качестве источника тепловой энергии и для реализации металлургических технологий (теплоэнергетика, ЖКХ, металлургия, углехимия). В научно-образовательный блок кластера входят ведущие научные и научно-образовательные учреждения КО, включая ФГБОУ ВО СибГИУ. Кроме этого в КО создан НОЦ «Кузбасс», одним из направлений деятельности которого является комплексная переработка низкосортных углей и отходов углеобогащения. Задачи комплексной переработки низкосортного угля включают: разработку технологий производства товарных сжиженных газов из низкокалорийных газов; использование отходов углеобогащения для попутной выработки электрической и тепловой энергии в непосредственной близости от горного предприятия; разработку и создание сорбентов из энергетических углей; разработку технологии получения нового вида сырья для производства углеродных волокон и композиционных материалов в присутствии химических растворителей; разработку технологии получения концентратов оксидов редкоземельных металлов и и рассеянных элементов из углеотходов и золошлаков предприятий ТЭК Кузбасса; разработку технологии выделения гуминовых и битумных веществ с целью получения экологически чистых удобрений, противопыльных препаратов и связующих для брикетирования; разработку и создание теплофикационных установок и теплогенераторов для сжигания низкосортных углей, углеродсодержащих отходов и шахтного метана.

Схема получения угольного концентрата представлена на рисунке 1. Основной задачей обогащения угля является повышение концентрации горючих элементов топлива и улучшение его потребительских свойств для последующей химической или термохимической переработки. Побочным продуктом обогащения угля являются угольные шламы, которые в большей части содержат негорючие золовые компоненты и, в меньшей части, некоторую долю исходных горючих компонентов (таблица 1). Процедуру обогащения можно организовать и для угольных шламов (рисунок 2). Согласно предлагаемой схеме первоначальным этапом переработки угольных шламов является отделение угольной составляющей от жидкой фазы путем сгущения в поле центробежных сил. Процесс переработки также включает механические способы классификации и обезвоживания за счет высокочастотных колебаний грохота и центробежного разделения материалов. В процессе обогащения активно участвует гидрофаза. В результате, получаются два полупродукта – сгущенный угольный шлам, представляющий собой суспензию с содержанием твердой фазы до 60–75 % и технической воды. Отделенный угольный шлам перерабатывается в зависимости от дальнейшего применения (ВУТ, сырье для коксования, полукоксования, твердые энергетические топлива, брикеты и т.д.).

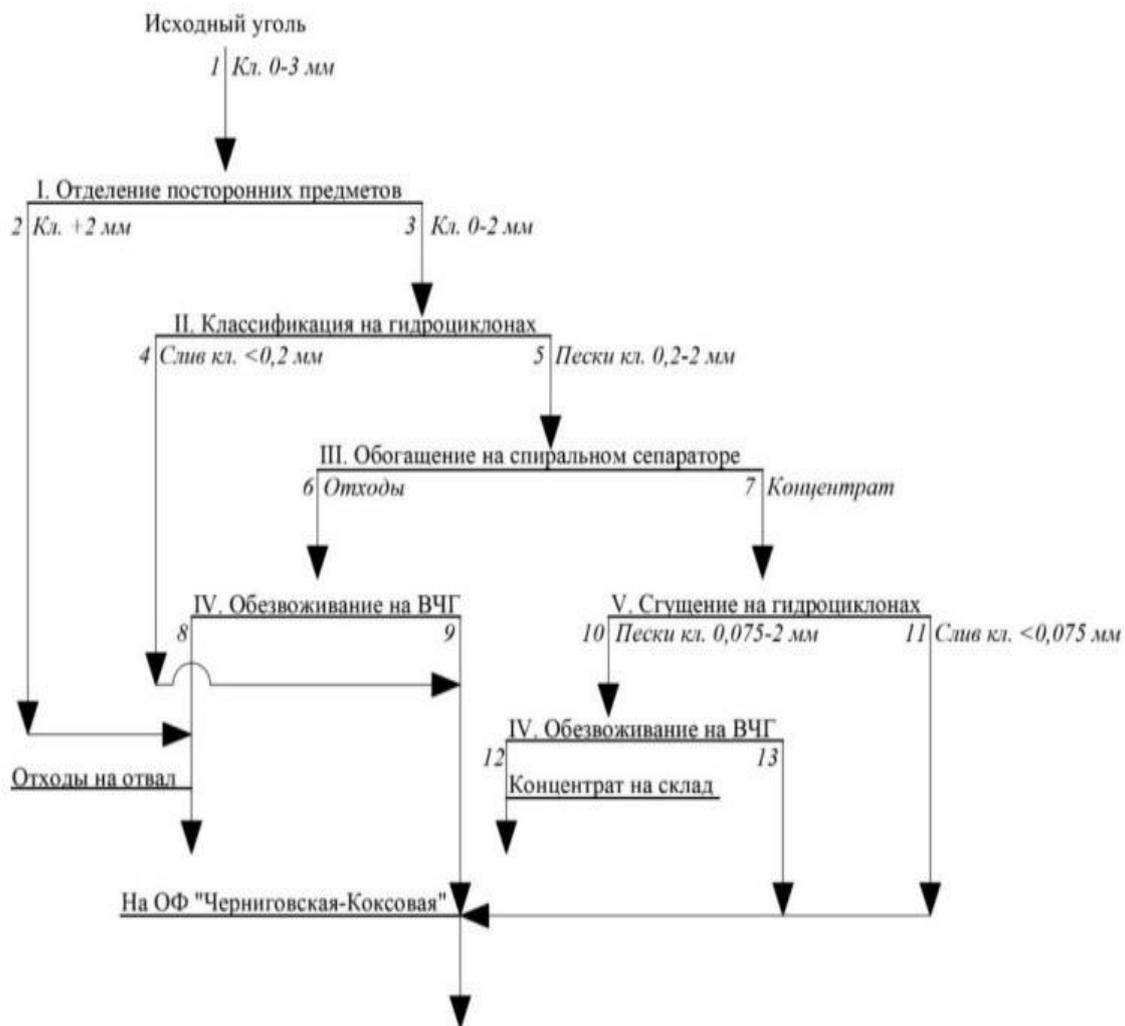


Рисунок 1 – Технологическая схема получения угольного концентрата

Таблица 1 – Технический состав угольных шламов

Наименование показателя	Шлам угля марки:	
	К	Г
Влага аналитическая, %	1,44	1,35
Зольность, %	34,5	38,0
Высшая рабочая теплота горения, кДж/кг	35500	34250
Выход летучих, %	27,85	40,85

При необходимости шлам можно обогатить методом масляной агломерации, так как крупность частиц угольного шлама (менее 500 мкм) не позволяет это сделать другими методами. Принципиальная схема утилизации угольных шламов с получением концентрата и внешний вид топливных брикетов показаны на рисунках 2 и 3.

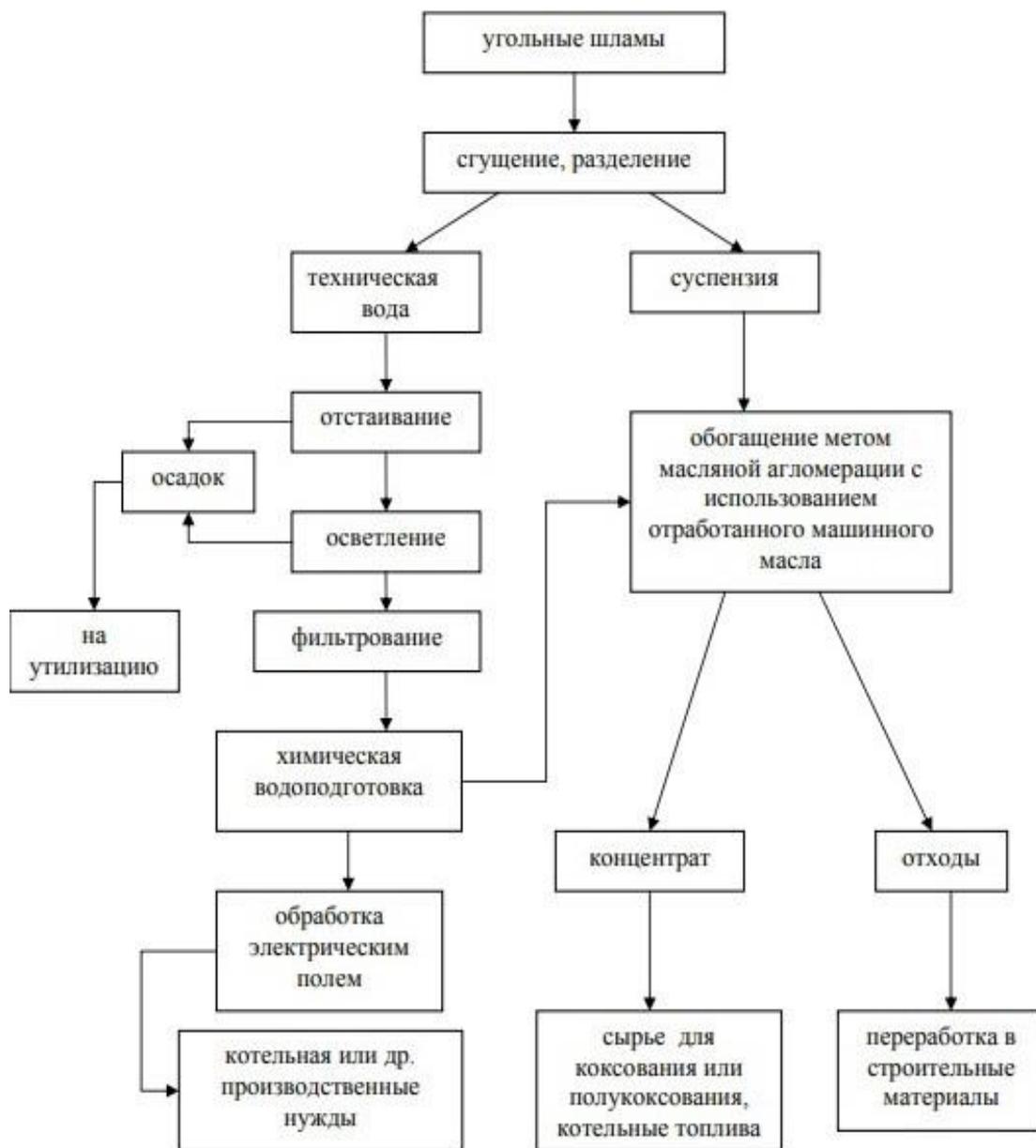
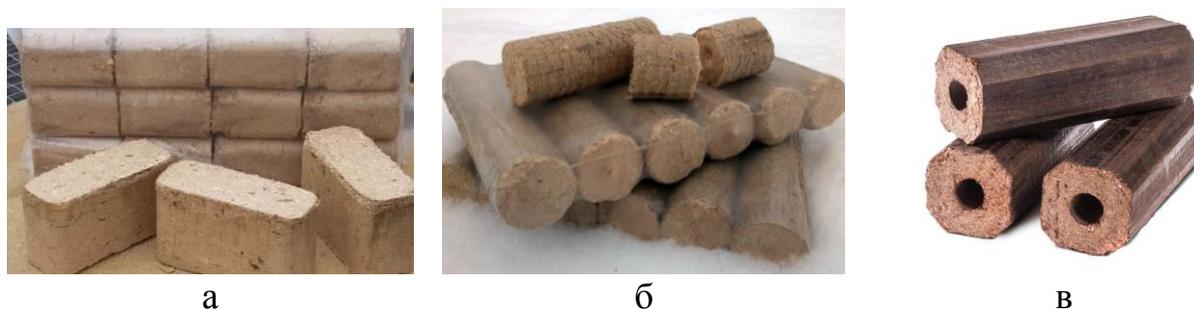


Рисунок 2 – Принципиальная схема утилизации угольных шламов



а

б

в

а – брускового типа (евродрова); б – цилиндрического; в – с отверстием

Рисунок 3 – Внешний вид топливных брикетов

Наиболее ценной частью углешламов является топливная органическая составляющая, которая способна формировать теплогенерацию в котлоагрегатах слоевого горения. Особенно востребованы угольные шламы в форме угольных брикетов, способных усилить газопроницаемость слоя при горении основного энергетического топлива, находящегося в тонкодисперсном состоянии. Угольные брикеты можно получать в виде окускованных материалов разнообразной формы: орехо – и подушкообразной формы, цилиндров, брэксов и др. Они могут быть однородными или содержать порообразующие включения и проницаемые каналы для газов (рисунок 3). Для производства топливных брикетов методом прессования в качестве пластификаторов можно использовать измельченные древесные опилки и древесную муку с размером частиц до 0,1 мм. В качестве связующего целесообразно использовать материалы органического происхождения, в процессе горения которых образуется минимальное количество золы и вредных выбросов. Можно использовать сульфит-дрожжевую бражку (СДБ) или каменноугольную смолу (КУС) [1, 4]. Наиболее рациональным связующим является СДБ, которая является отходом целлюлозно-бумажного производства и относится к сравнительно дешевым материалам. КУС является достаточно вязким материалом, поэтому для ее использования в технологии брикетирования и облегчения смешивания компонентов необходимы органические растворители. В состав топливных брикетов, кроме связующего, может быть введена угольная мелочь, образующаяся после дробления и грохочения топлива, и различные органические отходы производства в форме мелкодисперсного сыпучего материала, повышающего теплотехническую ценность брикетов.

Особую ценность топливные брикеты представляют для производственных котельных, обслуживающих угольные предприятия. Они особенно эффективны при замене угольной мелочи на топливные брикеты. Процесс слоевого горения топливных брикетов характеризуется высокой газопроницаемостью слоя брикетов и стабильностью горения с минимальным физическим и химическим недожогом топлива.

#### Библиографический список

1. Агроскин А.А. Химия и технология угля / А. А. Агроскин. – Москва: Недра, 1989. – 240 с.
2. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с
3. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
4. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ**

**Упоров А.А., Жерлицин О.П.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проведена оценка применения золошлаковых отходов ТЭЦ в промышленном производстве. Показана роль золошлаковых отходов в структуре энерго- и ресурсосбережения. Представлены результаты лабораторных исследований процесса получения строительных материалов на основе золошлаковых отходов ТЭЦ.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, промышленное производство, вяжущие свойства, строительные материалы, перспективы использования золошлаковых отходов ТЭЦ.

Переработка золошлаковых отходов (ЗШО) ТЭЦ позволяет расширить сырьевую базу многих промышленных производств и решить экологические проблемы в теплоэнергетике [1, 2]. Экологическая составляющая технологии рециклинга ЗШО ТЭЦ обусловлены тем, что значительные объемы золы и шлака скопились в отвалах, занимающих ценные земельные угодья. Золоотвалы при неблагоприятных погодных условиях (повышенная влажность воздуха, туманы, сильные ветры) формируют вторичное загрязнение окружающей среды, отрицательно влияют на здоровье людей и на продуктивность сельскохозяйственных угодий. Они ухудшают эстетическое восприятие окружающей природной среды. Поэтому ликвидация золоотвалов благоприятно сказывается на экологической обстановке в промышленном регионе.

По своим минеральным свойствам золошлаковые отходы – ценное сырье для использования в различных отраслях экономики с дополнительным получением дополнительной коммерческой прибыли [3]. Развернутая схема использования ЗШО в различных отраслях техносферы приведена на рисунке 1. Золошлаковые отходы могут использоваться как добавки и наполнители при производстве широкого спектра строительных материалов: песка, цемента, бетонов, растворов, обмазок, смесей, кирпича, тротуарной плитки, дренажных труб и различных формованных изделий разнообразного технологического и строительного назначения. Имеются положительные примеры сооружения жилых и производственных зданий из ячеистых бетонов на основе ЗШО. Их применяют при производстве пористых утеплителей и заполнителей (безобжиговый гравий, азерит, зольный гравий и др.).

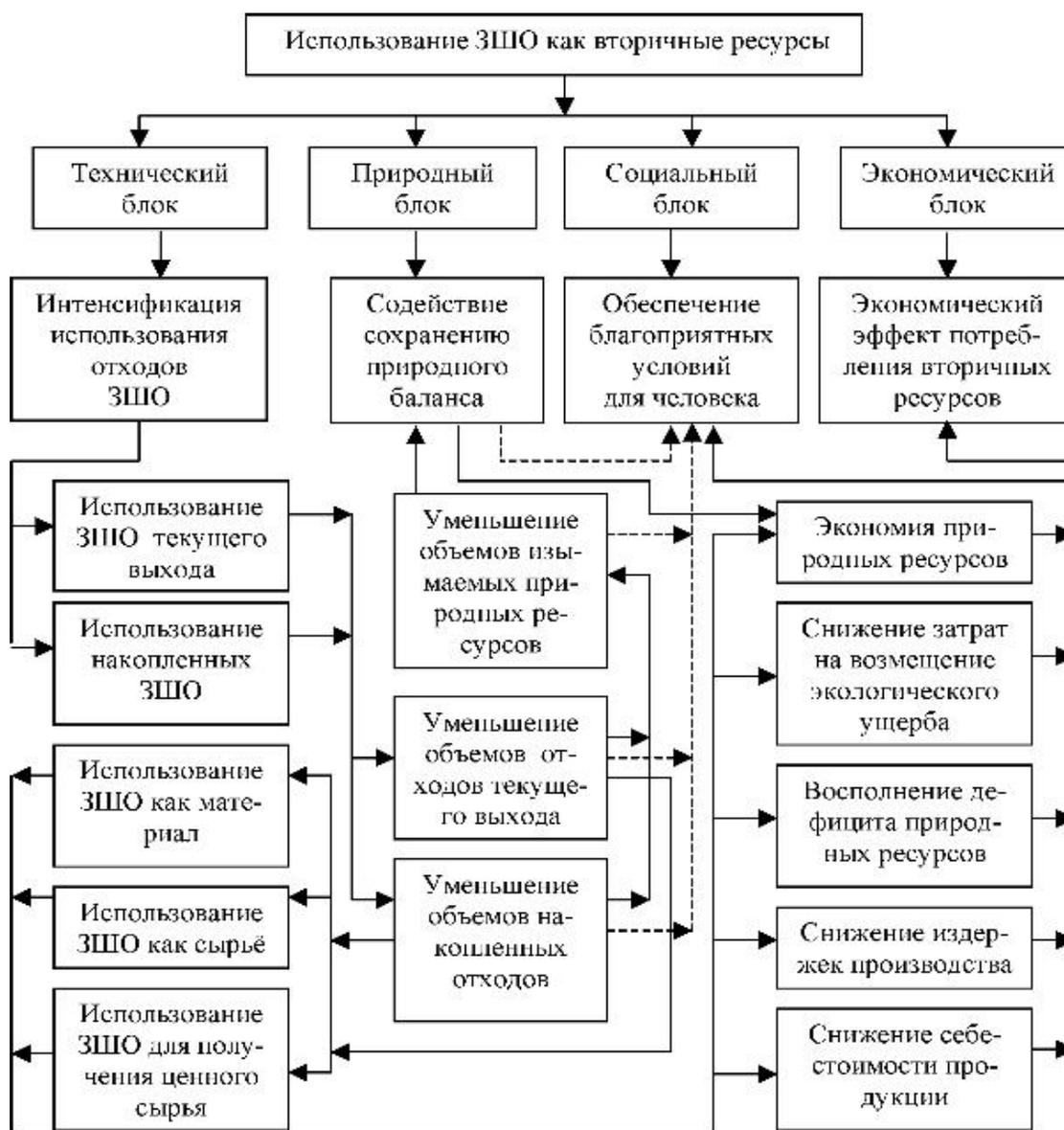


Рисунок 1 – Развернутое использование ЗШО

Они хорошо зарекомендовали себя при укладке в земляное полотно автомобильных дорог и отсыпки заболоченных участков местности. Большие перспективы имеют технологии применения золошлаковых отходов в производстве портландцемента и при получении пуццолановых портландцементов марок 300 – 400. В этих технологиях тонкодисперсные отходы проявляют функции вяжущих веществ, которые позволяют экономить дорогостоящие стандартные связующие, полученные на основе сложных термических и физико - термических процессов. Подобные связующие можно использовать в различных отраслях промышленности, включая металлургическое производство [4 – 6]. Особый интерес представляет использование ЗШО в сырьевой смеси для производства неформованных огнеупорных материалов черной и цветной металлургии: мертелей, засыпок, торкрет смесей, подварочных масс и др. [7, 8]. Наиболее простая технология получения мерте-

лей из ЗШО. Мертель муллитокорундовый – огнеупорная смесь, используемая в качестве связующего для алюмосиликатных изделий, а также для обмазки поверхностей и заделки швов огнеупорной кладки. Из-за высокой огнеупорности муллитокорундовые мертели используют на самых ответственных участках работ по ремонту и строительству различных тепловых и нагревательных печей и устройств. Есть сведения об использовании ЗШО для производства формованных низкотемпературных теплоизоляторов. Их можно применять в качестве частичного заменителя сырьевой смеси для получения теплоизоляционной ваты и порошковых засыпок, каменного литья. Имеются предложения об использовании ЗШО в качестве окрашивающего материала для строительных изделий и уплотнительных смесей. Они могут использоваться как технические добавки в химической и металлургической промышленности для получения лакокрасок и мастик, химпродуктов, сельхозудобрений и др. Есть определенные перспективы использования ЗШО для изготовления керамических и абразивных изделий, теплозащитных покрытий и упрочняющих обмазок.

ЗШО содержат значительное количество существующих в природе элементов, главными из которых являются кремний, алюминий, железо, кальций, калий, титан и др. Содержание химических элементов в ЗШО может колебаться в следующих пределах, %:  $\text{SiO}_2$  – 15–58,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 15–35,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 3–24,  $\text{CaO}$  – 3–55,  $\text{MgO}$  – 0–15. Присутствие ценных металлов (золота, металлов платиновой группы, редкоземельных металлов) нередко достигает величин, оптимальных для промышленной экстракции. Содержание золота может быть от 0,45 до 1 г/т, платины от 6 до 26 г/т, редкоземельных элементов может достигать 0,16 %. Но они трудноизвлекаемы и требуют дополнительных операций по выделению полезных элементов. Эффективно и выгодно перерабатывать техногенный материал комплексно, с использованием всех продуктов с целью исключения перескладирования хвостов обогащения материала. Утилизация отходов в большинстве случаев связана с необходимостью либо их разделения на компоненты (в процессе очистки, обогащения, извлечения ценных составляющих) с последующей переработкой сепарированных материалов различными методами, либо придания им определенного потребительского вида, обеспечивающего принципиальную возможность утилизации отходов.

Любая технология переработки техногенного вторичного сырья – это наука о методах переработки сырья в готовую продукцию, обладающую потребительскими свойствами. Разработку технологии целесообразно начинать с проработки и анализа государственных документов в области обращения с отходами, что позволяет наметить перспективный план утилизации ЗШО. После чего проводят комплексный инструментальный анализ сырья (таблица 1). Основные виды анализа – это химический и минералогический состав отходов. Они позволяют наметить предполагаемые технологии переработки

ЗШО в соответствии с нормативными показателями минерального сырья, используемого для получения той или иной продукции.

Таблица 1 – Первичные технологические процессы переработки ЗШО

Процессы переработки ЗШО	Описание процессов
Анализ государственных документов	Проработка государственных документов в области обращения с отходами
Инструментальный анализ	Выполняют химический, минералогический, технический, гранулометрический анализы для назначения технологии переработки
Складирование	В закрытых ангарах для исключения увлажнения атмосферными осадками
Обезвоживание	Механическим способом или вылеживанием, совмещая с перегрузкой и складированием
Сортирование	Применяют для удаления посторонних примесей, используя металлические сита с отверстиями; проволочные из металлической проволоки, из шелковых, капроновых нитей и других материалов. Виды сортирования центробежное; пневматическое; гидравлическое; магнитная сепарация.
Дробление и измельчение	Применяют для уменьшения размеров частиц и кусков с целью его лучшего технологического использования
Дозирование	Проводят бункерным методом с помощью дозаторов и питателей
Перемешивание	Необходимо для выравнивания физико-химических свойств смеси, что способствует интенсификации процессов вследствие увеличения поверхностного взаимодействия между частицами смеси.
Формообразование или прессование	Формообразование проводят напылением, торкретированием, прессованием, виброполями, шликерным литьем и др. методами
Термообработка	Сушку или обжиг проводят для улучшения потребительских свойств продукции за счёт изменения внутреннего строения и структуры
Готовая продукция	Проверяется на соответствие нормативным документам (ГОСТ, ТУ, технологическим инструкциям, паспортам и др.)

Технический анализ позволяет определить влажность ЗШО, содержание органических и неорганических составляющих, наличие балласта и загрязнителей. Его результаты необходимы для корректировки всего технологического маршрута. Наиболее простой анализ – гранулометрический. Он необходим для определения размеров частиц разных фракций. По его результатам назначают режимы обезвоживания, дробления и измельчения. После чего корректируют технологию подготовки сырья к дальнейшему переделу. Методы переработки должны быть экономически и экологически выгодными и обоснованными. Поэтому также необходим экономический анализ и оценка экологических рисков. Результаты анализа позволяют определить востребованность и конкурентоспособность производимой продукции.

Операции называются первичными, поскольку большинство получаемых материалов являются промпродуктами для получения вторичной (готовой) продукции. Промпродукты, как правило, – это сыпучие материалы определенного фракционного состава. Готовая (вторичная) продукция, в основном, – это сформованные из сыпучих материалов изделия, блоки, покрытия и т.д. При этом на любой стадии процесса возможно промежуточное отделение и складирование промпродукта. Для более сложных технологий в переработку включают термические и физико-химические процессы, физические поля. Некоторые из них можно перечислить: выщелачивание, вымачивание, вылеживание, спекание, варка, сорбция и др. Если отходы загрязнены включениями, то необходима процедура очистки и сепарации. Если отходы находятся в структуре общецехового складирования, то технологии существенно усложняются. В качестве примера на рисунке 2 показана схема технологии полупромышленного обогащения золошлаковых отходов с извлечением магнитной фракции.

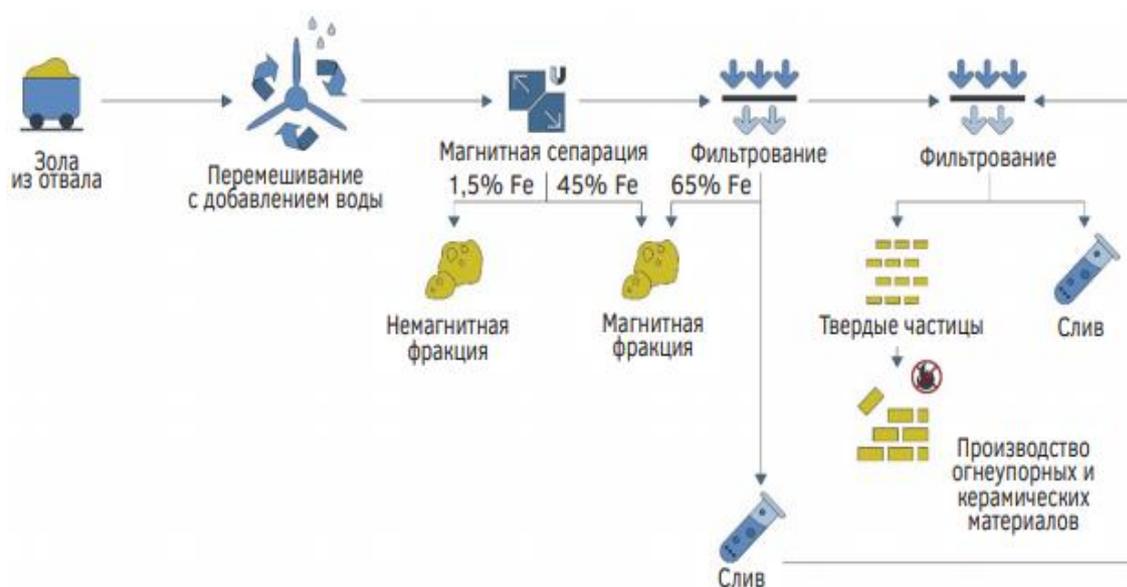


Рисунок 2 – Схема процесса полупромышленного обогащения золошлаковых отходов с извлечением магнитной фракции

Безусловно, для реализации конкретной технологии утилизации ЗШО необходим подбор технологического оборудования. Практика показывает, что в настоящее время на рынке существует значительное количество доступных технологических устройств и оборудования для производства заданной продукции. При этом нет технических или иных ограничений на использование подобного рода технологий и оборудования, что позволяет прогнозировать успешную коммерческую реализации любой технологии переработки ЗШО в промышленности. Наиболее детально в лабораторных условиях проработана технология получения тротуарной плитки на основе ЗШО ТЭЦ (кафедра теплоэнергетики и экологии СибГИУ). Технической особенностью получаемой продукции строительного назначения явилась технология придания цвета поверхностному слою плитки. В рамках этой технологии экспериментально проработана дозировка компонентов и их гранулометрический состав.

#### Библиографический список

1. Теплогенерирующие установки / Г.Н. Делягин [и др.]. – Москва: ИД «Бастет», 2010. – 624 с.
2. Быстрицкий Г.Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий / Г.Ф. Быстрицкий. – Москва: Академия, 2006. – 304 с.
3. Ярошенко Ю.Г. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии / Ю.Г. Ярошенко [и др.] – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012. – 670 с.
4. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
5. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
6. Павловец В.М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2019. – 386 с.
7. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
8. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы в металлургии / В.М. Павловец. – Москва: Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 268 с.

## **РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Зотов Д.К.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

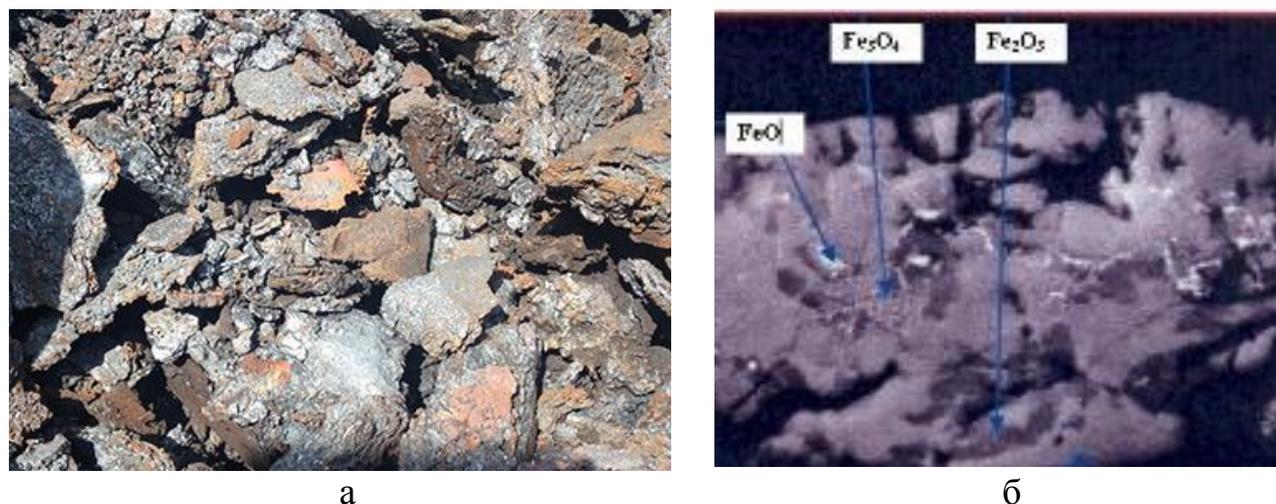
Проанализирована проблема утилизации прокатной окалины металлургического производства. Сформулированы условия оптимизации структуры окускованного металлургического сырья и рассмотрены способы получения железосодержащих брикетов с улучшенными потребительскими свойствами. Предложены технологические возможности по улучшению поровой структуры окускованного сырья и использованию нетрадиционных восстановителей в шихте железосодержащих брикетов.

Ключевые слова: поровая структура, железосодержащие брикеты, металлургические свойства, окускованное металлургическое сырье.

Прокатная окалина является ценным сырьевым материалом для производства окускованного сырья в металлургии [1 – 3]. Содержание железа и железосодержащих оксидов в ней часто превышает содержание этих компонентов в железорудном концентрате. Окалина является товарным продуктом и ее используют как сырьё для производства железного порошка в процессах восстановления кипящего слоя, в конвертерном процессе, для получения первичного металла в металлургических технологиях. Особенности формы и поверхностные свойства частиц окалины позволяют ее окусковывать методом брикетирования [1 – 3]. Форма и структура частиц прокатной окалины зависят от множества факторов. На них влияет скорость нагрева, режим термообработки и ОМД, марка стали, форма заготовки. Для большинства частиц окалины характерна пластинчатость или чешуйчатость размером до 10 мм. На сталепроволочном производстве частицы имеют полукруглые загнутые края. В других технологиях получают пластины с минимальным изгибом. Внешний вид прокатной окалины и ее микроструктура показаны на рисунке 1, а. Минеральная и поровая структура частиц окалины зависит от температуры и состава оксидирующей атмосферы (рисунок 1, б).

В кислородсодержащей атмосфере при температуре выше 570 °С оксидная пленка состоит из трех слоев. Строение окалины на поверхности проката в основном соответствует правилу последовательности превращений. Сначала к металлу примыкает вюстит, затем располагается магнетит, и на поверхности находится внешний слой - гематит. Структура железной окалины, получающейся в промышленных условиях, всегда более сложная. Это

связанно с влиянием различных легирующих элементов, находящихся в стали, неравномерностью состава стали и особенностями производства металла.



а – внешний вид окалины; б – расположение минеральных фаз  
 Рисунок 1 – Микроструктура железосодержащей окалины прокатного производства

На рисунке 3 показана схема металлургического производства, в которую включена технология окускования металлосодержащих отходов путем производства железосодержащих брикетов [1].

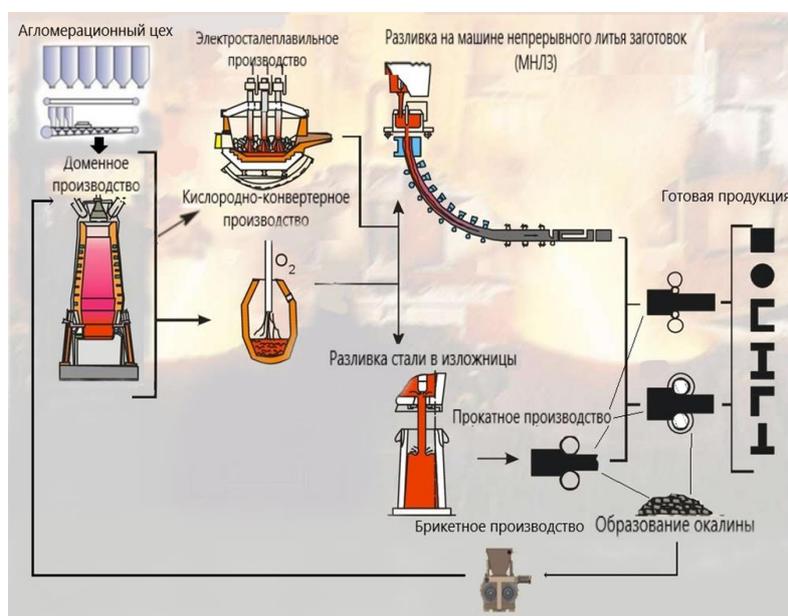


Рисунок 3 – Схема металлургического производства

Основными структурными свойствами окускованных металлургических продуктов являются: характер пористости (общая, открытая, закрытая), размер, форма, извилистость пор, газопроницаемость, фильтрационная способность и некоторые другие. Для железорудных брикетов большинство физических свойств являются структурночувствительными. Пористость и ее

характер у окускованных материалов являются определяющими при восстановительно-тепловой обработке железорудных окатышей, брикетов и агломерата. Поры выполняют основные транспортные задачи по переносу газовой фазы к твердому материалу. Газовая фаза в пиromеталлургической технологии присутствует на всех участках технологии, начиная с сушки и обжига, и заканчивая восстановительно-тепловой обработкой в шахтной печи на заключительной стадии металлургической плавки. Газовую восстановительную фазу в структуре сырья обеспечивают восстановители – углеродсодержащие добавки, вводимые в состав шихты на участке брикетирования. Традиционные восстановители (кокс, уголь) являются достаточно дорогостоящими продуктами, частичная замена которых на альтернативные восстановители позволяет снизить себестоимость первичного металла. В настоящее время стоит задача по разработке новых восстановителей, относящихся к техногенным вторичным материалам.

Поры формируются порообразующими добавками, также вводимыми в состав шихты при брикетировании. Как правило, они также имеют органический состав. Они должны формировать заданные характеристики поровых каналов в структуре брикетов. При формировании структурных свойств у окускованного сырья ориентируются на формирование проницаемых для технологических газов слабоизвилистых пор, на границах которых способны активно протекать термохимические реакции. В ходе сушки канальные поры должны обеспечивать облегченную диффузию пара из центральной части куска на его поверхность, чтобы исключить формирование предельных структурных и термических напряжений и трещинообразование в структуре брикета. Повышенная реакционная способность любого окускованного металлургического сырья благоприятна для режима фильтрации горновых газов через поры в процессе термообработки. Прямолинейные малоизвилистые поры обладают меньшим аэродинамическим сопротивлением и легче пропускают технологические газы.

Извилистая структура с переменным сечением пор обладает более высоким сопротивлением и создает затруднения для фильтрации газов. Чем больше диаметр пор, тем легче газы проходят к центру брикета, но при этом снижается прочность куска. Пора малого диаметра в меньшей степени разупрочняет брикеты, но создает повышенное сопротивление для диффузии газов. В результате этого появляются диффузионные затруднения в центральной части куска, обусловленные кинетическими ограничениями, возникающими при переносе газовой фазы от поверхности к центру [1, 2]. По-видимому, при формировании окускованного продукта с дифференциальной пористостью поверхностная зона должна всегда быть более прочной, чем центральная зародышевая часть [3].

Основные методы формирования структурных свойств у большинства сформованных продуктов в металлургии приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Методы формирования структуры сформованных продуктов

Параметр структуры сформованного продукта	Метод воздействия	Технологические операции
Общая пористость	1. Применение выгорающих и вспенивающих добавок	1. Введение в состав шихты частиц органических топлив и материалов
	2. Применение специальных режимов сушки и обжига	1. Многоступенчатая сушка и циклическое реакционное спекание
Характер пористости (открытая, закрытая, проницаемая, непроницаемая и т.д.)	1. Применение специальных стабилизирующих добавок	1. Введение в состав шихты трубчатых древесных и растительных частиц, тканевых и волосяных нитей
	2. Применение специальных методов формования	1. Формирование канальной пористости полусухим, инъекционным формованием, вибропрессованием и др. 2. Использование аэродинамических методов формования
Форма пор (сферическая, овальная, канальная, извилистая, сложной формы) и характер извилистости	1. Подготовка специальных гранулометрических и минеральных составов шихты	1. Применение полидисперсного состава добавок. 2. Применение расширяющих компонентов с различными коэффициентами термического расширения. 3. Использование испаряющихся связующих
Влажность продукта	1. Уменьшение влажности тела применением специальных методов формования и поглотителей влаги	1. Полусухое формование и торкретирование. 2. Способ струйной теплосиловой обработки и напыления

Для формирования открытой пористости можно использовать технологию теплосилового напыления влажной шихты на гарнисаж [4]. Более простая схема порообразования – использование выгорающих и вспенивающих добавок [5]. В технике подготовки металлургического сырья добавки должны иметь высокие поверхностно-активные свойства и обеспечивать необходимую холодную и горячую прочность. Они не должны ухудшать условия плавки, быть распространёнными и обладать невысокой стоимостью,

характеризоваться низкими транспортными затратами, вносить минимальное количество примесей, опасных для персонала и снижающих качество конечного окускованного продукта, не требовать сложных приёмов и операций по их использованию. Близкие требования предъявляют к твердым восстановителям, вводимым в состав шихты вместе с порообразующими добавками. Реальным методом сокращения числа добавок в шихте железосодержащих брикетов на основе прокатной окалины является выполнение ими параллельных функций, одновременно обеспечивающих порообразование в структуре окускованного материала и металлизацию сырья. Если требуется создание открытой, канальной пористости, что является достаточно трудной задачей, то жидкое агрегатное состояние добавок желательно ограничить и ориентироваться на использование твердых частиц преимущественно игольчатой формы. Такие частицы можно получить, используя растительное сырье в виде отходов сельскохозяйственного производства. Технология получения железосодержащих брикетов на основе порообразующих добавок растительного происхождения в форме игольчатых частиц достаточно хорошо отработана на кафедре теплоэнергетики и экологии СибГИУ [6]. Она показала техническую возможность получения безобжиговых брикетов, обладающих повышенной восстановимостью в металлургической плавке.

#### Библиографический список

1. Ожогин В. В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья / В. В. Ожогин. – Мариуполь: ПГТУ, 2010. – 442 с.
2. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
3. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
4. Патент № 2698000 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2019117140/02. Заявл. 03.06.2019; Оpubл. 21.08.2019. Бюл. №24 //Изобретения. Полезные модели. 2019. – № 24.
5. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – 334 с.
6. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.

## **ВОЗМОЖНОСТИ ТЕПЛОСИЛОВОГО НАПЫЛЕНИЯ ВЛАЖНОЙ ШИХТЫ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРИСТОСТИ ОКУСКОВАННЫХ ПРОДУКТОВ**

**Зотов Д.К.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проанализирована проблема структурообразования окускованных металлургических продуктов. Сформулированы условия оптимизации структуры окускованного сырья и рассмотрены способы получения железосодержащих брикетов и окатышей с улучшенными металлургическими свойствами. Предложены мероприятия по расширению технологических возможностей техники напыления.

Ключевые слова: теплосиловое напыление, поровая структура, железосодержащие брикеты, металлургические свойства, окускованное сырье.

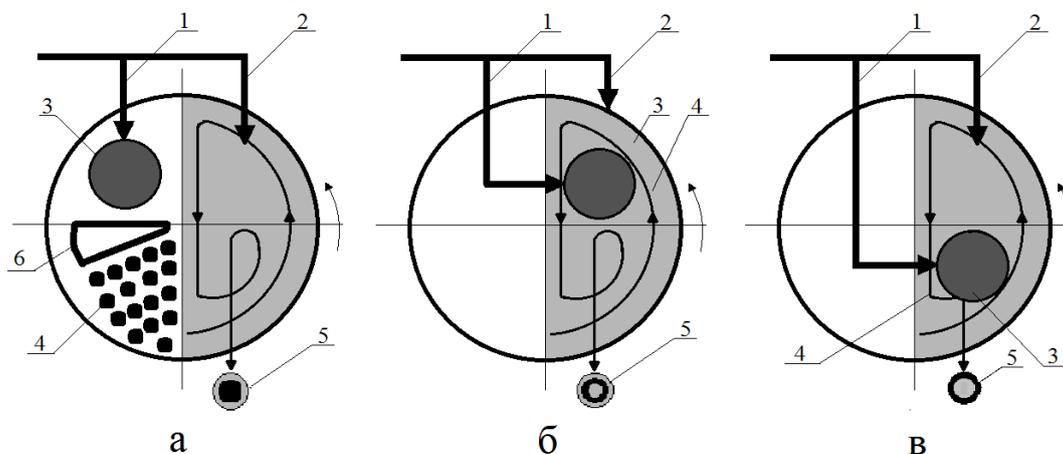
Для формирования структурных свойств у большинства сформированных продуктов в различных отраслях техники (металлургия, огнеупорное, строительное производство и др.) применяют разнообразные технические средства и технологические добавки [1 – 3]. Основными из этих средств являются следующие: применение специальных методов формообразования, сушки и обжига, использование выгорающих, вспенивающих, стабилизирующих и структурообразующих добавок, формирование специальных гранулометрических, минералообразующих и расширяющих составов шихты и некоторые другие. Следует отметить, что повышенные требования к окускованному металлургическому сырью по содержанию железа достаточно сильно ограничивают применение технологических добавок и расширяют использование технологических методов формирования поровой структуры в производстве огнеупоров и железорудных окатышей [4, 5]. Одним из способов формирования структурных свойств у окускованных продуктов, в частности окатышей, без применения порообразующих добавок, является получение окатышей по двухступенчатой технологии, одна из ступеней которой позволяет формировать большую часть массы окатышей теплосиловым напылением влажной шихты на стадии загрузки и окомкования [6 – 8]. В качестве источника давления, структуро- и формообразующего энергоносителя в этой технологии используется холодный или нагретый до 100–150 °С компрессорный воздух. С помощью воздушно-шихтовой струи (ВШС) он позволяет сформировать влажный напыленный слой (НС) шихты практически на любой технологической поверхности (шихта, металл, резина, слой зародышей или окатышей и др.) [8]. В технологический цикл производства сырых

окатышей на основе техники напыления (Н) включены операции окомкования шихты (О) и доокомкования (Д) зародышей (З). Опытным путем отработаны многочисленные комбинированные технологии, которые успешно исследованы в лабораторных условиях и показали высокую практическую эффективность [3]. Некоторые технические показатели указанных технологий и получаемых окатышей в сравнении с традиционной технологией (ЗО) приведены в таблице 2 [3, 5].

Таблица 2 – Технические показатели технологий получения окатышей

Технические показатели	Технологии получения окатышей			
	ЗО	ЗНД	ЗОНД	ЗОН
Площадь напыления, % от площади тарели	-	30-40	20-30	15-25
Площадь, занятая материалами, %	40-50	70-90	40-50	40-50
Относительная производительность, %	100	115-130	105-115	110-125
Массовая доля напыленного материала в структуре окатышей, %	-	до 60	до 30	до 50
Эффективность напыления, %	-	до 90	до 70	до 50
Скорость прироста массы окатышей, г/с	0,01-0,03	0,08-0,24	0,05-0,14	0,08-0,31
Снижение влажности окатышей после окомкования, %	-	0,4-1,2	0,4-1,0	0,5-0,9
Интенсивность влагоудаления в процессе зародышеобразования, кг/(м <sup>2</sup> · с)	-	(4-8) · 10 <sup>-3</sup>	(5-10) · 10 <sup>-3</sup>	(5-10) · 10 <sup>-3</sup>
Температура трещинообразования, °С	550-580	600-740	580-650	580-620
Пористость, %	23-28	28-35	26-32	28-34
Количество открытых пор, %	20-25	25-30	22-26	24-28
Относительная прочность окатышей, %	100	90-110	90-100	85-95

Схемы получения окатышей на основе теплосилового напыления влажной шихты на шихтовый гарнисаж тарельчатого окомкователя и комкуемые материалы показаны на рисунке 1.



1, 2 – самостоятельные потоки загружаемой шихты; 3 – напыленный слой (позиция а), область напыления (позиции б, в) в слое комкуемых материалов; 4 – зародыши; 5 – годные окатыши; 6 – делитель НС

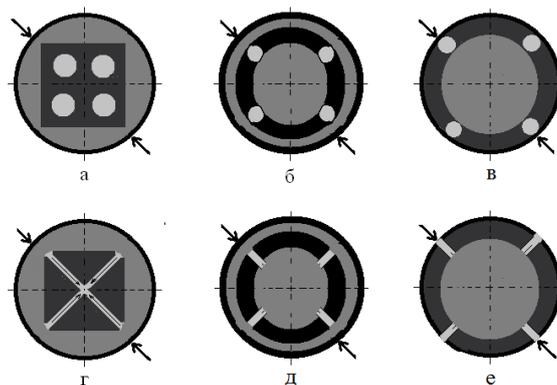
Рисунок 1 – Схемы получения окатышей на основе теплосилового напыления влажной шихты на шихтовый гарнисаж тарельчатого окомкователя – а и комкуемые материалы – б, в

Большинство технических решений на основе струйного теплосилового метода напыления имеют охранные документы [6 – 8]. Наиболее изучен и успешно реализован в лабораторных условиях процесс получения окатышей на основе технологии принудительного зародышеобразования (ЗНД), в котором зародышевая часть окатышей, ее поровая и влажностная структура формируются теплосиловым напылением влажной шихты на донный гарнисаж в холостой зоне окомкователя [3]. В этой технологии у зародышей формируется пониженная влажность и благоприятная поровая структура с повышенным количеством открытых пор, для которой можно допустить некоторое снижение прочности центральной части окатыша. Пониженную прочность зародышей можно компенсировать более высокой прочностью оболочки окатыша или использованием упрочняющих добавок. Для получения годных окатышей дополнительно предусмотрены операции механического деления НС на зародыши, сфероидизации зародышей и их доокомкования в режиме переката в рабочей зоне окомкователя. Технические показатели технологии ЗНД и окатышей имеют максимальные величины (таблица 2). Схема производства окатышей по технологии ЗНД показана на рисунке 1, а.

В технологиях ЗОН и ЗОНД зародышами являются малоразмерные окатыши диаметром от 4 до 12 мм. По технологии ЗОНД на поверхности зародышей размером 4–7 мм в процессе формирования массы окатыша напылением создается промежуточный напыленный слой шихты, масса которого может достигать 50 % (рисунок 1, б). Причем для формирования напыленной

прослойки шихты можно организовать несколько проходов окатышей через самостоятельную зону напыления, либо расширить последнюю, используя многоструйное напыление [3]. При этом площадь, занятая комкуемыми материалами на окомкователе, и расстояние, пройденное зародышами при формообразовании на тарели окомкователя, способны возрасти на 5–10 % за счет искривления траектории движения, деформации и выдавливания слоя окатышей в холостую зону агрегата. В процессе ЗОН на поверхности гранул размером 8–12 мм, сгруппированных в циркуляционной зоне окомкователя, на комкуемых материалах напылением влажного материала формируется шихтовая оболочка. В этой технологии процесс напыления является финишным, после которого окатыши достигают кондиционных размеров (14–16 мм) (рисунок 1, в). Прочность поверхностной оболочки можно повысить на 5–15 % по сравнению с технологией ЗО, используя более высокое давление ВШС, но в ущерб некоторым структурным характеристикам окатышей. В этих технологиях зародышевая масса из НС формируется окомкованием влажной шихты в режиме переката, поэтому здесь отсутствуют механические элементы сопровождения, но эффективность напыления, массовая доля напыленного слоя в окатышах и некоторые технологические характеристики несколько ниже, чем в процессе ЗНД. Разработанные процессы легко внедряются на действующем производстве с минимальными затратами на реконструкцию. При необходимости можно переориентировать потоки шихты и легко вернуться к традиционной технологии (ЗО), основанной на капельном зародышеобразовании и доокомковании в режиме переката.

Техника напыления достаточно широко применяется в различных металлургических процессах [1, 2, 4]. Технологии на основе напыления обладают рядом технологических преимуществ и имеют большое количество управляющих воздействий, как в самом производстве, так и в процессе улучшения физических свойств обрабатываемых изделий. Это в полной мере относится к производству окатышей, где использование метода напыления влажной ВШС открывает большие возможности для воздействия на структуру зародышей и получаемых окатышей [3]. У напыленного слоя в широких пределах можно менять прочность, плотность, влажность, пористость и ее характер. Специфическое силовое поле, формируемое ВШС на поверхности напыленного слоя, позволяет создать оригинальные структурные изменения, повысить количество открытых пор и уменьшить их извилистость [8, 9]. Причем указанный характер пористости и более высокая прочность сохраняются и после высокотемпературного обжига. Преимущественное формирование открытых и малоизвилистых пор (до 35–40 % у зародышей) благоприятно сказывается на повышении реакционной способности обожженного окускованного сырья [1, 8, 9]. Вероятные структурные схемы двухслойных окатышей и схема взаимодействия технологического газа с рудным каркасом железорудных окатышей, полученных по технологии ЗНД, показаны на рисунке 2 а, г, ЗОНД – б, д и ЗОН – в, е.



В позиции: а, б, в – схема окатышей с закрытыми порами; г, д, е – схема окатышей с открытыми порами

На рисунках: черное – область окатыша, полученная теплосиловым напылением влажной шихты, серое – область окатыша, полученная окомкованием влажной шихты в режиме переката, белое – поры окатыша

Рисунок 2 – Структурные схемы двухслойных окатышей и схема взаимодействия технологического газа с рудным каркасом железорудных окатышей, полученных по технологиям ЗНД – а, г, ЗОНД – б, д и ЗОН – в, е

Структурные схемы окатышей, полученных с преобладанием закрытых пор, приведены в позициях а, б, в (рисунок 2). В позициях г, д, е (рисунок 2) приведены структурные схемы окатышей с преобладанием открытых пор. Технологии на основе теплосилового напыления шихты менее требовательны к комкуемым свойствам сырья и позволяют успешно применять разнообразные труднокомкуемые (топливные, упрочняющие, порообразующие, минералообразующие, грубодисперсные, гидрофобные и др.) добавки, легко напыляемые на влажные шихтовые поверхности, позволяя создавать необходимую регламентированную структуру железорудных окатышей [1, 8, 9]. Однозначно ответить на вопрос о том, какая из этих технологий или технологических схем наиболее эффективна, достаточно проблематично, поскольку закономерности формирования структурных свойств железорудных окатышей и многие другие процессы, сопутствующие новой технологии, требуют более тщательного изучения. При этом каждая из них требует дополнительной оценки на предмет экономической эффективности, объема производственных и эксплуатационных затрат, надежности вспомогательного оборудования, поведения окатышей в металлургической плавке и др. Что в свою очередь требует дополнительных исследований и получения более обширной научной информации.

Преимущества технологии ЗНД, полученные в производстве окатышей, целесообразно распространить на производственный цикл брикетирования. Брикетирование, как один из основных методов окускования сырья, имеет свои достоинства. Главные из них следующие: возможность окускования железосодержащих шламов, пылей и просыпей на небольших производственных площадках; менее жесткие требования к гранулометрическому,

минеральному составу шихты, к гидрофильным свойствам частиц и комкующей способности материалов; меньше ограничений к производству безобжиговых брикетов и некоторые другие. Поэтому возникает производственная задача совместить достоинства метода теплосилового напыления влажной шихты и процесса брикетирования. Для реализации этого комбинированного процесса брикетируемая шихта должна быть подвергнута силовой структурной обработке на предмет формирования в ней, например, повышенного количества открытых пор. Напыленный материал при этом испытывает первичное упрочнение и формообразование. Возможности влагоудаления при напылении шихты можно исключить, поскольку при использовании более вязких связующих (ЖС, СДБ, пеки, смолы и др.) влагоперенос в ВШС замедляется [3]. Это необходимо учитывать при разработке режима брикетирования. Окончательное формо- и структурообразование брикетируемой массы производит вальцовый пресс. Аппаратурное оформление этой технологии является более сложной задачей и потребует создания экспериментальной установки и последующего исследования производственного процесса на физической модели.

#### Библиографический список

1. Ожогин В. В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья / В. В. Ожогин. – Мариуполь: ПГТУ, 2010. – 442 с.
2. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
3. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
4. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – 334 с.
5. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
6. Патент № 2698000 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2019117140/02. Заявл. 03.06.2019; Оpubл. 21.08.2019. Бюл. №24 //Изобретения. Полезные модели. 2019. – № 24.
7. Патент № 2743435 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020104648/02, Заявл. 31.01.2020; Оpubл. 18.02.2021. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2020. – №5.
8. Патент № 2750432 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – №2020133386 /02, Заявл. 09.10.2020; Оpubл. 28.06.2021. Бюл. №19 //Изобретения. Полезные модели. 2021. – № 19.

## **АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ НАПЫЛЕННОГО СЛОЯ ШИХТЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ**

**Капралов С.И.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проанализирована проблема формирования структуры железорудных окатышей, обеспечивающей повышение реакционной способности окускованного металлургического продукта на всех этапах технологического цикла. Сформулированы условия оптимизации поровой структуры и предложены методы получения железорудных окатышей с улучшенными металлургическими свойствами.

Ключевые слова: структурная идентичность, реакционная способность, окускованное металлургическое сырье, железорудные окатыши.

Железорудные окатыши являются одним из основных видов металлургического сырья для производства первичного металла (30 – 90 % в шихте доменной плавки) и металлизированных брикетов (100 % в исходном сырье шахтных агрегатов), применяемых для выплавки электростали [1, 2]. К окатышам, используемым для металлизации, предъявляют повышенные требования по содержанию железа и пустой породы, химическому и минеральному составу, прочностным свойствам, восстановимости, грансоставу и др. [3]. У шихтовых материалов для производства окатышей коэффициент комкуемости должен быть более 0,5, крупность концентрата должна быть не выше 0,1 мм, содержание пустой породы – не менее 3 – 5 %, прочность сырых окатышей должна быть более 10 Н/окатыш. Этим требованиям должны удовлетворять железосодержащие отходы металлургического производства, подвергаемые окускованию, которые позволяют снизить себестоимость сырья. В шихте окатышей используют железосодержащие шламы, пыли, просыпи, красные шламы, другие железосодержащие материалы [1 – 3]. Прокатная окалина также входит в состав окатышей на правах техногенного вторичного сырья. Основным методом подготовки прокатной окалины для использования ее в окатышах является ее доизмельчение. Трудности доизмельчения возникают только для замасленной окалины, поскольку сама окалина обладает повышенной хрупкостью. Масло для технологии производства окатышей представляет меньшую проблему, чем для агломерационного процесса.

Одним из способов улучшения структурных свойств у окатышей без применения порообразующих добавок является получение окатышей по двухступенчатой технологии [1 – 3]. В качестве силового энергоносителя в этой технологии используется воздушно-шихтовая струя (ВШС) на основе

холодного или нагретого до 100–150 °С компрессорного воздуха, которая позволяет сформировать влажный напыленный слой (НС) шихты на металле, резине, шихтовой поверхности. Ближайшей аналогией этого процесса является торкретирование теплозащитных футеровок [4]. Структурными изменениями на поверхности НС являются углубления в шихте и шихтовые напылы, которые обладают структурной идентичностью с поровой структурой зародышей. Они появляются в результате деформации шихты на поверхность НС, в результате чего формируется волнообразный или столбчатый рельеф поверхности с чередованием углублений и напылов (рисунок 1, а, б, в). Эти структурные изменения имеют различные геометрические размеры, форму, расположение, извилистость и могут быть одной из внешних характеристик процесса, позволяющей идентифицировать процесс порообразования в глубине зародыша [5]. Структурные углубления НС представляют собой концентрические слабоизвилистые каналы, располагающиеся по круговой траектории вокруг оси кругового НС (при угле атаки струи  $\beta$ , равном 90°). Эти каналы, как правило, замкнуты друг на друга, но часть из них имеет прерывистую траекторию. На фотографиях поверхности они отображаются темными линиями шириной 0,1 – 2,5 мм. Ширина шихтовых напылов или столбов имеет более существенную величину: от 1 до 5 мм. Форма напылов имеет покатую поверхность со стороны атаки ВШС и крутой наклон с обратной (теневого) стороны. Структурные изменения позволяют установить структурную идентичность между макрорельефом НС и поровой структурой зародышевой массы. Подобные поверхностные образования у напыленных покрытий являются предметом для изучения у отечественных авторов и у зарубежных исследователей в технике напыления.

Для анализа структуры использовали относительную ширину структурных углублений НС  $\theta_{ho}$  и относительное количество структурных углублений  $\theta_N$ , количество/м<sup>2</sup> (1/м<sup>2</sup>), на его поверхности. Относительную ширину структурных углублений НС  $\theta_{ho}$  на его поверхности определяли по нижеприведенному выражению:

$$\theta_{ho} = h_o / h ,$$

где  $h_o$  – среднее значение ширины структурных углублений, мм;

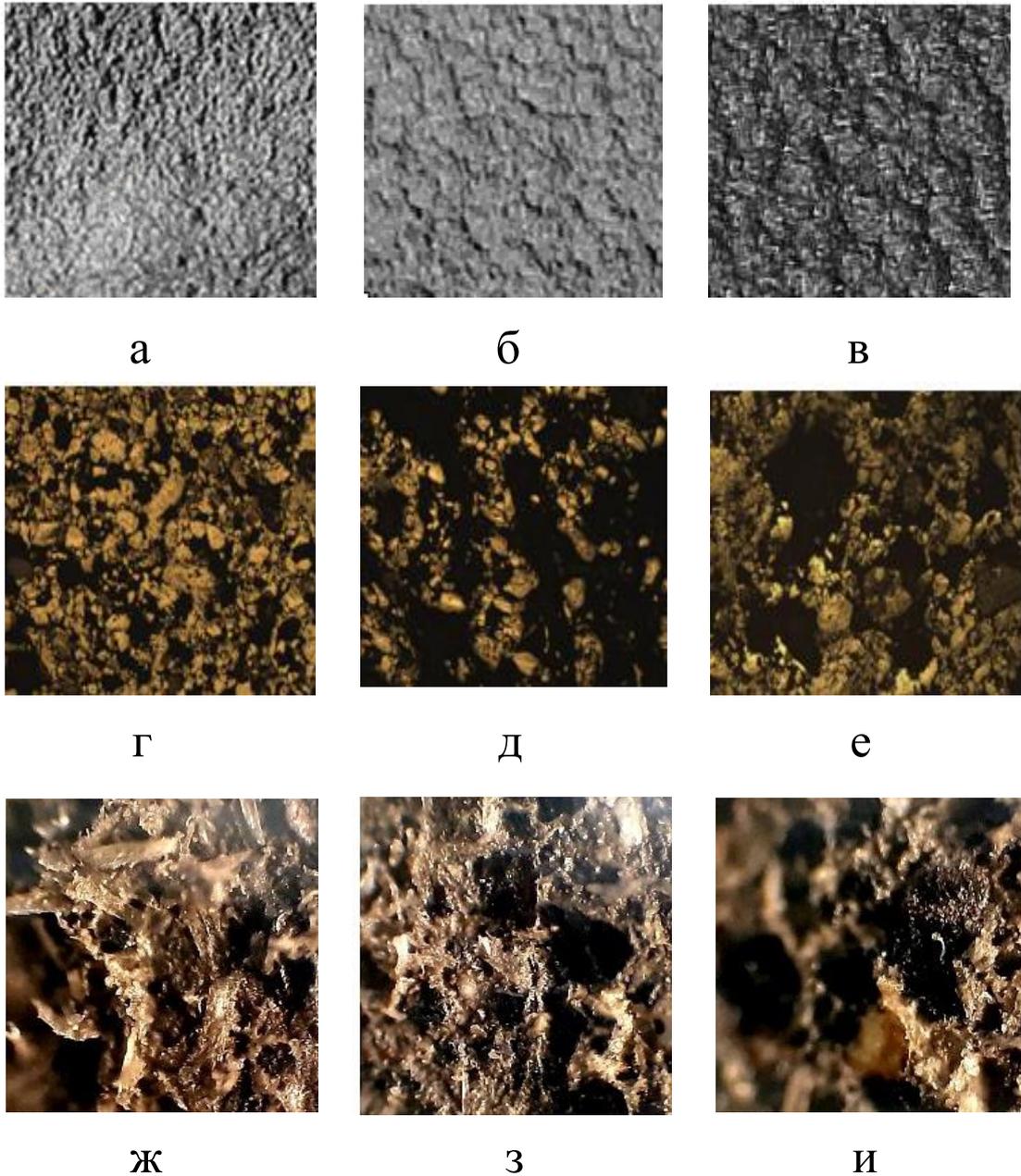
$h$  – среднее значение высоты напыленного слоя на его оси, мм.

Относительное количество структурных углублений  $\theta_N$  вычисляли по выражению:

$$\theta_N = N / f_{nc} ,$$

где  $N$  – среднее количество структурных углублений, определяемое по количеству концентрических теневых каналов в НС;

$f_{nc}$  – площадь НС диаметром  $d$ , м<sup>2</sup>.



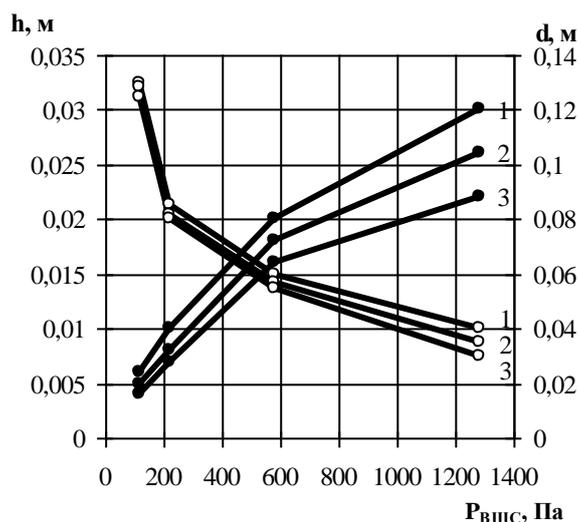
а, б, в – поверхность НС (увеличение  $10^{\times}$ ); г, д, е – шлифа в горизонтальной плоскости (увеличение  $100^{\times}$ ); ж, з, и – шлифа в вертикальной плоскости (увеличение  $100^{\times}$ );  
 а, г, ж – центральная зона НС  $\delta=0$ ;  $\beta=90^{\circ}$ ; б, д, з – промежуточная зона  $\delta=0,5$ ;  $\beta=90^{\circ}$ ;  
 в, е, и – периферийная зона  $\delta=0,7$   $\beta=90^{\circ}$

Рисунок 1 – Макроструктура поверхности НС после напыления и микроструктуры поверхности образцов НС на горизонтальной и вертикальной плоскостях образцов

Подробная методика измерений геометрии структурных изменений представлена в источнике [3]. Параметры  $\theta_{ho}$  и  $\theta_N$  оценивали в зависимости от давления ВШС ( $P_{ВШС}$ ), влажности  $W_{ш}$  и среднего размера частиц ( $d_q$ ) напыляемой шихты. Эксперименты проводили на лабораторном полупромышленном окомкователе диаметром 0,62 м, наклоненном под углом  $45^{\circ}$  к

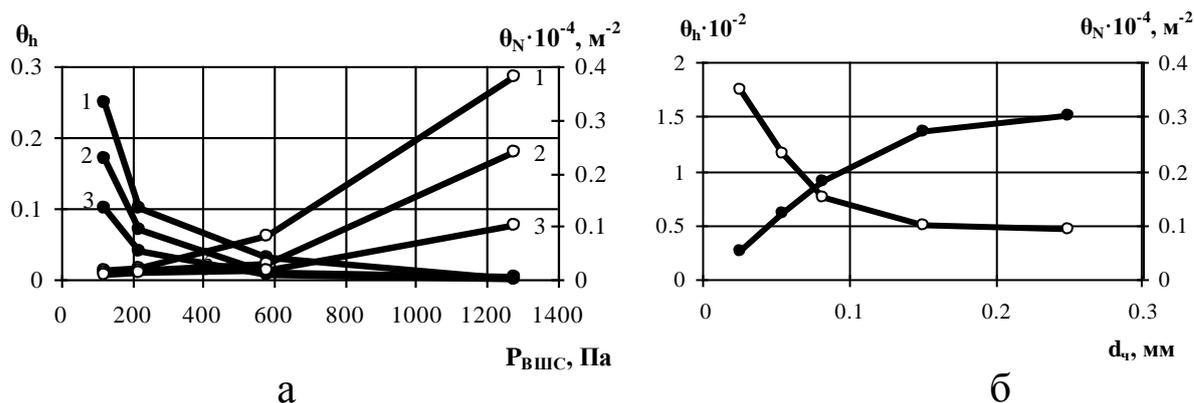
горизонту и вращающимся со скоростью 12 об/мин. Напыляемая влажная шихта (влажность 5,0; 7,5; 10,0) % содержала железорудный концентрат Тейского месторождения и 1% бентонита в качестве связующего материала. Влажную шихту напыляли на шихтовый гарнисаж сжатым воздухом давлением 0,2 МПа и расходом 0,6 м<sup>3</sup>/мин. После напыления измеряли геометрические размеры НС. Прочность на сжатие (ГОСТ 17245-79 и 26447-85) и плотность исследовали с помощью образцов, вырезанных из НС методом режущего кольца (ГОСТ 5180-84). В каждой зоне НС, ограниченной относительным диаметром  $\delta$ , равным  $0 \pm 0,2$ , вырезали 10 – 15 образцов пробоотборниками (режущим кольцом) диаметром 10 мм. Механизм структурообразования зародышей анализировали с помощью макроструктуры поверхности НС, сформированной после напыления, и микроструктуры поверхности образцов НС на их горизонтальной плоскости, параллельной напыляемой основе, и на их вертикальной плоскости, перпендикулярной напыляемой основе (рисунок 1). Образцы для анализа микроструктуры обжигали в электропечи при температуре 800 °С. Результаты экспериментов представлены на рисунках 2 и 3. В общем случае показатель  $\theta_{ho}$  резко снижается с ростом давления ВШС до 800 Па, после чего происходит замедленное снижение его величины (рисунок 3, а). Одновременно с ростом давления ВШС размеры структурных углублений уменьшаются, но параллельно с этим растет среднее значение высоты напыленного слоя на оси НС (рисунок 2). Аналогичное влияние на параметры структуры НС оказывает уменьшение размеров частиц напыляемой шихты (рисунок 3, б). Характер зависимости показывает, что интенсивность снижения  $h_o$  существенно выше интенсивности роста  $h$ . Большую роль на параметр  $\theta_{ho}$  оказывает влажность напыляемой шихты и количество подвижной шихтовой пульпы (гидросмеси), образующейся на поверхности НС в результате смешивания шихты и воды, выжимаемой из глубины НС на его поверхность давлением ВШС. Можно считать, что при низкой влажности  $W_{ш} = 5,0$  % и при давлении ВШС, начиная с 200 Па и выше, шихтовая пульпа в этом режиме напыления не образуется и не влияет на структурообразование НС. На большей части поверхности НС формируются невысокие наплывы и мелкие структурные углубления ( $h_o < 0,1 - 0,2$  мм), размеры которых можно замерить и анализировать при достаточно большом увеличении. При  $W_{ш} = 7,5$  % количество подвижной шихтовой пульпы при напылении увеличивается, вязкость шихты на поверхности снижается, в результате чего формируются более крупные шихтовые наплывы и структурные углубления, доступные для визуального наблюдения.

Предполагаемый механизм формирования пористости зародышей основан на надвиге шихтовых наплывов друг на друга и механическом перекрытии структурных углублений наплывами, генерируемыми ВШС, что способно создать воздушную полость (пору) на поверхности НС. Результаты исследований явились предметом для создания ряда изобретений [5, 6].



На графике влажность шихты: 1 – 10,0 %; 2 – 7,5 %; 3 – 5,0 %, средний размер частиц шихты 0,068 мм

Рисунок 2 – Зависимость средней высоты – ● и диаметра напыленного слоя шихты – ○ от давления ВШС



В позиции а влажность шихты: 1 – 10,0 %; 2 – 7,5 %; 3 – 5,0 %, средний размер частиц шихты 0,068 мм; В позиции б  $P_{VШС} = 580$  Па,  $W_{ш} = 10,0$  %

Рисунок 3 – Зависимость относительной величины структурных углублений – ● и относительного количества структурных углублений напыленного слоя шихты – ○ от давления ВШС – а и среднего размера частиц – б

Поскольку шихтовые напылы не обладают достаточной подвижностью, необходимой для развития первого механизма порообразования, то возможно формирование пустот путем механического перекрытия структурных углублений напыляемой шихтой. В процессе напыления глубинные слои НС испытывают идентичные динамические нагрузки от ВШС, действующие от оси НС к его периферии. Вероятно, по этой причине появляются продолговатые поровые каналы (рисунок 1, ж, з, и), ответственные за формирование открытых пор в структуре зародышей. Причем эти поры рас-

положены с небольшим наклоном в направлении атаки ВШС. Поскольку поверхностный горизонт НС испытывает растягивающие силовые нагрузки от динамического давления ВШС, направленного от оси к периферии НС, то возникает характерный наклон пор в сторону распространения струи. В промежуточной зоне НС динамическое давление ВШС имеет максимальное значение, поэтому размеры углублений увеличиваются. Их длина существенно уменьшается, извилистость и плотность возрастают. В этой зоне наряду с открытыми порами появляется небольшое количество пор закрытого типа неправильной формы. Структурная идентичность объясняется тем, что в периферийной зоне НС общая пористость существенно выше, количество пор канального типа резко уменьшается и формируются они только в начале зоны. В конце зоны располагаются поры преимущественно закрытого типа более значительных размеров, у которых продольные и поперечные размеры существенно отличаются от размеров пор других зон. Можно предположить, что пока НС находится в зоне действия ВШС, в его глубине возможно продолжение структурообразования по пути изменения размеров пор, их конфигурации и сфероидизации. На косвенное подтверждение этого механизма структурообразования указывает удлиненная форма пор в горизонтальном сечении НС (рисунок 1, г, д, е), близкая к проекции структурных углублений на поверхности НС (рисунок 1, а, б, в). Следует добавить, что структурообразование по обсуждаемому механизму может быть усложнено силовым воздействием бортов и днища производственного агрегата и некоторыми другими сопутствующими процессами. В виду сложности и многофакторности этих процессов, протекающих в динамическом состоянии и в закрытой системе, все описанные механизмы структурообразования имеют вероятностный характер.

#### Библиографический список

1. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
2. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
3. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
4. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – 334 с.
5. Патент № 2385351 Российская Федерация, МКИ<sup>7</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2008139095/02. Заявл. 01.10.2008; Опубл. 27.03.2010. Бюл. №9 // Изобретения. Полезные модели. 2010. – № 9.
6. Патент № 2750432 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – №2020133386 /02, Заявл. 09.10.2020; Опубл. 28.06.2021. Бюл. №19 //Изобретения. Полезные модели. 2021. – № 19.

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ ОКОМКОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОКУСКОВАННОГО СЫРЬЯ**

**Капралов С. И.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

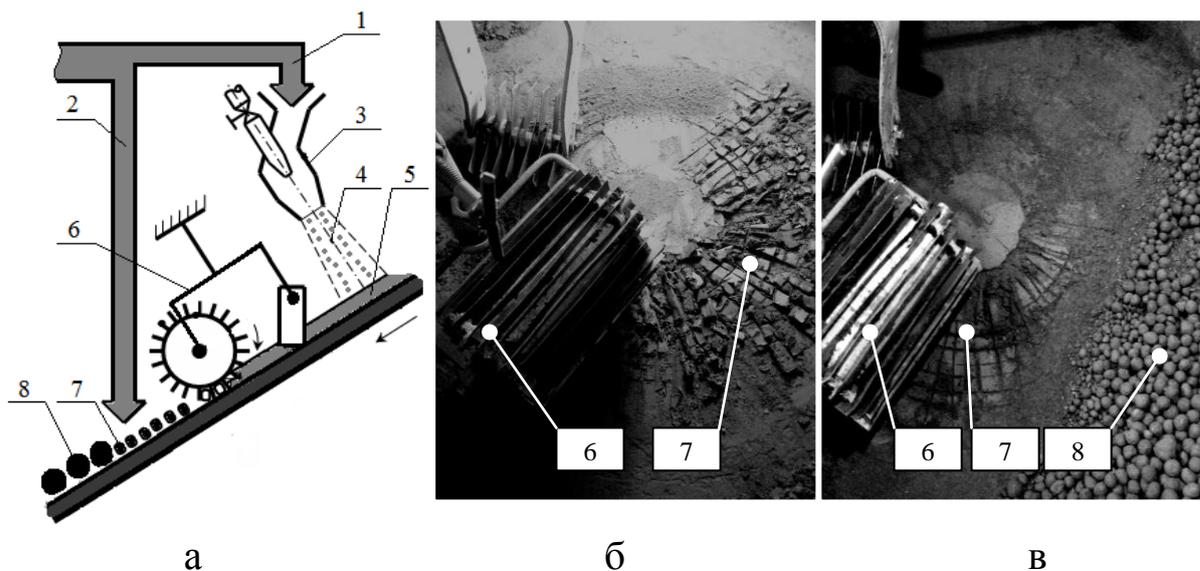
*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проанализирована проблема развития техники окомкования в производстве железорудных окатышей, обеспечивающей повышение реакционной способности окускованного металлургического продукта на всех этапах производственного маршрута. Сформулированы условия оптимизации техники напыления и предложены методы получения железорудных окатышей с улучшенными металлургическими свойствами.

Ключевые слова: техника окомкования, металлургические свойства, окускованное сырье, железорудные окатыши.

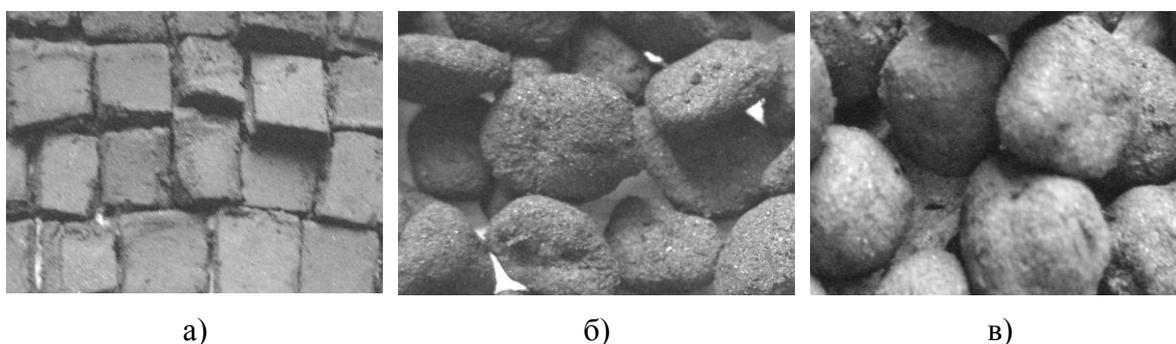
Задачей окомкования является получение округлой формы у окатышей и формирование технологически заданной прочности, позволяющей выполнять транспортные и термические операции с окатышами без разупрочнения [1 – 3]. Процесс производства окатышей начинается с зародышеобразования и заканчивается доокомкованием зародышей. В действующей технологии производства окатышей воздействовать на процесс зародышеобразования существующими техническими средствами без привлечения вспомогательных физических полей или механических систем достаточно затруднительно [3]. В последнее время предложено расширить функциональные возможности окомкователей с помощью теплосилового напыления влажной шихты на гарнисаж окомкователя, придав ему дополнительные формо – и структурообразующие функции в производстве окатышей [4, 5]. Предложенная технология принудительного зародышеобразования ЗНД (ЗНД – зародышеобразование напылением и доокомкование зародышей) позволяет существенно изменить процессы зародышеобразования и окомкования железорудной шихты, перенаправив шихтовые потоки в разные зоны окомкователя. Она обладает широким набором инструментария для воздействия на структурные свойства окатышей и функциональные возможности окомкователя [5]. На первом этапе получения сырых окатышей в холостой зоне окомкователя проводят формирование плотного напыленного слоя (НС) шихты воздушношихтовой струей (ВШС) [6 – 8]. Для получения зародышевой массы в этой же зоне окомкователя НС механически делят на прочные зародыши, имеющие форму, близкую по форме сферокубу или сферопараллелепипеду. На последующем этапе формообразования в рабочей зоне окомкователя, занятой комкуемыми материалами, у зародышей сминаются углы, грани и формируется округлая фор-

ма. Одновременно с этим происходит доокомкование зародышей в смеси с увлажненной шихтой в режиме переката и формируется оболочка окатышей. Центральная часть двухслойных окатышей имеет пониженную влажность и в ней формируется более высокая пористость с повышенной долей открытых пор. Такое структурное построение окатышей позволяет снизить диффузионные ограничения при термообработке и повысить реакционную способность окускованного сырья. Схематичное представление цепи устройств технологии ЗНД и макроструктуры материалов, участвующих в формообразовании влажной шихты, показаны на рисунках 1 и 2.



1 – поток шихты для зародышеобразования; 2 – тоже для доокомкования зародышей;  
 3 – струйный аппарат; 4 – воздушно-шихтовая струя; 5 – напыленный слой шихты;  
 7 – делитель НС, состоящий из продольного (пластинчатые ножи) и поперечного (вращающийся барабан с ребрами) делителей; 7 – зародыши; 8 – окатыши

Рисунок 1 – Схема формообразования влажной шихты в зародыши и окатыши – а и внешний вид экспериментальной установки на основе тарельчатого окомкователя для получения окатышей по технологии ЗНД – б, в



а – фрагмент НС, разделенного на зародыши; б – зародыши через 60 с после доокомкования; в – тоже, через 300 с

Рисунок 2 – Внешний вид шихтовых материалов и последовательность формирования окатышей из зародышей по технологии ЗНД

Технологическая схема производства легко реализуется на действующем производстве, для чего существуют свободные производственные площади и технические возможности. На основе технологии ЗНД разработаны технические решения, позволяющие управлять формированием зародышей и окатышей и их физическими свойствами.

Анализ технологической работы этих технических решений дает возможность сформулировать общие принципы зародышеобразования и структурообразования комкуемой массы для перспективной технологии. В качестве основного устройства, на котором реализованы многочисленные технические схемы получения окатышей, использовали лабораторный полупромышленный тарельчатый окомкователь (диам. 0,62 м, угол наклона тарели  $\gamma = 45^\circ$ , число оборотов  $n = 12$  об/мин), снабженный струйным аппаратом (СА) (диаметр  $d_{CA} = 0,02$  м, расход шихты  $G_{ш} = 0,03 - 0,04$  кг/с, давление  $P_b = 0,2$  МПа, расход сжатого воздуха  $V_b = 0,6$  м<sup>3</sup>/мин) и устройствами различной конструкции для деления НС на зародыши [3, 4]. Для реализации многоструйных технических схем использовали три СА диам. 0,02 м при том же расходе шихты и первоначальных условиях. Окомкователь работал на влажной шихте, состоящей из железорудного концентрата Тейского месторождения ( $d_q = 0,068$  мм) и 1 % бентонита. Шихта массой 5 кг напылялась в течение 60 с на ШГ толщиной 30 мм ( $\rho_{шг} = 2230$  кг/м<sup>3</sup>,  $W_{шг} = 8,14$  %) в холостой зоне тарели при  $\Theta_L = 25$  ( $\Theta_L = L/d_{CA}$ ,  $L = 0,5$  м). Для доокомкования зародышей и формирования кондиционных окатышей в рабочую зону окомкователя дополнительно подавали 5 кг влажной шихты. Для всех сформованных материалов определяли среднюю прочность, влажность. У НС измеряли размеры НС (диаметр –  $d_{НС}$ , м, и высоту НС на его оси –  $h_o$ , м.). Зародышевую массу и массив окатышей рассеивали на лабораторных ситах. Методика отбора проб подробно изложена в источниках [3, 4].

Для технической схемы, реализующей способ формирования НС определяли коэффициент напыления шихтовой массы –  $K_{НС}$ , %, :

$$K_{НС} = (M_{ш} - M_m) / M_{ш},$$

где  $M_{ш}$  – масса напыляемой шихты, кг;

$M_m$  – масса шихты, оставшейся после формирования НС, кг.

Для технической схемы, реализующей способ деления НС на зародыши, определяли фракционный состав зародышевой массы и коэффициент зародышеобразования напыляемой массы –  $K_{ЗР}$ , %:

$$K_{ЗР} = M_{ЗР} / M_{ш} = (M_{ш} - M_m - M_n) / M_{ш},$$

где  $M_{ЗР}$  – масса зародышей размером 2-10 мм, кг;

$M_n$  – масса зародышевой мелочи размером менее 2 мм, кг;

Для расширения объема экспериментальной информации при оценке эффективности технологии ЗНД и свойств НС, зародышей и окатышей часть результатов была представлена в безразмерном виде, позволяющем анализи-

ровать технологию с помощью физического моделирования [4, 5]. Относительную прочность сформованных из влажной шихты материалов  $\Theta_{\Pi}$  определяли по выражению:

$$\Theta_{\Pi} = P_{\text{cp}} / P_{\text{ок}},$$

где  $P_{\text{cp}}$  – прочность образцов НС, зародышей и окатышей, кПа;

$P_0$  – прочность окатышей размером 12-16 мм, кПа;  $P_0 = 280$  кПа.

Относительную массу сформованных материалов (НС, зародышей и окатышей)  $\Theta_M$  вычисляли по формуле:

$$\Theta_M = M_M / M_0,$$

где  $M_M$  – средняя масса сформованных материалов (НС, зародышей и окатышей), кг.

$M_0$  – общая массы шихты, используемой для получения окатышей, включая подачу шихты на доокомкование зародышей в рабочую зону окомкователя, кг;  $M_0 = 10$  кг.

Относительную влажность сформованных материалов  $\Theta_W$  определяли по выражению:

$$\Theta_W = W_{\text{cp}} / W_{\text{ш}},$$

где:  $W_{\text{cp}}$  – средняя влажность образцов НС, зародышей и окатышей, %;

$W_{\text{ш}}$  – влажность напыляемой шихты, %;  $W_{\text{ш}} = 8,20$  %.

Относительную длительность процессов загрузки, напыления шихты, деления НС и доокомкования зародышей  $\Theta_t$  определяли по выражению:

$$\Theta_t = \tau_i / \tau_{\text{ок}},$$

где  $\tau_i$  – длительность процессов загрузки, напыления шихты, деления НС и доокомкования зародышей, с; Длительности напыления, деления и доокомкования составляли 15, 5 и 300 с соответственно.

$\tau_{\text{ок}}$  – общее время формирования влажных окатышей, с;  $\tau_{\text{ок}} = 380$  с.

Типичное изменение параметров  $\Theta_M$ ,  $\Theta_{\Pi}$ ,  $\Theta_W$  в процессе формообразования шихты (напыление шихты с образованием НС и его деления на зародыши по технологии ЗНД) и формирования окатышей в режиме переката для основной технологической схемы (рисунок 1) приведено на рисунке 3.

Полученные результаты (рисунок 3) позволяют обобщить результаты исследований и выявить узкие места в технологии ЗНД. Характерным процессом для технологии ЗНД является быстрое формообразование влажной шихты со средней скоростью роста массы зародышей более 3,0 г/с, сопровождаемое ростом прочности ( $\Theta_{\Pi} > 0,39$ ) и незначительной потерей массы сформованных материалов в процессе напыления шихты (до  $\Theta_M = 0,44$ ) и деления НС (до  $\Theta_M = 0,29$ ) на зародыши. Напылением шихты можно сформировать прочность НС, близкую к прочности кондиционного сырого окатыша ( $\Theta_{\Pi} > 0,8 - 0,9$ ) [4, 5], но в таком процессе снижается общая пористость и до-

ля открытых пор в зародышевой части окатыша, что противоречит принципам структурообразования технологии ЗНД.

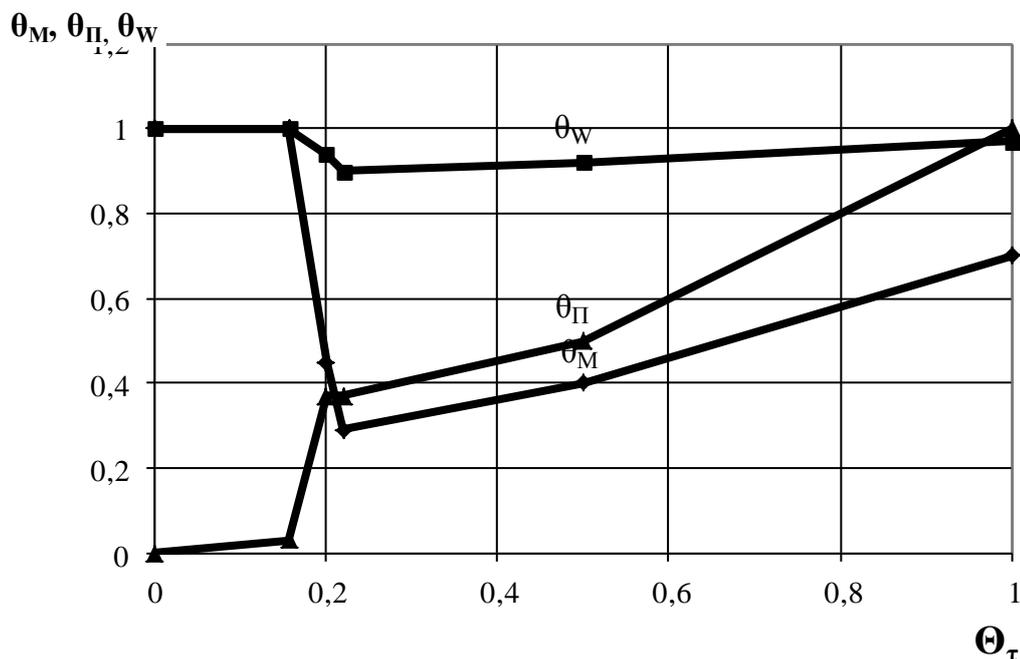


Рисунок 3 – Кинетика изменения относительной прочности  $\Theta_P$ , массы  $\Theta_M$  и влажности  $\Theta_W$  материалов в процессе формообразования шихты и формирования окатышей

Незначительный рост прочности зародышей при делении НС объясняется механическим уплотнением влажной массы делителями или вспомогательными устройствами. В процессе доокомкования зародышей происходит рост массы и прочности окатышей за счет формирования оболочки окатышей в традиционном режиме переката. Процесс обезвоживания НС связан с бародиффузионным переносом влаги ВШС, в которую при напылении попадает НС и образующаяся зародышевая масса. Процесс доокомкования зародышей сопровождается ростом параметров  $\Theta_M$ ,  $\Theta_P$ ,  $\Theta_W$ , имеет несколько стадий и протекает в течение значительно большего времени (300 с), что существенно снижает скорость роста массы (до 0,11 г/с) и прочности [4, 5]. Рост влажности формуемых окатышей при доокомковании зародышей происходит за счет переувлажнения оболочки окатышей при капельном орошении. На заключительном этапе производства окатышей для технических схем, реализующих технологию ЗНД, формируется максимальное количество окатышей размером 12–16 мм ( $\Theta_M > 0,7$ ) со средней скоростью роста массы (более 0,3 г/с), необходимой прочности ( $\Theta_P = 1,0$ ) с пониженным количеством влаги в их структуре ( $\Theta_W < 1$ ). В центральной зародышевой части окатышей это снижение еще больше ( $\Theta_W < 0,95$ ). По результатам исследований можно прогнозировать более высокую удельную производительность

окомкователя, а при последующей термообработке окатыши потребуют меньших энергозатрат на термическую сушку. Типичное изменение параметров  $\Theta_M$ ,  $\Theta_P$ ,  $\Theta_W$  в процессе формообразования шихты и формирования окатышей и учет основных показателей технологии ЗНД и технологичности процесса (уровень налипаемости шихты, материалоемкость дополнительного оборудования, сложность конструктивного оформления, надежность и стабильность работы) позволяют из всего массива выбрать наиболее эффективное техническое решение.

#### Библиографический список

1. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
2. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
3. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
4. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – 334 с.
5. Патент № 2385351 Российская Федерация, МКИ<sup>7</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2008139095/02. Заявл. 01.10.2008; Оpubл. 27.03.2010. Бюл. №9 // Изобретения. Полезные модели. 2010. – № 9.
6. Патент № 2698000 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2019117140/02. Заявл. 03.06.2019; Оpubл. 21.08.2019. Бюл. №24 //Изобретения. Полезные модели. 2019. – № 24.
7. Патент № 2743435 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020104648/02, Заявл. 31.01.2020; Оpubл. 18.02.2021. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2020. – №5.
8. Патент № 2750432 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020133386/02, Заявл. 09.10.2020; Оpubл. 28.06.2021. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2021. – №19.

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛОМА ОГНЕУПОРНЫХ ФУТЕРОВОК**

**Радиковская Е.С., Суржик Н.Е.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проведена оценка технологий переработки лома огнеупорных футеровок. Представлена характеристика сырьевой смеси для производства огнеупорной продукции. Показана роль огнеупорных отходов в структуре энерго- и ресурсосбережения металлургических предприятий. Представлены сведения о технологиях дробления и измельчения. Приведена классификация и описание продукции на основе дисперсных порошков, полученных из лома огнеупорных футеровок.

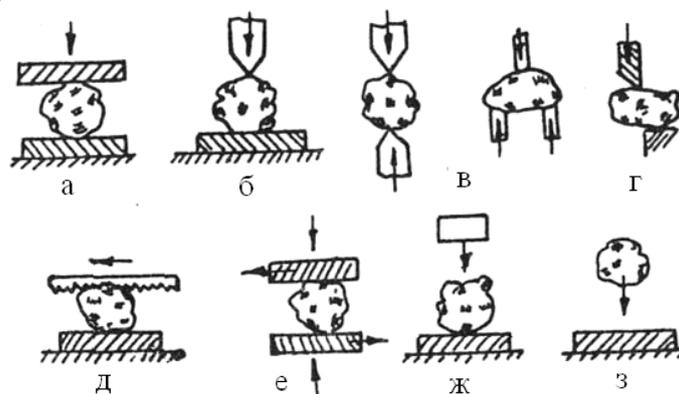
Ключевые слова: лом огнеупорной футеровки, металлургическое производство, неформованные и формованные огнеупорные материалы, способы и технологии дробления и измельчения лома огнеупорных футеровок.

В условиях высокой стоимости и дефицита огнеупорных изделий и материалов рециклинг отработанных огнеупоров приобретает актуальное значение и позволяет обеспечить бесперебойную работу и снижение затрат на собственное производство огнеупоров и стали (за счет использования недорогого вторичного сырья), экономию природных ресурсов, энергии и снижение загрязнения окружающей среды [1, 2]. В технике инженерной защиты окружающей среды от вредного воздействия отходов существуют два основных варианта рециклинга огнеупоров: прямое использование в тепловых агрегатах менее ответственного назначения или использование их в качестве вторичного сырья для изготовления новых видов формованной или неформованной огнеупорной продукции [3]. Технология рециклинга включает отбор и сортировку огнеупорного лома с последующим изготовлением огнеупорных материалов (ОМ): порошков, мертелей и смесей. В основе получения продукции различного назначения лежит технология получения порошковой сыпучей массы. Для ее получения используется техника и технология дробления и измельчения [4].

Дроблением и измельчением называются процессы уменьшения размеров кусков или зерен полезных ископаемых путем разрушения под действием внешних сил. В промышленности применяют процессы дробления и измельчения, осуществляемые за счет использования механических сил; самоизмельчения при взаимном воздействии зерен друг на друга. Существует электрогидравлическое дробление под действием ударных волн; взрывное дробление или измельчение, основанное на распаде пород под действием

внутренних сил растяжения при быстром снятии внешнего давления; вибрационное измельчение в поле вибрационных сил; центробежное измельчение в центробежном поле; струйное измельчение за счет кинетической энергии движущихся с высокой скоростью навстречу друг другу частиц и др.

Наиболее широко из указанных способов на предприятиях металлургии используется обычное механическое дробление, измельчение и самоизмельчение. Условно считают, что при дроблении получают продукты крупнее, а при измельчении мельче 5 мм. Для дробления применяют дробилки, а для измельчения – мельницы. Целью дробления и измельчения полезных ископаемых перед их обогащением является раскрытие (разъединение) минералов в результате разрушения минеральных сростков. Чем полнее раскрыты зерна разделяемых минералов, тем эффективнее последующий процесс обогащения. Если минералы обладают различными физико-механическими свойствами, то в результате дробления или измельчения более твердые будут представлены более крупными кусками, чем хрупкие и менее твердые минералы. Такое дробление или измельчение называется избирательным и применяется перед обогащением по крупности. Дробление и измельчение называются самостоятельными, если получаемый продукт не подвергается обогащению, а является товарным и подлежит непосредственному использованию (угли перед их коксованием; известняки и доломиты, используемые в качестве сырья и др.). Это также относится к лому отработанных футеровок. Крупность дробленых или измельченных продуктов определяется предъявляемыми к ним техническими условиями и стандартами (ТУ и ГОСТ). Степень измельчения оценивают или соотношением размеров максимальных зерен в исходном и измельченном продуктах, или процентным содержанием определенного класса крупности (+0,100 мм; – 0,074 или – 0,044 мм) в измельченном продукте. Измельчение считают грубым, если содержание класса – 0,074 мм в измельченном продукте составляет 20 – 40 %, и тонким, если его содержание превышает 75 %. Основные схемы дробления и измельчения показаны на рисунке 1.



а – раздавливание; б – раскалывание; в – разламывание; г – резание; д – распиливание; е – истирание; ж, з – стесненный и свободный удар

Рисунок 1 – Способы дробления и измельчения

В работе современных дробилок и мельниц используются способы раздавливания, раскалывания и удара, а также сочетание этих способов с разламыванием и истиранием. При любом способе разрушения затрачиваемая энергия расходуется на деформацию (упругую и пластическую) разрушаемых кусков и рассеивается в окружающее пространство в виде тепла. Другая часть энергии расходуется на образование новой, более развитой, поверхности, превращаясь в свободную энергию тела. При крупном дроблении величина вновь образованной поверхности сравнительно мала и работой на ее образование пренебрегают. При тонком измельчении работа на деформацию будет значительно меньше работы на образование новой поверхности, и в этом случае можно принять, что работа, затрачиваемая на разрушение зерен, будет пропорциональна величине вновь образованной поверхности. Процесс разрушения твердого тела начинается в дефектных местах (дислокациях) кристаллической решетки. В своем развитии он проходит последовательные стадии: скопления дефектов, приводящего к локальной концентрации напряжений; образования зародышевых микротрещин; развития и объединения их в магистральную макротрещину разрушения и, наконец, образования поверхности разрушения. Границы контакта минералов в сростках вследствие несоответствия параметров их кристаллических решеток, приводящего к появлению дислокаций, являются именно теми дефектными зонами, которые созданы природой для образования зародышевых микротрещин и развитие которых обеспечивает избирательное раскрытие минералов.

Чтобы обеспечить повышение концентрации дефектов, усилия должны иметь растягивающий или сдвиговой характер. В частности, использованием механических пульсирующих нагрузок (например, всесторонним сжатием материала в рабочей зоне аппарата; пульсирующим изменением давления окружающей жидкой или газовой среды; многократными ударами кусков друг о друга или о твердую поверхность и т. д.); воздействием колебаниями различной частоты или энергией ударных волн, вызывающих растягивающие напряжения на границах зерен минералов; термической обработкой материала, минералы которого значительно отличаются термическими коэффициентами объемного или линейного расширения (сжатия) или анизотропией тепловых свойств; обработкой электрическими, магнитными или электромагнитными полями, если минеральные компоненты кусков или зерен обладают различными электромагнитными свойствами. Используют другие приемы, основанные на использовании специфических свойств минералов и текстурных особенностей полезного ископаемого. Мощность энергетического воздействия на каждый кусок (независимо от вида энергии, вызывающей деформацию) должна быть достаточной для образования микротрещин на межзеренных границах. Частота и скорость деформаций должны быть высокими, чтобы снизить потери энергии на пластическую деформацию материала, а трещина находилась под действием напряжений достаточное время для диффузии в нее поверхностно-активных веществ и проявления эффекта, ин-

тенсифицирующего развитие микротрещин.

Области использования кусковых и измельченных частиц на основе лома огнеупорных футеровок приведены в таблице.

Таблица 1 – Области использования кусковых и измельченных частиц на основе лома огнеупорных футеровок

№	Размер кусков и частиц, мм	Область использования
1	60 – 300	Менее ответственные участки футеровки и тепловой изоляции низкотемпературных тепловых агрегатов
2	40 – 60	Наполнители огнеупорных бетонов и фундаментов низкотемпературных бытовых и промышленных агрегатов
3	8 – 25	Утеплители, засыпки, наполнители
4	0,1 – 1,0	Наполнители, мертели, торкрет-массы, наварочные смеси, обмазки, термопокрытия
5	0,05 – 0,1	Наполнители для абразивов, мастик, пластификаторов, термопокрытий и обмазок
6	менее 0,05	Связующие, термоклей, мастики, суспензии

Порошковые термопокрытия на основе жидкого стекла являются одними из самых распространенных в промышленности. Жидкое стекло является раствором неорганических полимеров, содержащих гидратированные мономер-катионы натрия и полимерные кремнекислородные анионы невысокой степени полимеризации. Наличие полярных групп обеспечивает этим растворам высокую вязкость, а при твердении – образование полимерного соединения (гель кремниевой кислоты). Для ускорения твердения в состав жидкого стекла вводится ускоритель – кремнефтористый натрий. Наличие ультрадисперсных частиц ОМ в жидком стекле усиливает вяжущую способность материала. Для получения коллоидной фракции исходный ОМ должен быть переизмельчен до субмикроскопического размера 3–5 мкм. Активацию тонкодисперсных порошков можно обеспечить масляной суспензией [5, 6]. Аналогичный результат получен при производстве керамической вяжущей суспензии (КВС), разработанной в СибГИУ (авт. канд. дисс. А.А. Терре). Керамическая связка была активирована мокрым измельчением природных и техногенных кремнеземистых и алюмосиликатных оксидных материалов в условиях определенного содержания твердого наполнителя и при повышенной температуре процесса. Содержание твердого наполнителя в высококонцентрированной связке составляло 60–70 %. Дисперсным наполнителем были частицы субмикроскопического размера (3–5 мкм). Механотермическая активация связки была реализована при температуре 50–60 °С в щелочной среде (pH=9–10), при которой формируется поверхностно-активный колло-

идный раствор. Создатели КВС установили, что активация усиливается при стабилизации суспензии, которая формируется при механическом перемешивании массы без мелющих тел в течение 8–10 часов. Технология получения КВС начинается с приготовления щелочного раствора на основе NaOH (pH=9–10), загружаемого в барабан со степенью заполнения 20–30 %. После чего производится порционная загрузка кремнеземистой пыли и ее активация. Материал после высокотемпературной сушки обладает высокой влажостойкостью, а изготовленные из него образцы имеют прочность, сопоставимую с обжигом. Близкий эффект достигнут у бентополимерной связки (БПС), разработанной специалистами НПО «ТОРЕКС», г. Екатеринбург [3]. Механизм формирования улучшенных металлургических свойств у окискованных материалов на основе бентополимерной связки также связан с действием коллоидных сил. Он имеет многоступенчатый характер в соответствии с последовательно протекающими технологическими операциями: смешиванием компонентов, окомкованием шихты и сушкой окатышей. Разработчики связки утверждают, что в основе упрочнения частиц концентрата лежат особые физико-химические явления, осложненные электростатическим взаимодействием многофазных шихтовых компонентов. Присутствие сильно ионизированного полимера в смеси с бентонитом меняет заряд на поверхности частиц магнетита. Это происходит, когда отрицательно заряженные окончания полимерных композитов в смеси с бентонитом ориентируются к поверхности частиц и формируют положительный заряд. При этом энергия электростатического поля на границе частиц возрастает на 20–50 %. В итоге межчастичного электростатического взаимодействия усиливается капиллярная пропитка шихтовой массы и ее комкующая способность.

#### Библиографический список

1. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
2. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
3. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
4. Павловец В.М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2019. – 386 с.
5. Патент № 2743435 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020104648/02, Заявл. 31.01.2020; Оpubл. 18.02.2021. Бюл. №5 // Изобретения. Полезные модели. 2020. – №5.
6. Патент № 2750432 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020133386/02, Заявл. 09.10.2020; Оpubл. 28.06.2021. Бюл. №5 // Изобретения. Полезные модели. 2021. – №19.

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРНЫХ ПОКРЫТИЙ**

**Суржик Н.Е.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проведена оценка использования лома огнеупорных материалов для получения сырьевой смеси для производства огнеупорных покрытий. Показана роль огнеупорных отходов в структуре энерго- и ресурсосбережения металлургических технологий. Представлены результаты исследования процесса получения огнеупорных изделий и материалов на основе лома отработанной огнеупорной футеровки.

Ключевые слова: лом огнеупорной футеровки, промышленное производство, неформованные и формованные огнеупорные материалы, способы и технологии переработки лома огнеупорных изделий.

Теплотехнические агрегаты сооружают, используя огнеупорные и теплоизоляционные материалы, строительный кирпич, огнеупорные и строительные бетоны, металлопрокат [1]. Основными строительными компонентами промышленных печей являются огнеупоры – неметаллические материалы, способные выдерживать тепловые, физико-химические воздействия расплавленных металлов, шлаков, агрессивных газов и обладающие огнеупорностью более 1580 °С. Неметаллические материалы, используемые для получения огнеупоров, представлены оксидами, карбидами, нитридами, керметами, боридами, углеродосодержащими и композитными составами. Срок службы огнеупоров зависит от марки огнеупора, его эксплуатационных свойств, типа нагревательного устройства и многих других факторов. Основные воздействия, которые должны выдерживать огнеупоры – это термические нагрузки, осложненные физико-химическими явлениями, протекающими на границах огнеупора, со стороны металлов, шлаков и газов. Вся гамма указанных явлений развивается преимущественно в металлургических агрегатах, выплавляющих черные и цветные металлы [2 – 4]. Высока нагрузка на огнеупоры в теплоэнергетике, химии, строительной, стекольной промышленности и в других отраслях техники. Огнеупорные материалы это своеобразные технические посредники, без которых невозможен выпуск металлургической и других видов промышленной продукции. Поэтому с расширением числа промышленных технологий появляется необходимость в производстве новых, более качественных видов огнеупоров, в расширении спектра огнеупорной продукции.

Для производства огнеупорных и теплоизоляционных материалов используют природные огнеупорные глины, горные породы и синтетические

материалы. Для подготовки этих материалов к формованию и термообработке применяют сложные подготовительные технологии. В их число входит обогащение, обезвоживание, дробление и измельчение, сушка, обжиг и другие. Для каждого вида огнеупорного сырья используют свой набор подготовительных технологий. По стандартам РФ огнеупорными считаются глины, имеющие температуру плавления не ниже 1580 °С, тугоплавкими – от 1350 до 1580 °С и легкоплавкими – менее 1350 °С [2]. Огнеупорные глины делят на пелитовые, алевропелитовые, аренопелитовые и органопелитовые. Среди пелитовых структур различают илистые структуры, когда глинистая порода преимущественно состоит из частиц размерами 0,01 – 0,001 мм, и гелевые структуры, когда преобладают частицы размером менее 0,001 мм. Пластичные виды глин имеют высокое содержание частиц менее 0,001 мм (60 – 80 %). По минералогическому составу глины являются полиминеральными породами (каолинит, галлуазит и монотермит). В качестве глинообразующих минералов в ее состав входят: кварц, слюды, гидрослюды, железистые (лимонит, пирит). Известковистые (карбонаты кальция и железа) и органические соединения – в качестве минералов-примесей. Определяющими физико-керамическими свойствами огнеупорных глин являются пластичность и связность, воздушная и огневая усадка, спекаемость и огнеупорность. Показатели пластичности огнеупорных глин существенно влияют на способ формования. В частности, пластичные материалы формуют полусухим, гидростатическим и другими методами. Пластические свойства глин проявляются в смеси с водой и с некоторыми другими жидкостями. Эти свойства зависят от ряда факторов: минерального состава, степени дисперсности и формы частиц глины, присутствия в ней электролитов и гумусовых веществ, взаимодействия дисперсной фазы (глинистых частиц) и дисперсионной среды (воды или другой жидкости). Пластические свойства глины снижаются введением отощителей (кварца, шамота и др.). Повышается пластичность глин после длительного вылеживания, тонкого измельчения или при добавлении электролитов. В СНГ основные запасы огнеупорных глин сосредоточены в России (55 %) и на Украине (37 %). По добыче глин первое место принадлежит России (4,56 млн. т, или 52 %), второе – Украине (3,27 млн. т, или 37 %) [1]. С целью более рационального использования огнеупорного сырья разработаны новые технические условия на данный вид сырья ТУ 14-8-43-92, в которых указано пять марок огнеупорных глин: бокситизированные – 3 марки 5, 49, 54 %  $Al_2O_3$ ) и основные – 2 марки (35 и 40 %  $Al_2O_3$ ) (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Нормативные показатели глин

Марка	АРБ-54	АРБ-49	АРВ-45	АРО-40	АРО-35
Огнеупорность, °С, не менее	1770	1770	1750	1730	1710
Содержание, %:					
$Al_2O_3$ , не менее	54	49	45	40	35

Продолжение таблицы 1

Марка	АРБ-54	АРБ-49	АРВ-45	АРО-40	АРО-35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , не более	2,5	3,5	2,5	2,5	2,5
TiO <sub>2</sub> , не более	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5
минимальное содержание основных минералов:					
Каолинит Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> • SiO <sub>2</sub> • 2H <sub>2</sub> O	40	70	85	95	90
Гиббсит Al(OH) <sub>3</sub>	60	30	15	5	-
максимальное содержание примесных минералов (сверх 100 %):					
Гетит и лимонит	4	4	4	3	3
Рутил и анатаз	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Кварц и минералы группы кремнезема	3	5	10	10	10

Наряду с огнеупорными глинами для производства шамотных и полукислых изделий применяют каолины. Каолин представляет собой осадочную пелитовую горную породу, главными минералами которой являются каолинит и кварц. Доломиты как минеральное сырье представляет собой карбонатную горную породу осадочного происхождения, состоящую из минерала доломита – двойной углекислой соли кальция и магния, соответствующей формуле CaCO<sub>3</sub> · MgCO<sub>3</sub>, или CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Для производства магнезиальных огнеупоров применяют магнезиты. В природе периклаз (MgO) встречается редко и промышленных месторождений не образует. Главным видом природного магнезиального сырья для производства магнезиальных огнеупоров является карбонат магния – минерал магнезит MgCO<sub>3</sub>. Форстеритовые огнеупорные изделия получили свое название по названию минерала, который образуется в процессе обжига магнезиально-силикатных пород с добавками каустического или спекшегося магнезита. Группу магнезиально-силикатного, или форстеритового, сырья составляют горные породы: оливиниты, дуниты, серпентиниты, тальк и талькомагнезиты. Для производства хромсодержащих огнеупорных изделий используют хромитовые руды или хромистые железняки. Хромитом называют природный минерал и горную породу (руды), содержащую большое количество этого минерала и сравнительно мало распространенную в природе [1].

В огнеупорной промышленности широко применяют углеродсодержащие минералы и промышленные продукты. К ним относят уголь, кокс, графит и некоторые другие. Графит применяют как один из видов углеродсодержащего сырья для изготовления изделий, предназначенных для выплавки и разлива металлов (тигли, пробки, стаканы, стопорные трубки и т.д.). Классификация и свойства легковесных огнеупоров приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Классификация и свойства легковесных огнеупоров

Марка Огнеупора	Кажущая плотность, г/см <sup>3</sup>	Температура эксплуатации, °С, не более	Прочность на сжатие, МПа	Теплопроводность при 600 °С на горячей стороне, Вт/(м·К)	Дополнительная усадка, % (температура, °С)
<b>Шамотные и полукислые</b>					
ШЛА-1,3	1,3	1400	4,5	0,70	1,0 (1400)
ШКЛ-1,3	1,3	1400	3,5	0,60	1,0 (1400)
ШЛ-1,3	1,3	1300	3,5	0,70	1,0 (1300)
ШКЛ-1,0	1,0	1400	2,5	0,50	1,0 (1400)
ШЛ-1 0	1,0	1300	3,0	0 60	1,0 (1300)
ШЛ-0,9	0,9	1270	2,5	0,50	1,0 (1270)
ШТЛ-0,6*	0,6	1150	2,5	0,30	0,7 (1150)
ШЛ-0,4	0,4	1150	1,0	0,25	1,0 (1150)
ШЛ-0,4	0,4	1150	1,0	0,25	1,0 (1150)
<b>Муллитокремнеземистые</b>					
МКРЛ-1,0	1,0	1450	3,0	0,60	1,0 (1450)
МКРЛ-0,8	0,8	1250	2,5	0,40	1,0 (1250)
МКРЛ-0,8*	0,8	1300	2,5	0,40	1,0 (1300)
МКРЛ-0,7	0,7	1500	3,0	0,40	1,0 (1500)
МКРЛ-0,5	0,5	1300	1,5	0,30	1,0 (1300)
<b>Муллитовые</b>					
МЛЛ-1,3	1,3	1550	3,0	0,60	1,0 (1550)
<b>Корундовые</b>					
КЛ-1,8	1,8	1550	3,0	0,90	1,0 (1550)
К Л-1,3*	1,3	1550	3,5	0,80	0,8 (1550)
КЛ-1,1	1,1	1550	2,5	0,55	1,0 (1550)
<b>Динасовые</b>					
ДЛ-1,2	1,2	1550	4,5	0,70	1,0 (1550)
ДЛЛ-1,2	1,2	1550	4,5	0,70	1,0 (1550)
* Высшей категории качества.					

В последние годы в качестве сырьевой основы или ее частичной замены для производства огнеупорной продукции используют отходы промышленности, имеющие огнеупорную основу, и лом огнеупорной футеровки.

Для получения суспензии используют мелкозернистые огнеупоры – размер фракций 0,05–0,063 мм. Для торкретирования применяют зернистые огнеупоры фракций 0,2–0,315 мм для первого и второго слоев покрытия, 0,63 мм для последующих слоев. В качестве основного опорного наполнителя применяют огнеупоры более крупных фракций – размером зерен 1- 3 мм. В технологии торкретирования ими можно легко заменить часть основного огнеупорного наполнителя. При полусухом торкретировании влажность массы обычно составляет 8–15, а при мокром – 20–30 %. Для торкретирования футеровки сталеразливочных ковшей, применяемых при разливке рядовых марок стали, используют шамотные или кварцитные торкрет-массы с добавкой 5–15 % огнеупорной глины. Связкой служит водный раствор жидкого стекла. Торкрет-массы на основе кварцита характеризуются несколько худшими свойствами по сравнению с шамотными торкрет-массами. Для торкретирования 250-т ковша используют шамотноглинистый торкрет-порошок марки ПГШТ-2 по ТУ 14-8-265-78 с массовой долей  $Al_2O_3$  более 37 % фракции 0-2 мм, в том числе мельче 0,09 мм 20-30 %.

Экспериментальным путем установили (рисунок 1), что добавки частиц шамотной крошки с размером частиц менее 0,1 мм, полученной дроблением лома огнеупорной футеровки, не ухудшают геометрические (диаметр, толщину) и физические (прочность, плотность, пористость) характеристик торкрет-слоя. Практически все добавки частиц шамотной крошки этой фракции существенно увеличивают коэффициент напыления массы –  $K$ , % на поверхность изделия до 86 %. Повышением влажности массы  $W$ , %, до 10 % можно повысить  $K$  до 90 %. Показатели прочности практически остаются на прежнем уровне.

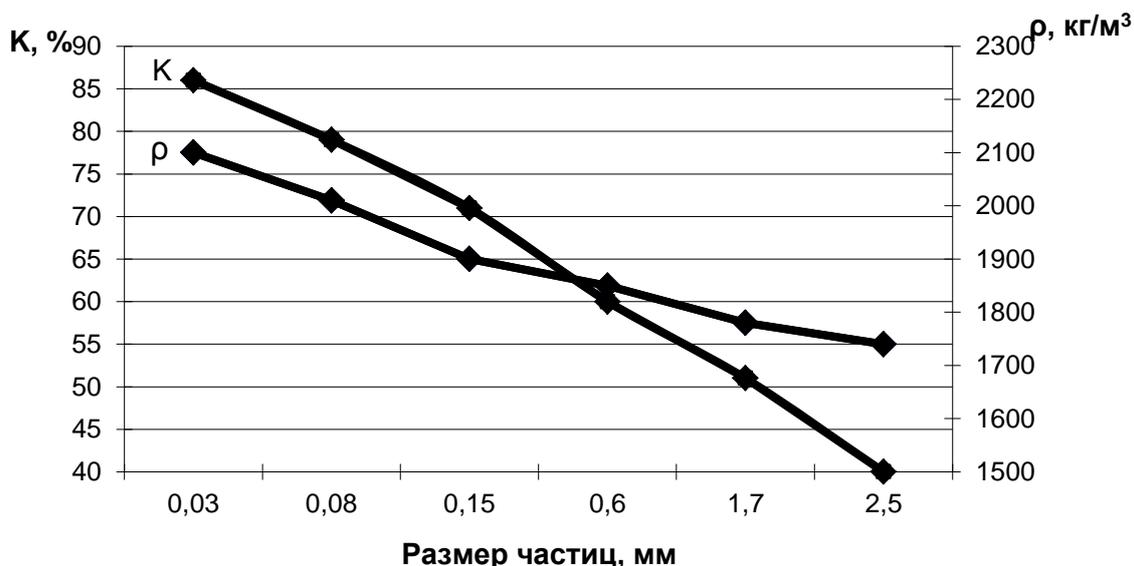


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента напыления торкрет-массы и плотности торкрет-слоя от размера частиц шамотной крошки, содержащейся в огнеупорном материале

В результате дробления лома ОМ образуются частицы с обновленной и развитой поверхностью, у которых сохранились первородные структурные свойства и практически не изменился химический и минеральный состав. Они легко взаимодействуют с вяжущим материалом, проявляя высокие адгезионные свойства. В основе упрочнения торкрет-слоя лежат силы коагуляционного взаимодействия, механического зацепления и слабые невалентные силы типа Ван-дер-Ваальса. Технология торкретирования позволяет регулировать в широких пределах прочностные и структурные свойства напыленного слоя. Прочность механического сцепления может достигать 15 МПа. Степень напыления материала зависит от дисперсного состава массы и может достигать значения 90 %. Кажущаяся плотность торкрет-слоя может изменяться от 2,3 до 3,5 г/см<sup>3</sup>. Открытая пористость напыленного покрытия не превышает 7,2 – 9,8 %. Шлакоустойчивость огнеупорного торкрет-слоя зависит в первую очередь от химического состава массы. Если химические составы массы и расплавленного металлургического шлака имеют близкие значения, то можно прогнозировать повышенную шлакоустойчивость покрытия на границе раздела фаз и поверхности ОМ. Особо высокую шлакоустойчивость имеют углеродсодержащие огнеупоры, обладающие пониженной адгезией к шлаковому расплаву. К теплозащитной футеровке теплоэнергетических устройств технологические требования менее жесткие, поэтому применение торкрет-технологий здесь наиболее оправдано [5].

На лабораторной базе кафедры теплоэнергетики и экологии СибГИУ (г. Новокузнецк) разработаны технологии использования тонкоизмельченного лома различных типов огнеупоров в качестве дисперсного наполнителя для разных марок неформованных огнеупорных материалов. Технологии рециклинга огнеупоров можно использовать для получения мертелей, заполнителей, уплотнительных смесей, теплоизоляционных засыпок, торкрет смесей, подварочных масс и огнезащитных покрытий в металлургической и строительной промышленности.

#### Библиографический список

1. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
2. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
3. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
4. Павловец В.М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2019. – 386 с.
5. Теплогенерирующие установки / Г.Н. Делягин [и др.]. – Москва: ИД «Бастет», 2010. – 624 с.

## **ПРОБЛЕМА ПЕРЕРАБОТКИ БЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ**

**Третьяченко О.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Сформулирована проблема переработки пластиковых отходов в промышленном производстве. Показана роль отходов в структуре энерго- и ресурсосбережения. Проанализированы способы решения экологической проблемы путем переработки отходов пластика.

Ключевые слова: пластиковые отходы, промышленное производство, продукция на основе пластика, технология переработки, перспективы использования отходов.

Сырьевой основой современной пластиковой тары и многих промышленных и бытовых изделий является полиэтилентерефталат (ПЭТФ или ПЭТ) – полимер, созданный комбинацией двух мономеров: модифицированного этиленгликоля и очищенной терефталевой кислоты. Материал был впервые синтезирован в 1939 и запатентован в 1941 году работниками компании «British Calico Printers» – Джоном Уинфилдом и Джеймсом Т. Диксоном. В СССР материал был произведен независимо от английских экспертов в 1949 году и был назван «лавсаном», в честь лаборатории высокомолекулярных соединений Академии наук, где его впервые получили. В первые десятилетия после изобретения полимер использовался в основном для изготовления синтетических волокон. ПЭТ – бутылка была изобретена американским изобретателем Н. Уайетом, предложившего в 1967 году хранить газировку в пластиковой бутылке. В 1973 году он запатентовал процесс изготовления бутылки. Первые коммерческие испытания ПЭТ – бутылок проводились в 1975 году, однако революция в производстве пластиковых тар началась в 1977 году, когда американское Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) запретило компании «Кока-кола» выпускать бутылки из смолы Лорас – альтернативе стеклянной таре. Компании пришлось искать новые материалы для массового изготовления прочных и дешёвых бутылок. Первоначально «Кока-Кола» планировала изготавливать ПЭТ – бутылки самостоятельно, однако после испытаний технология была передана другим производителям. Низкие затраты на производство, высокая прочность, водонепроницаемость, прозрачность, повышенная пластичность, а также способность сохранять свои свойства сделали ПЭТ–бутылки одной из самых распространённых упаковок из пластика. Популярность пластика объясняется его легкостью, экономич-

ностью, удобством использования. При изготовлении пластика энергии требуется на 21 % меньше, чем при изготовлении стекла. Его широко используют для изготовления ПЭТ тары, различных емкостей, пленки, труб, шлангов, других сантехнических, электротехнических и разнообразных бытовых изделий [1]. В России ПЭТ–бутылки составляют более 80 % от производства всех ПЭТ–материалов. Каждую секунду в мире изготавливается 20 000 ПЭТ–бутылок, а ежеминутно продаётся около 1 000 000 изделий. В результате среднестатистический человек в мире оставляет после себя более чем 50 килограммов пластиковых отходов в год. Уже в 1977 году была разработана первая технология переработки ПЭТ-бутылок. В настоящее время проблема переработки пластика является общемировой. Около 9 500 000 тонн пластика ежегодно попадает в мировой океан, в результате чего гибнут крупные рыбы и млекопитающие. Однако за всю историю изготовления и активного использования материала было переработано только его 9 %. Большинство отходов скапливаются на полигонах или разлагаются в природе. При этом ПЭТ является самым широко перерабатываемым пластиком в мире: уровень переработки материала в США достигает около 30 %, а в странах Европейского Союза около 50 %<sup>1</sup>. В Российской Федерации, по разным оценкам, подвергается переработке от 5 до 10 % всех отходов. Полимерные отходы занимают в общем объёме около 8 %, из них перерабатывается не более 10 %.

Переработка ПЭТ–бутылок и других отходов в новый материал позволяет избежать попадания полиэтилентерефталата в окружающую среду и уменьшить количество отходов, направляемых на полигоны. Главной целью рециклинга является сохранение ресурсов в качестве сырьевых материалов. ПЭТ–бутылки могут быть полностью переработаны, в то время как на их разложение на полигонах уходит около 150 лет. Наиболее часто применяемым методом к ПЭТ-бутылкам является повторное использование и вторичная переработка в новые виды материалов и изделия. Сильно загрязнённые и непригодные к переработке ПЭТ–бутылки в некоторых странах сжигают с получением энергии. Имеются положительные примеры использования ПЭТ в технологических процессах тяжелых отраслей промышленности [2, 3]. В настоящее время проблема переработки отходов полимерных материалов получает актуальность не только в связи с охраной окружающей среды, но и в связи с дефицитом полимерного сырья. Из 1 кг отходов (полиэтилентерефталат ПЭТФ, полипропилен ПП, полиэтилен высокого давления ПВД, полиэтилен низкого давления ПНД) получается 0.8 кг вторичного сырья. Основные этапы и методы переработки пластиковых отходов включают несколько позиций: сбор; сортировка (по цвету, по качеству, чистые/грязные отходы); прессование; собственно переработка (резка, промывка, сушка, производство регранулята); производство новой продукции.

В мире используют несколько основных способов отдельного сбора пластика. Схема drop-off (довезти до) подразумевает доставку населением отходов в специально отведённые места. Подобный метод в основном ини-

цируется региональными властями или внедряется при крупных сетевых супермаркетах или общественных организациях. Обычно мусоросборниками являются конусообразные открывающиеся контейнеры с двумя колёсами и сетчатым каркасом. Если подобная система хорошо отлажена, то уровень регенерации упаковки в регионе может достигнуть 40–50 %. Схема kerbside («у бордюра») подразумевает сбор мусора через установленные непосредственно рядом с домами контейнеры. Метод является наиболее эффективным – схема позволяет собрать до 60 % упаковки. В развитых странах часто встречаются автоматы (фандоматы) по приёму тары. В основном они используются для сбора пластиковых ёмкостей из-под напитков. Автоматы устанавливаются в тех странах, где введена система залоговой тары - часть стоимости упаковки включена в стоимость напитка и возвращается покупателю при сдаче материала. Как правило, подобные автоматы идентифицируют материал ёмкости с помощью штрихового кода, материального датчика или видеоизображения, а затем бутылка перемещается в секцию хранения, где часто хранится в прессованном виде. В обмен потребитель получает жетоны или чеки для обмена на определённые товары или возврата залоговой стоимости. Сортировка материала в большинстве стран осуществляется на перерабатывающем предприятии. Ручная сортировка и разделение бутылок происходит по форме, степени загрязнённости, типу и цвету материала. В России ПЭТ сортируют по четырём основным цветовым группам: тёмные цвета (чёрный, коричневый), сине-зелёные, прозрачные, другие. При ручной выборке с транспортёра один рабочий может отобрать около 140 килограмм ПЭТ-бутылок в час. Компании могут использовать системы автоматического распознавания и сортировки. Несмотря на повышенную производительность и эффективность, подобные системы являются дорогостоящими, поскольку работают с использованием сенсорных датчиков и сканеров. Установлено, что пластик нельзя перерабатывать бесконечно. Волокна полимеров при переработке стареют, качество продукта ухудшается. В результате пластик, несколько раз переработанный по такому циклу, приходится утилизировать.

#### Библиографический список

1. Дарбишева П. Г. Современные проблемы вторичной переработки // Бюллетень науки и практики. – 2016. – № 5. – С. 141–144.
2. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
3. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ БЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ**

**Третьяченко О.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проведена оценка способов переработки пластиковых отходов в промышленном производстве. Показана роль отходов в структуре энерго- и ресурсосбережения. Проанализированы основные технологии переработки отходов пластика и востребованная продукция на их основе.

Ключевые слова: пластиковые отходы, промышленное производство, основные технологии переработки, востребованная продукция из отходов, перспективы использования пластиковых отходов.

Сырьевой основой современной пластиковой тары и многих промышленных и бытовых изделий является полиэтилентерефталат (ПЭТФ или ПЭТ) – полимер, созданный комбинацией двух мономеров: модифицированного этиленгликоля и очищенной терефталевой кислоты. Пластики – органические материалы, основу которых образуют синтетические или природные полимеры, состоящие из мономерных звеньев, соединенных в длинные макромолекулы. Самыми распространенными пластмассами являются поливинилхлорид, полиэтиленрефталат, полипропилен, поликарбонат, полистирол, полиэтилен низкого и высокого давления и др. Популярность пластика объясняется его легкостью, экономичностью, удобством использования. Его производство отличается низкими энергетическими затратами. Его широко используют для изготовления ПЭТ тары, различных емкостей, лотков, поддонов, упаковок, этикеток, пленки, скотча, перегородок и перекрытий, сеток, решеток, искусственных травяных покрытий, сантехнических, электротехнических и разнообразных бытовых изделий [1]. Срок службы пластика существенно ниже его жизненного цикла. После эксплуатации эти изделия и материалы формируют отходы массой более 100 млн. тонн в год. В Российской Федерации количество твердых коммунальных отходов составляет 63 млн т в год (около 450 кг на человека), из них до 25 % приходится на пластик. Большинство типов пластмасс хорошо поддается переработке и вторичному использованию. В Европе вторичной переработке подвергается до 50 % отходов, а в России – не более 4 %. В настоящее время проблема переработки пластика является общемировой. Большинство отходов скапливаются на полигонах или разлагаются в природе, где продолжается его атака на окружающую среду. Внешний вид ПЭТ отходов и продукции на его основе показан на рисунке 1.



а

б

а – ПЭТ отходы: б – готовая продукция

Рисунок 1 – Внешний вид ПЭТ– отходов и продукции на их основе

Существует большое количество отработанных и перспективных способов переработки пластика. Условно их можно разделить на термические, механические, физико-химические и комбинированные. Пиролиз – термическое разложение веществ в отсутствие кислорода. Гидролиз происходит под действием экстремальных температур и давления. Этот способ использования отходов энергетически более выгодный, чем пиролиз, т. к. в оборот возвращаются высококачественные химические продукты. Гликолиз – деструкция протекает при высоких температурах и давлении в присутствии этиленгликоля и катализатора до получения чистого продукта. Этот способ более экономичен по сравнению с гидролизом. Самым распространенным термическим способом переработки пластика является метанолиз – расщепление отходов с помощью метанола. При термическом разложении полимерный материал распадается на низкомолекулярные соединения, такие как диметилтерефталат и этиленгликоль. Для этого обычно применяют процессы пиролиза и каталитического термолиза. В результате термической деполимеризации получают смесь углеводородов, пригодных для создания синтетического топлива, и новые пластиковые материалы. В процессе деполимеризации монопластик ПЭТ – отходов расщепляется обратно в мономеры, которые могут быть переработаны в новые ПЭТ – материалы. Наиболее простейшим способом утилизации ПЭТ – материалов, не пригодных для переработки (из-за загрязнённости или большого числа циклов использования), является сжигание на мусоросжигательных заводах, в том числе на предприятиях, рассчитанных на энергетическую утилизацию отходов.

При использовании радиационного (экспериментального) метода химические связи макромолекул разрушаются с помощью нейтронов, гамма-излучения или бета-частиц. В результате фото - и термоокислительной деструкции образуются низкомолекулярные продукты, которые впоследствии могут быть использованы в биоциклических процессах. В Институте физики высоких давлений РАН разработан способ, позволяющий утилизировать

ПЭТ, получая из него алмазы или графитоподобный углерод. Он заключается в нагревании пластика под давлением при помощи прессы и специальной камеры, способной создавать давление до 9 ГПа ( $\approx 888$  атм.) и температуру до  $1627^{\circ}\text{C}$ . Получаемые алмазы размером до 10 микрон, могут быть использованы для изготовления термостойкого абразивного микроинструмента. При более низких параметрах синтеза получается графитоподобный углерод. Компания Envosmart (Нидерланды) прогнозирует строительство предприятий по переработке пластиковых отходов в дизельное топливо. Топливо может быть использовано в любых стандартных дизельных двигателях.

Одним из направлений применения переработанных пластиковых отходов является изготовление полиэстера вторичного использования. В европейских странах около 70 % вторичного ПЭТ перерабатывается в волокна полиэстера, который используют для утепления одежды, набивки спальных мешков и мягких игрушек. Преимуществом полиэстера является его быстрое высыхание. При стирке он не садится и не деформируется. Из вторсырья можно получить нейлон, органзу и тафту. Из волокон меньшего диаметра создают верхнюю одежду на основе искусственной шерсти.

Вторичный ПЭТ материал используется в качестве сырья для изготовления ёмкостей и пластмассовых изделий. Материал низкого качества может быть полезен в изготовлении сырья при производстве клеёв и эмалей. Множество компаний всё больше инвестируют в переработку ПЭТ – тар для изготовления новых бутылок. Другие области использования включают производство щёток уборочных машин, упаковочных лент, плёнок, черепицы, тротуарной плитки, щетины и ворса, из которых готовят кисти, метлы и др.

Одним из перспективных направлений в производстве ТЭП – упаковки является создание полимеров, которые сохраняют эксплуатационные характеристики в течение срока службы, а затем разлагаются под действием факторов окружающей среды и включаются в естественный процесс обмена. Считается, что полимерные материалы на основе возобновляемого растительного сырья (зерновые, древесина, крахмал, полисахара) разлагаются на полностью безопасные компоненты: воду, диоксид углерода, биомассу и другие естественные соединения. Тем самым обеспечивают экологичность процессов утилизации. Для того, чтобы техника биоразложения полимерного материала реализовалась, необходимы соответствующие условия окружающей среды, наличие микроорганизмов селективно действующих на полимерный материал, полимерные материалы определенной химической структуры. Самый перспективный и многообещающий пластик для химической промышленности – полилактид. Спектр его использования: бумага для упаковки, посуда для микроволновых печей, мешки для отходов, одноразовая посуда, упаковка для пищевых продуктов.

Первыми биоразлагаемыми материалами с активным растительным наполнителем были композиции крахмала с различными синтетическими полимерами. Сейчас доступными считаются более 30 различных полимеров,

которые находят широкое применение не только на рынке упаковки, но и в текстильной промышленности, с/х, медицине, строительстве. Практически все крупные фирмы в области производства полимерной продукции предложили свой ассортимент биоразлагаемых материалов. Рынок биоразлагаемых полимеров является одним из наиболее быстроразвивающихся сегментов агрохимического комплекса в странах Америки, Европы, Японии.

В 2016 году японские учёные открыли бактерии *Ideonella sakaiensis* 201-Фб, способные разрушать ПЭТ-материал до терефталевой кислоты и этиленгликоля. Микроорганизмы не только разрушают материал, но и используют его для получения энергии. Согласно проведённым экспериментам, бактерии способны переработать тонкую (до 0,2 мм) плёнку за шесть недель при температуре 30 °С. Остающиеся в почве частицы ПЭТ могут разлагаться бактерией, которая питается содержащимся в материале углеродом.

В тяжёлых отраслях промышленности известны технические решения, использующие ПЭТ – отходы для производства технологических восстановительных газов, контролируемых атмосфер, поро - и структурообразующих составов [2-4].

В настоящее время самым приемлемым и эффективным методом переработки пластика остается механическая переработка. Этот способ не требует дорогого специального оборудования и может быть реализован в любом месте накопления отходов. Получаемый вторичный ПЭТ либо используется в готовом виде, либо смешивается с первичным материалом и перерабатывается для получения нужных изделий. Механический рециклинг не требует специального дорогостоящего оборудования и относительно легко реализуется в производстве. После сортировки проводят предварительное отделение непластмассовых загрязнителей (ветошь, бумажная или деревянная тара, металлоотходы и другие предметы). Чтобы облегчить процесс сортировки и очищения от загрязнителей, отходы и ПЭТ-бутылки могут быть предварительно промыты с использованием пара и химикатов, что позволяет отделить поливинилхлорид (ПВХ) от ПЭТ. Пройдя через барабан с горячей водой или воздухом, бутылки, содержащие ПВХ, изменят цвет и станут коричневыми, что облегчает идентификацию материала. Затем пластик измельчается до размеров, достаточных для того, чтобы можно было осуществить дальнейшую переработку. Чистота чешуек имеет решающее значение для сохранения ценности восстановленного пластика. Далее пластик подвергается полной отмывке от органического и неорганического загрязнения с помощью моющих средств и нагретой до 80 °С воды. Затем высушенную пластмассу нагревают в термических установках для получения расплава однородной консистенции – рециклата. Затем расплавленный материал отправляют в экструдер для формирования твердых гранул или частиц, либо используют для получения вторичной продукции. Для осуществления процесса измельчения материала используются дробилки, грануляционные установки, устройства для агломерации вторичных масс, системы замачива-

ния и очистки и др.

Из пластиковых отходов и минеральных наполнителей (золы, песка) производится полимербетон, прочный и долговечный материал, имеющий разнообразное применение. Пластик, полученный из использованных бутылок, является потенциально дешевым сырьем, а его вторичная переработка позволит решить проблемы утилизации. Применение полимербетона для ремонта может быть весьма эффективным. Применение поверхностного слоя из полимербетона у бетона из портландцемента обеспечивает износо- и кислотостойкость и высокую гидроизоляцию. Нанесение покрытий из полимербетона на железобетонные строительные конструкции существенно улучшает их внешний вид. Эффективно применение полимербетона для дренажа кислотных стоков, подземных сводов, соединительных боксов канализационных труб. Из переработанных пластиковых отходов можно изготавливать строительные изделия. Список основных технологических операций для производства тротуарной плитки представлен в таблице.

Таблица 1 – Основные технологические процессы переработки ЗШО

Процессы переработки ПЭТ	Краткое описание технологических процессов
Анализ нормативных документов	Проработка государственных документов в области обращения с отходами
Инструментальный анализ	Выполняют технический, гранулометрический анализы для назначения технологии переработки
Складирование	В закрытых ангарах для исключения увлажнения атмосферными осадками
Обезвоживание	Термическим способом или вылеживанием, совмещая с перегрузкой и складированием
Сортирование	Применяют для удаления посторонних включений
Измельчение	Применяют для уменьшения размеров частиц и кусков для получения гранул и крошки
Дозирование	Проводят бункерным методом с помощью дозаторов и питателей
Перемешивание	Необходимо для выравнивания физико-химических свойств смеси
Формообразование или прессование	Формообразование механическим прессованием, литьем расплава и др. методами
Термообработка	Сушку или обжиг проводят для улучшения потребительских свойств продукции
Готовая продукция	Проверяется на соответствие нормативным документам (ГОСТ, ТУ, технологическим инструкциям и др.)

Технические анализы позволяют определить влажность ПЭТ, содержание органических и неорганических составляющих, наличие балласта и

загрязнителей. Его результаты необходимы для корректировки технологического маршрута. По его результатам назначают режимы обезвоживания, дробления и измельчения, формообразования. После чего корректируют технологию подготовки сырья к дальнейшему переделу. Методы переработки должны быть экономически и экологически выгодными и обоснованными. Поэтому также необходим экономический анализ и оценка экологических рисков. Результаты анализа позволяют определить востребованность и конкурентоспособность производимой продукции. Особые требования предъявляют к измельчителям ПЭТ – отходов, являющихся наиболее энергоемкими устройствами. На рынке достаточно большой спектр дробилок и измельчителей для хрупкого сырья. Принцип работы ножевых измельчителей заключается в следующем. Оператор загружает сырье в бункер вручную или транспортером. Сырье измельчается с помощью соударения материала о неподвижные ножи в корпусе дробилки и подвижные ножи на роторе. Измельченный поддрешетчатый продукт проходит через сито в выходной рас-труб. Надрешетчатый продукт доизмельчается с помощью второго неподвижного ножа. Большинство дробилок выпускаются с регламентированной мощностью двигателя, типом рабочего ротора, формой и размерами бункера, пневмоподачей и пневмовыгрузкой. Дробилка может измельчать свыше 50 видов сырья, производит широкий ассортимент фракций размером до 5 мм, легко встраивается в технологическую линию. Изготовитель гарантирует установку одного из двух типов роторов: сплошного или шахматного. Роторы взаимозаменяемы, и их можно использовать на одной дробилке, без необходимости приобретения дополнительной дробилки для другого вида сырья. Как правило, количество неподвижных ножей у дробилок – 2, подвижных 3 – 6. Производительность установок – до 1,5 т/час. На заключительной стадии технологии из измельченного сырья формируется готовая продукция, которая проверяется на соответствие нормативным документам (ГОСТ, ТУ, технологическим инструкциям, паспортам и др.).

#### Библиографический список

1. Дарбишева П. Г. Современные проблемы вторичной переработки // Бюллетень науки и практики. – 2016. – № 5. – С. 141–144.
2. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
3. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
4. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.

## **ОЦЕНОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННОГО МИНЕРАЛЬНОГО МАСЛА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Трифонов И.М.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проанализированы существующие и перспективные методы переработки отработанного минерального масла в промышленности. Рассмотрен технологический процесс переработки отработанного минерального масла на основе мембранных фильтров.

Ключевые слова: отработанное минеральное масло, технологии переработки, продукты переработки, мембранные фильтры.

Отработанные минеральные масла (ОММ) представляют собой сырьевую базу для получения вторичных нефтепродуктов в нефтехимии и на транспорте [1-3]. В последнее время появились предложения об использовании ОММ в качестве технологических добавок в промышленных технологиях [4, 5]. Наиболее эффективным способом утилизации является регенерация отработанных масел с целью полного восстановления их первоначальных свойств. Не менее важной задачей является производство новых востребованных нефтепродуктов и решение экологических и ресурсосберегающих проблем.

Снижение рабочих свойств масел происходит при эксплуатации моторных масел, когда при работе двигателя внутреннего сгорания в них образуются продукты окисления в виде асфальто-смолистых соединений, нагаров, лаков и других соединений. Для предотвращения выпадения в осадок этих соединений в масло вводят моющие и диспергирующие присадки из класса поверхностно-активных веществ, которые удерживают продукты окисления моторного масла в коллоидном состоянии. Снижение эксплуатационных характеристик моторных масел наступает тогда, когда присадки в свободном состоянии заканчиваются. В таких условиях продукты окисления начинают выпадать в осадок и вызывают износ двигателя. Такое состояние моторного масла свидетельствует о необходимости его замены. Отработанные моторные масла относятся к «нефильтруемым» [1], так как при их фильтрации наблюдается весьма незначительный эффект очистки от окисленных соединений, которые находятся в коллоидном состоянии за счет действия присадок.

Существует значительное количество способов регенерации ОММ. Все их можно разделить на четыре основные группы: физические, физико-химические, химические и комбинированные. Физические методы включают в себя отстаивание, центрифугирование, фильтрацию, отгон легких фракций и

вакуумную перегонку. Включение последнего способа в технологический цикл переработки является наиболее эффективным, поскольку позволяет получить масло с минимальной зольностью, коксуемостью, хорошими показателями по цвету и незначительным содержанием асфальто-смолистых веществ. К часто используемым физико-химическим способам обработки моторных масел принадлежат коагуляция, контактная очистка отбеливающими глинами и адсорбентами, а также очистка пропаном и фенолом, включая сернокислотную и щелочную очистку. Серная кислота является достаточно активным коагулянтom. Комбинированные способы обработки ОММ, как правило, включают все вышеперечисленные методы и некоторые из них находятся на стадии экспериментальной отработки. Проведем анализ этих способов. Известен способ, при котором на этапе химической очистки отработанные моторные масла обрабатывают концентрированными минеральными кислотами, в частности, серной кислотой. На второй стадии проводят отбеливание глинами. Технология характеризуется низким выходом регенерированного масла, так как около 50 % продукта теряется, переходя в кислый гудрон. Известен способ регенерации моторных масел, который включает в себя несколько последовательных сложных стадий. Вначале идет удаление механических примесей, воды и легких углеводородов. Затем происходит обработка насыщенными углеводородными растворителями. Завершается очистка вакуумной дистилляцией и каталитическим гидрированием. В другом решении, для регенерации применяется низкотемпературный нагрев, отгонка воды и легких углеводородных фракций, обработка полиметилсилоксановыми растворителями. Далее проводят вакуумную разгонку в тонкопленочном испарителе. Среди недостатков данного способа стоит выделить высокую стоимость растворителя, а также трудности, которые возникают при его отделении от моторного масла. Известен способ обработки моторных масел, который включает ступенчатый нагрев с целью удаления легких фракций и воды, экстракцию насыщенными углеводородными растворителями (например, пропаном), вакуумную разгонку с фракционированием и гидроочистку. Тяжелая фракция масла подвергается термической обработке и повторно экстрагируется растворителем. Технология очистки является достаточно трудоемкой, так как требует дополнительной термообработки и экстракции.

Проанализируем иностранный опыт в сфере регенерации моторных масел. Во Франции разработан и внедрен технологический процесс регенерации ОММ, который включает очистку пропаном. Последний пригоден для восстановления моторных масел, содержащих большое количество присадок, смол, лаков и асфальтовых соединений. В Интернет-источниках доступна информация о разработке процесса регенерации моторных масел с использованием метода ультрафильтрации, реализуемой с помощью растворителей (ацетон, спирт и др.). Выход восстановленного масла составляет около 90 %. В Швеции предложена технология очистки ОММ, которая предусматривает предварительную отгонку воды и топливных фракций, а

также обработку масла дисперсией металлического натрия. Одна из американских фирм предложила способ регенерации отработанных моторных масел, при котором для предварительной очистки используются сульфаты и фосфаты аммония. При условии последующей доочистки это позволяет удалить из масла металлы и присадки, а также снизить показатель зольности до величины, которая соответствует свежим маслам.

В одном из решений (РФ) регенерация отработанного масла проводится путем смешения предварительно нагретого масла до 80 – 100 °С с водным раствором карбамида и последующим отделением регенерированного масла. Водный раствор состоит из 30 – 50 % карбамида, 4 – 6 % моноэтаноламина и 2 – 4 % хлорида алюминия. В другом решении очистку ОММ проводят путем предварительного нагрева масла и последующего осаждения загрязнений, при этом в масло добавляют смесь изопропилового спирта и карбамида в соотношении 1:1, взятом в количестве 1,0 %, в расчете на сухой карбамид от массы очищаемого масла. Техническим результатом предлагаемого решения является повышение качества очистки ОММ и упрощение технологического процесса. Решение, в котором предусмотрена обработка ОММ моно- или триэтаноламином или их смесью, с добавлением этанола или пропанола, требует проведения экспериментальной проработки. Согласно этой технологии отработанное масло подвергают отстаиванию с последующим отделением очищенного масла и его дальнейшей доочисткой. В некоторых работах показано, что наибольший эффект наблюдается при использовании в качестве основного коагулянта моноэтаноламина. В ряде работ, посвященных коагуляции, основное внимание уделяют поиску эффективных коагулянтов и определению их оптимального содержания.

Приведенный обзор методов и способов регенерации моторных масел является, конечно, неполным. Очевидно, что для увеличения эффекта очистки необходимо любым способом осуществить «укрупнение» окисленных соединений – коагуляцию. При этом основная проблема процесса коагуляции ОММ – это удаление избытка коагулянта, зависящего как от качества исходного масла, так и срока его эксплуатации в двигателе внутреннего сгорания.

Известны примеры технологического использования ОММ в промышленности. В частности, известно применение ОММ в качестве нетрадиционного восстановителя и структурообразующего средства, которое предложено в производстве окускованного металлургического сырья [4-7].

Возможность очистки ОММ от МЭА и асфальто-смолистых соединений с помощью тонкопористых микрофльтрационных мембран исследована в работе [8], В работе представлены результаты исследования процесса регенерации ОММ, состоящий из двух стадий: коагуляции и микрофльтрации. При исследовании процесса регенерации было использовано отработанное моторное масло «Nordix» с характеристиками, приведенными ниже: температура вспышки в открытом тигле – 186 °С, вязкость кинематическая при 100 °С – 6,1 сСт, кислотное число – 2,49 мг КОН/г, щелочное число – 0,5

мг КОН/г, содержание воды – 0,00430 %, содержание механических примесей – 2,51 %, плотность при 20 °С – 871,3 г/см<sup>3</sup>. Цвет нефтепродуктов темных – более 8,0 ед. ЦНТ. зольность масла с присадками – 0,5695 % . Для перевода ОММ в разряд «фильтруемых» осуществлялась его коагуляция в лабораторном реакторе с мешалкой при температуре 80 °С и концентрации коагулянта 10 % (смесь МЭА: изопропанол в соотношении 2:1) в течение 60 минут с последующим разделением на центрифуге в течение 30 минут. Отработанное моторное масло после коагуляции МЭА представляет собой эмульсию, состоящую из дисперсионной среды, смол и асфальтенов. Основа масла – смесь изопарафиновых, нафтеновых, ароматических и нафтеноароматических углеводородов с молекулярной массой 300 – 600 кг/кмоль. Смолы – вещества жидкой или пластичной консистенции с молекулярной массой около 1000 кг/кмоль. По составу – это собой смесь ароматических углеводородов с длинными цепями, конденсированных ароматических и нафтеноароматических углеводородов с короткими цепями, фенольных и азотистых оснований и других соединений. Смолы легко вступают в реакции окисления и конденсации, переходя в асфальтены, карбены и карбоиды. Так было получено «исходное» масло, которое в дальнейшем подвергалось мембранному разделению на лабораторном стенде. В работе оценивали эффективность различных типов мембран. Характеристики исследованных мембран и их свойств представлены ниже: средний диаметр пор – 0,03 – 0,1 мкм, производительность мембран по дистиллированной воде при  $\Delta p = 0,5$  ати – 100 – 800 л/м<sup>2</sup> ч. Термическая устойчивость, °С, не более, для мембраны: полимерного типа МФФК – 100; для металлокерамической – 400; керамической одноканальной – 500; углеродной одноканальной – 300.

Промышленным методом увеличения удельной производительности мембран является снижение вязкости ОММ за счет повышения температуры масла. Верхняя допустимая граница температуры – 140 °С обусловлена температурой вспышки ОММ, составляющей 160 – 180 °С. Сопоставляя значения удельной производительности и селективности мембран по асфальтосмолистым соединениям, авторы пришли к выводу о том, что оптимальный диапазон температур для всех исследованных мембран соответствует 80–100 °С, установили, что различия в фильтрующей способности мембран обусловлены экраным механизмом, с учетом поверхностных и адсорбционных взаимодействий в системе «мембрана – раствор». Анализируя зависимости удельной производительности и селективности в пределах одной группы мембран, установили, что возрастание размеров пор приводит к увеличению удельной производительности и снижению селективности. Для большинства исследованных показателей наилучшие результаты показали керамические и металлокерамические мембраны. Восстановление свойств всех мембран, за исключением керамической, достигнуто путем их промывки бензином. Способом регенерации керамической мембраны является прокаливание при температуре около 400 °С. На основании полученных результатов исследований,

представлены рекомендуемые режимы эксплуатации мембран при регенерации ОММ. Сделаны выводы о необходимости дальнейшего совершенствования конструкции мембранного полотна. Результаты исследований можно использовать для совершенствования конструкции масляных фильтров ДВС.

#### Библиографический список

1. Евдокимов А.Ю. Комплексная схема переработки отработанных масел и смазок / А.Ю. Евдокимов [и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия – 1990. – № 1. – С. 28–31.
2. Школьников В. М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости / В. М. Школьников. – Москва : Химия, 1989. – С. 122–124.
3. Непогодъев А. В. Химический состав отработанного моторного масла / А. В. Непогодъев // ХТТМ. – 1974. – № 12. – С. 50–53.
4. Патент № 2743435 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020104648/02, Заявл. 31.01.2020; Оpubл. 18.02.2021. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2020. – №5.
5. Патент № 2750432 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020133386/02, Заявл. 09.10.2020; Оpubл. 28.06.2021. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2021. – №19.
6. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
7. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
8. Гриценко В. О. Применение микрофльтрации для регенерации отработанных моторных масел / В.О. Гриценко, Н.С. Орлов // Российский химико-технологический университет, ВИНТИ. Серия. Критические технологии. Мембраны. – 2002. – № 16. – 2002. – С.10–16.

УДК 665.6

## ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННОГО МИНЕРАЛЬНОГО МАСЛА

**Трифонов И.М.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проанализированы существующие и перспективные методы переработки отработанного минерального масла в промышленности. Дана характеристика и источники образования примесей и загрязнителей масла. Рассмотрен технологический процесс глубокой очистки отработанного минерально-

го масла.

Ключевые слова: отработанное минеральное масло, технологии переработки, глубокая очистка, продукты переработки.

Отработанное минеральное масло (ОММ) образуется в двигателях внутреннего сгорания на транспорте (автомобильном, железнодорожном, морском и др.), в компрессорной, турбинной и гидравлической технике [1, 2]. Проблема переработки отработанного минерального масла имеет ресурсосберегающий и экологический аспекты. Первый аспект проблемы обусловлен необходимостью ресурсосбережения в промышленности путем повторного использования ОММ в качестве сырья для получения востребованной продукции. Второй аспект исключает загрязнение ОММ окружающей среды после его переработки.

Переработка ОММ в любом процессе начинается с многоступенчатого удаления примесей и загрязнений. Этот процесс требует удаления примесей и грубых твердых частиц, которые могут представлять опасность для окружающей среды или приводить к проблемам при накоплении осадка в емкостях и резервуарах. Основной примесью в ОММ является вода. В небольших количествах она способна растворяться в масле, причем образует стабильные эмульсии, в том числе, благодаря присадкам, полярным продуктам окисления и загрязнителям. Часть воды, не растворившаяся в масле и отделившаяся от него из-за разницы в их плотности, находится в свободном состоянии. Она может попадать в оборудование из окружающей среды вследствие конденсации атмосферной влаги и утечек из охлаждающих линий (часто вместе с антифризом). Иногда содержание воды в ОММ возрастает от нескольких процентов до 30 %. Процесс удаления воды трудоемкий и требует определенных энергетических затрат.

Вторыми по массе являются твердые загрязнители. Неорганические механические примеси (грязь – пыль, песок, продукты износа – частицы металлов и оксидов металлов, стружка, шламы, лаки, нагары), которые накапливаются в ОММ в процессе эксплуатации. Они попадают в масло из окружающей среды из-за негерметичности оборудования, либо образуются внутри двигателей, машин и механизмов. Сажа накапливается при несвоевременной замене масла или неполного сгорания топлива. Топливо также является загрязнителем, попадая в картер вместе с продуктами сгорания при их прорыве (через зазоры поршневых колец) и в результате утечек. Это происходит при длительной работе двигателя на холостом ходу, перегрузках двигателя, нарушении инжекции топлива, неправильном соотношении воздуха и топлива. Эмульсолы и смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) и масла, применяемые при металлообработке, попадают в индустриальные масла, слитые из металлообрабатывающих станков.

Кроме перечисленных загрязнителей встречаются посторонние примеси, попадаемые в ОММ осознанно по целому ряду причин. Растворители для чистки машин и оборудования, антифризы, промывочные и тормозные жид-

кости попадают в двигатель из системы охлаждения через дефекты уплотнений или повреждений, кавитации или коррозии, разрушающих гильзы цилиндра. К сожалению, слив антифризов и тормозных жидкостей совместно с моторными маслами в автосервисах практикуется повсеместно, что затрудняет переработку ОММ. В большинстве стран мира сегодня нет отдельного коммерческого сбора антифризов, и лишь в некоторых странах природоохранные службы следят за утилизацией антифризов. Посторонние примеси, попадающие в ОММ из-за низкой культуры сбора, – это минеральные соли, кислоты, шламы, ПАВ, частицы металлов и окислов и др. Синтетические масла, ПАО и другие синтетические углеводороды проблемы не составляют и повышают ценность ОММ. Другие синтетические масла (сложные эфиры карбоксильных кислот или фосфорной кислоты, силиконовые масла, галогенсодержащие продукты, полигликоли, полифенилы) затрудняют переработку ОММ даже при небольшой их концентрации. Отходы, внешне похожие на масла, обычно классифицируемые как более опасные, чем ОММ. К ним относятся отходы лакокрасочной промышленности, продукты переработки угольной смолы, шламы резервуаров с нефтепродуктами – в первую очередь, с мазутом. Последние относятся к группе СНО. Примесь мазута в ОММ приводит к ухудшению их свойств и загрязнению нежелательными компонентами.

Отработанные минеральные масла (ОММ) представляют собой сырьевую базу для получения вторичных нефтепродуктов в нефтехимии, на транспорте и в других отраслях техники [1 – 3]. Технологические схемы очистки включают предварительную очистку сырья и более глубокую доочистку дистиллятных масляных фракций. Основные из этих процессов: отстаивание, фильтрация, центрифугирование, перегонка в роторно-плёночном испарителе (РПИ), отгон горючего топлива и воды, коагуляционная и экстракционная (селективная) очистка, сернокислотная очистка, адсорбционная очистка, гидроочистка, ультрафильтрация. Схема глубокой очистки ОММ приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема промышленной переработки ОММ

Для контроля ОММ при сборе и хранении в первую очередь применяют упрощённые методики анализа с помощью простых приборов. Такие методы были разработаны ООО «ВНИИ НП» в 80-е годы XX века и модернизированы в 2015 г. В последние годы этой организацией были разработаны государственные стандарты для испытания ОМ, утвержденные приказами Росстандарта. Перечень нормативных документов представлен ниже: ГОСТ 33<sup>1</sup>-2016 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчёт динамической вязкости», ГОСТ 26378.1-2015 «Нефтепродукты отработанные. Метод определения воды», ГОСТ 26378.2-2015 «Нефтепродукты отработанные. Метод определения механических примесей и загрязнений», ГОСТ 26378.3-2015 «Нефтепродукты отработанные. Метод определения условной вязкости», ГОСТ 26378.4-2015 «Нефтепродукты отработанные. Метод определения температуры вспышки в открытом тигле», ГОСТ 33159-2014 «Масла смазочные отработанные. Определение содержания нерастворимых веществ», ГОСТ EN12766-1-2014 «Определение полихлорированных бифенилов (PCB) и родственных соединений», ГОСТ 2477<sup>3</sup>-2014 «Нефть и нефтепродукты. Определение содержания воды», ГОСТ 4333<sup>1</sup>-2014 «Нефтепродукты. Определение температур вспышки и воспламенения в открытом тигле».

Основная задача предварительной очистки ОММ – продление межремонтного срока службы и повышение качества товарных продуктов. Стадия доочистки дистиллятных масляных фракций необходима для удаления остатков в производимой продукции нежелательных компонентов.

Перегонка в роторно-пленочном испарителе (РПИ) относится к технологиям глубокой очистки ОММ (рисунок 2).

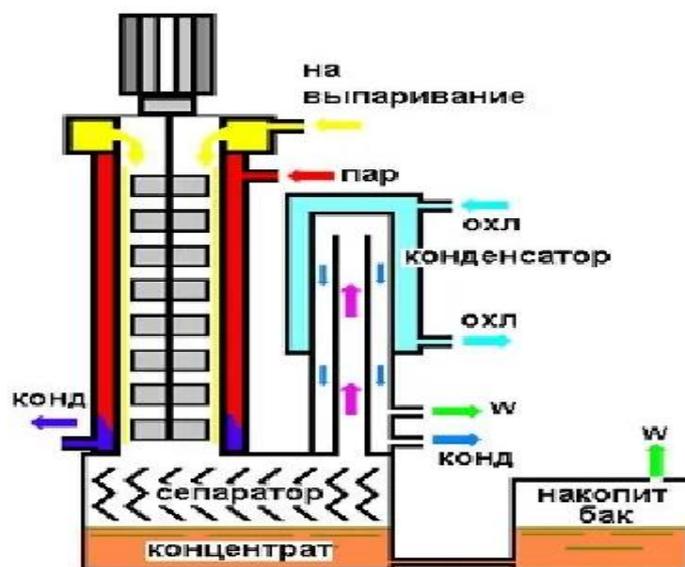


Рисунок 2 – Роторно-пленочные испарители в структуре очистки ОММ

В этом процессе масло после удаления воды и легких фракций перегоняют в РПИ при глубоком вакууме и относительно невысокой температуре.

Неиспарившуюся часть нежелательных компонентов в форме осадка, удаляют снизу испарителя и используют в производстве асфальта. Перегонка осуществляется при остаточном давлении 1–2 мм рт. ст., температуре 300–350 °С и непродолжительном контакте горячего сырья с металлическими поверхностями. В этих условиях крекинг сырья исключается, отработанные присадки концентрируются в кубовом остатке испарителя, а целевой продукт после доочистки пригоден для применения в качестве компонентов смазочных масел. Известен процесс MOR, где используют глубокую вакуумную перегонку (остаточное давление не более 20 мм рт. ст.) при относительно низкой температуре – не выше 300 °С. В процессе SEC-FEED применяют вакуумную перегонку в РПИ, что позволяет извлекать масляные фракции. Способ многостадийный, состоящий из предварительной очистки ОММ, обезвоживания, удаления механических примесей и перегонки в РПИ. Выход товарного масла достигает 75 %.

Переработка на нефтеперерабатывающем заводе заключается в том, что ОММ используется при переработке нефти в качестве сопутствующего сырья для производства бензина или чистого масла. В производстве разработано множество способов регенерации масла с получением смазок, наполнителей красок, покрытий, технологических брикетов и других продуктов (рисунок 3).



а – очищенное масло; б – смазки; в – краски; г – покрытия; д, е – брикеты

Рисунок 3 – Продукты переработки ОММ

Полученные продукты практически не отличаются от продуктов, полученных из сырой нефти. Регенерация продлевает срок службы масла на длительный срок, что делает этот процесс наиболее предпочтительным с экологической

гической и экономической точки зрения, поскольку на регенерацию масла требуется на 70 % меньше энергии. В последнее время появились предложения об использовании ОММ в качестве технологических добавок в промышленных технологиях. В частности, предложено применение ОММ в качестве нетрадиционного восстановителя и структурообразующего средства в производстве окучкованного металлургического сырья [4 – 6]. Технология исследована в лабораторных условиях и показала высокую эффективность.

#### Библиографический список

1. Евдокимов А.Ю. Комплексная схема переработки отработанных масел и смазок / А.Ю. Евдокимов [и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия – 1990. – № 1. – С. 28–31.
2. Школьников В. М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости / В. М. Школьников. – Москва : Химия, 1989. – С. 122–124.
3. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
4. Патент № 2743435 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020104648/02, Заявл. 31.01.2020; Оpubл. 18.02.2021. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2020. – №5.
5. Патент № 2750432 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020133386/02, Заявл. 09.10.2020; Оpubл. 28.06.2021. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2021. – №19.
6. Патент № 2630789 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2016152375/02, Заявл. 28.12.2016; Оpubл. 13.09.2017. Бюл. №26 //Изобретения. Полезные модели. 2017. – №26.

УДК 676.01

### **ЗАМЕНА ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТХОДАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ И КАРТОНА**

**Наумов Ф.П.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проведена оценка сырьевой базы технологии производства бумаги и картона. Обоснована замена природных источников сырья в производстве бумажной продукции отходами производства бумаги и картона.

Ключевые слова: отходы бумаги и картона, методы переработки, промышленное производство, перспективы использования отходов бумаги и

картона.

Бумага – это волокнистый материал с минеральными добавками, получаемый из целлюлозы растений и вторичного сырья (тряпья и макулатуры), предназначенный для производства листов для письма, рисования, печати, упаковки и прочих изделий [1]. К их числу относятся: отделочный материал (обои), поделочный материал (оригами, папье-маше, аппликация, игрушки), упаковочный материал (фантики, наклейки, мешки, коробки, садово-огородный инвентарь), чистящий материал (полотенца, салфетки, носовые платки, туалетная бумага, промокательная бумага), волокнистый фильтрующий материал (фильтровальная бумага), изоляторы при производстве конденсаторов, производство гетинакса, производство денег, знаков почтовой оплаты, документов, подложка для нанесения химических реактивов (фотобумага, индикаторная бумага, наждачная бумага и т.д.).

Натуральная бумага или бумага-основа для мелования, на 100 % изготавливается из отбеленной целлюлозы (рН= 7,5-9, доля карбоната кальция – не менее 3 %). Эти требования установлены стандартом DIN-ISO 6738, применяемым для документов и книг и используемым более 50 лет. Известны разновидности бумаги: бумажная ткань, калька, китайская, копировальная, мелованная, полусинтетическая, фальцованная, рисовая (съедобная). Сырьем для производства бумаги является древесная масса или целлюлоза, целлюлоза однолетних растений (соломы, тростницы, конопли, риса и других), макулатура и тряпичная масса. Для специальной бумаги используют: асбест, шерсть, текстиль и другие. Производство бумаги состоит из следующих процессов: приготовление бумажной массы (размол, смешивание компонентов, проклейка, наполнение, окраска), изготовление бумажной массы на бумагоделательных машинах (разбавление водой, очистка от загрязнений, отлив, прессование, сушка, первичная отделка), окончательная отделка (складирование, резка, сортировка и упаковка).

При размоле древесины волокнам придают необходимую толщину и физические свойства. Размол производится в роллах, конических и дисковых мельницах, рафинерах и других измельчителях. Чтобы сделать бумагу пригодной для письма и придать ей гидрофобные свойства, в бумажную массу вводят канифольный клей, парафиновую эмульсию, глинозём и другие клеящие вещества. Эта процедура называется проклейкой. Для повышения механической прочности и жёсткости массы добавляют крахмал, животный клей. Для увеличения прочности бумаги во влажном состоянии – мочевино- и меламино-формальдегидные смолы. Для повышения белизны, гладкости, мягкости и непрозрачности, улучшения печатных свойств бумаги вводят минеральные наполнители (каолин, мел, тальк). Для придания цвета и повышения белизны – анилиновые (реже минеральные) красители. Некоторые виды бумаги, например, впитывающие и электроизоляционные, вырабатываются без проклейки и наполнения. Бумага из конопляной массы и рисовая бумага

имеют более светлый оттенок, чем цвет бумаги из древесной целлюлозы, поэтому не требует дополнительного химического отбеливания волокон.

Готовая бумажная масса концентрацией 2,5 – 3,5 % с помощью насоса подаётся из подготовительного отдела в смесительный бассейн, откуда перекачивается на бумагоделательную машину. Предварительно масса разбавляется оборотной водой (до концентрации 0,1 – 0,7 %) и пропускается через очистную аппаратуру (песочницы, вихревые и центробежные очистители и уловители). Наиболее распространена так называемая столовая (с плоской сеткой) бумагоделательная машина. Она состоит из сеточной, прессовой и сушильной частей, каландра и наката. Бумажная масса непрерывным потоком вытекает на движущуюся замкнутую в кольцо сетку машины, где происходит отлив, обезвоживание и уплотнение бумажного полотна. Дальнейшее обезвоживание и уплотнение полотна производится в прессовой части, образуемой несколькими вальцовыми прессами, между валами которых бумажное полотно транспортируется в течение всего процесса.

Волокна целлюлозы в древесине связаны между собой жестким трехмерным полимером – лигнином, составляющим до 30 % массы древесины. Получение волокон из древесины осуществляется с применением механических или химических методов. При механическом получении древесной (механической) массы к древесине прикладывают механические усилия, истирая или размалывая древесину в водной среде. При этом выделяется теплота, лигнин за счет действия воды, тепла и дополнительных реагентов размягчается, и древесина разделяется на отдельные волокна. Лигнин на поверхности и внутри волокон делает их твердыми и жесткими со стабильными размерами. Листы, изготовленные из механически измельченной древесной массы, имеют высокую пористость, низкую плотность и сравнительно низкую массу на единицу площади для данной толщины. Схема производства древесной (механической) массы представлена на рисунке 1.

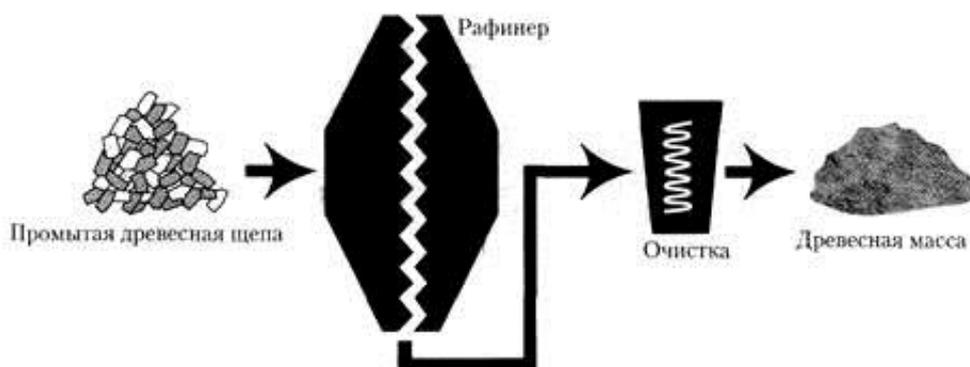


Рисунок 1 – Схема получения древесной массы механическим способом

Если древесная щепа до получения массы была нагрета, то в этом случае получают продукт, называемый термомеханической древесной массой (ТММ, ТМР, Termomechanical Pulp). Если для удаления части лигнина при-

меняли химическую обработку, то продукт называют химико-термомеханической массой (ХТММ, СТМР). Древесная масса, приготовленная механическим способом, сохраняет цвет исходной древесины; химико-термомеханическая масса несколько светлее. Дополнительно она может быть подвергнута отбелке, и в этом случае ее называют беленой химико-термомеханической массой (БХТММ).

При химическом способе получения целлюлозы применяют химические вещества, разделяющие волокна путем растворения нецеллюлозных и неволокнистых компонентов древесины (рисунок 2). При этом используют два типа основных технологических процессов. Выход целлюлозы в этих процессах зависит от способа варки и вида древесины и составляет от 40 до 65 %. В настоящее время наиболее широко применяется сульфатный процесс, известный также как сульфатная варка или крафт-процесс. Он позволяет обрабатывать все основные типы древесины, а химические вещества могут быть восстановлены для повторного использования. Другая технология – это сульфитная варка целлюлозы. В обоих случаях извлеченные из древесины нецеллюлозные компоненты используются на целлюлозно-бумажных комбинатах как источник энергии и в качестве продукта для извлечения коммерческой прибыли. Наиболее известным товарным продуктом является сульфит-дрожжевая бражка, широко используемая в качестве связки для производства формованных материалов в различных отраслях промышленности, в том числе в металлургическом производстве [2–4].

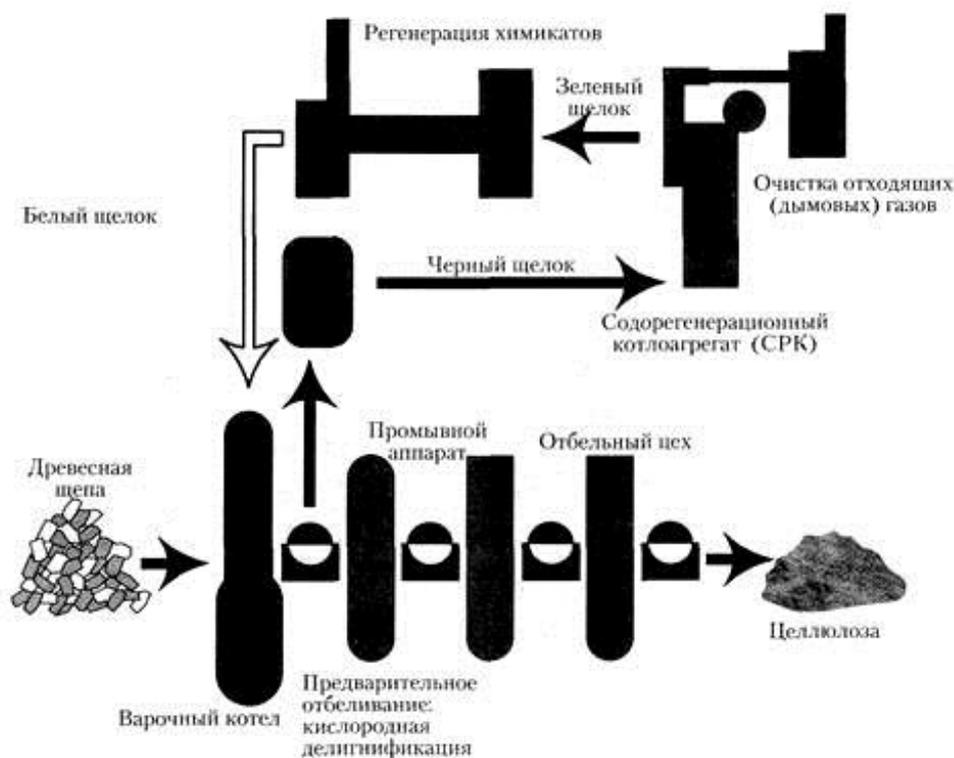


Рисунок 2 – Схема производства сульфатной беленой целлюлозы

При варке из древесины удаляются ее нецеллюлозные компоненты, улучшается структура массы и повышаются бумагообразующие свойства волокон. Средняя длина волокна при химических способах получения волокнистых полуфабрикатов больше, чем при механическом разделении волокон, а получаемые волокна более гибкие. Все это обеспечивает получение после варки измельченной древесины более прочного и гибкого листа. Цвет получаемого продукта (небеленой целлюлозы) – коричневый.

Следующим этапом производства бумаги является отбелка темной целлюлозы. Целлюлоза отбеливается путем удаления остаточного лигнина и следов других компонентов древесины. Отбеленные целлюлозные волокна бесцветны и прозрачны, а в целом беленая целлюлоза имеет белый цвет. Беленые волокна представляют собой чистую целлюлозу, что очень важно при упаковке пищевых продуктов, где необходимо, чтобы материалы упаковки не влияли на вкус и запах упаковываемого товара. Примерами таких чувствительных продуктов могут служить шоколад, сливочное масло, чай и табак. До 1980-х гг. для отбелки целлюлозы применялись хлор и его соединения. В современных процессах отбелки хлор не применяется. В настоящее время используют кислород, перекись водорода и диоксид хлора. Побочные продукты такой отбелки просты и безвредны. Беленая целлюлоза характеризуется высокой стойкостью к воздействию света. Под воздействием солнечного света она лишь слегка желтеет.

Принято считать, что древесина, из которой производят бумагу, является подходящим экологическим сырьём для производства продукции, поскольку она, в отличие от нефти или газа, относится к постоянно воспроизводимым природным ресурсам. Однако экологические аспекты производства современных методов получения бумаги оспариваются, поскольку в производстве используется большое количество химии для её обработки. При этом в производстве продукции из бумаги некоторые деревообрабатывающие и целлюлозно-бумажные предприятия допускают значительное загрязнение окружающей среды, а отходы бумаги после потребления не перерабатываются. По данным организации «Форум по экологии и бумаге» (FOP), для производства бумаги используется каждое пятое дерево на планете. Несмотря на это, по данным FOP, ежегодно во всём мире уничтожается 13 млн га леса, а потребление бумаги продолжает стремительно расти. В 1980 году в мире было произведено около 170 млн. тонн бумаги, а в 2017 году – свыше 423 млн. тонн. В последние годы потребление бумаги, предназначенной для печатной продукции, снижается, чего нельзя сказать о бумаге для упаковочных материалов или посуды. Потреблению бумаги в значительной мере способствует рост объёмов онлайн-торговли. Часто размер посылочной упаковки может быть значительно больше содержимого. В FOP опасаются, что сложившийся неблагоприятный имидж пластика также может способствовать росту потребления бумаги как упаковочного материала.

Специалисты рекомендуют осуществлять полный переход на бумагу,

изготовленную путём вторичной переработки. Использование тонны макулатуры позволяет изготовить 750 кг бумаги. Производство же тонны бумаги из вторсырья должно предотвратить вырубку 20 деревьев, сэкономить 53 % воды и 31 % электричества, а также сократить выбросы CO<sub>2</sub> на 44 %. Основная причина переработки отходов и макулатуры – это экономическая выгода. Для производства бумаги из древесины требуется больше воды, электроэнергии, используется более дорогостоящее оборудование и материалы. Производство бумаги из первичного сырья считается вредным, так как при изготовлении целлюлозы используется кислота. Вторая причина переработки бумажного вторсырья – забота о природе. Считается, что такой подход спасает леса от вырубки, а фауну от исчезновения.

#### Библиографический список

1. Иванов С. Н. Технология бумаги / С. Н. Иванов. – Москва: Лесная промышленность, 2006. – 696 с.
2. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с
3. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
4. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.

УДК 676.01

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ БУМАГИ И КАРТОНА

**Наумов Ф.П.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проведена оценка сырьевой базы в производстве бумаги и картона. Проанализирована технология производства картона с использованием в качестве сырья макулатуры. Показаны перспективы использования бумажной пульпы в различных отраслях техники.

Ключевые слова: отходы бумаги и картона, методы переработки, промышленное производство, бумажная пульпа, перспективы использования макулатуры.

Бумага – это волокнистый материал с минеральными добавками, получаемый из целлюлозы растений и вторичного сырья (тряпья и макулатуры),

предназначенный для производства бумажной продукции (БП), листов для письма, рисования, печати, упаковки и прочих изделий [1, 2]. Потребление бумажной продукции в мире постоянно растет. В Германии среднедушевое потребление БП в 2019 году составило 241 кг, в США – 211 кг, в России – 50 кг. Также непрерывно увеличивается потребление бытовой бумаги (туалетная бумага, бумажные полотенца, салфетки, коврики). В России этот показатель составляет 4 кг на человека в год, а в Европе – 15 кг, в США – более 20 кг.

Макулатурой называют отработанные бумажные изделия, которые перерабатываются для последующего повторного использования. Не все бытовые «бумажные» предметы являются макулатурой. Например, «картонная» коробка из-под молочных продуктов на самом деле является многослойным полимером. Или «бумажный» стаканчик, который обработан пластиковым составом, предотвращающим его размокание. Макулатура считается неопасным видом сырья, относящимся к пятому классу опасности. По сути, она является безвредным материалом для человека и окружающей среды. Попав в почву, бумажная продукция в течение одного года полностью разлагается. Вред природе может нанести краска, клеящие и ламинирующие вещества, входящие в состав полиграфической продукции, и соответственно, макулатуры. Если в бумаге есть как сертифицированное FSC первичное волокно и макулатура, ей присваивается категория FSC Mix, а когда в производстве на 100 % использована только макулатура, – категория FSC Recycled. В пунктах приёма есть определённый перечень, какую бумагу можно сдать на переработку. Это: газеты и журналы из неламинированной бумаги; листы офисной бумаги; картонные папки-скоросшиватели; упаковки из гофрированного картона; тетрадки, книжки; бумажные мешки (не ламинированные). Есть производства, которые способны утилизировать бумагу различных типов. Для нее необходимо специальное оборудование для интенсивной очистки вторсырья от различных примесей. Макулатуру на рынке потребления следует разделять. Нужно отдельно рассматривать рынок макулатуры марки МС–5Б (отходы производства и потребления гофрированного картона) и рынок макулатуры всех прочих марок. Макулатура марки МС–5Б – это наиболее распространенный вид макулатуры: ее больше всего образуется, собирается и перерабатывается. Основу такой макулатуры составляет тара из гофрокартона: упаковочные ящики для продуктов, фруктов, овощей, мебели, бытовой техники. Среди макулатуры прочих марок присутствует газетная бумага, книги, бумага для печати (архивы и прочее), то есть преимущественно информационные бумажные носители. Большую часть макулатуры МС–5Б сами ритейлеры собирают и продают переработчикам вторсырья (86 % собираемой макулатуры – это марка МС–5Б). По оценке Ассоциации «Лига переработчиков макулатуры», общий объем сбора макулатуры в России составляет 4,4 млн. т, из которых 3,8 млн т – это макулатура из гофрокартона. Цены на макулатуру в России на протяжении длительного

времени остаются высокими. Если в Европе цена на макулатуру МС–5Б составляет порядка 5 – 6 тыс. руб. за тонну, то в России на сегодняшний день может доходить до 12 – 13 тыс. руб.

Основная причина переработки макулатуры – это экономическая выгода. Вторая причина переработки бумажного вторсырья – забота о природе. Технология переработки макулатуры имеет свои технологические особенности и является сложным многоэтапным процессом [2]. Технологическая цепочка состоит из нескольких узловых участков, расположенных на конвейере. Часть оборудования – весы, прессовальное оборудование – располагаются в приёмных пунктах. На предприятиях по переработке устанавливают: измельчительные машины, дробилки; центрифуги для очистки; машины для очистки от металлических примесей; протирочные сетки; машины для прокатки бумажных листов. Количество агрегатов, входящих в состав конвейера зависит от способа получения сырья, сложности его переработки и качества изделия, которое должно быть получено из него. Поскольку процессы неотделимы друг от друга, то оборудование для переработки макулатуры приобретают в виде непрерывного поточного комплекса. Количество стадий переработки бумажных отходов на заводах и фабриках должно быть не менее шести: сбор и сортировка, очистка от легких примесей, изготовление пульпы, фильтрация от тяжелых примесей, вторичный роспуск волокна, его доочистка, окончательная чистка, прокат бумажной массы через валы, обсушка и скручивание в рулон. Для производства нужны большие объемы воды, а также система сброса отходов. За исключением сбора и сортировки, процессы в основном автоматизированы.

Сбор и хранение отходов выполняют согласно нормативам. На первом этапе бумагу перебирают и сортируют вручную. Разное по качеству и составу сырье группируют по отдельным партиям. Сортировка производится по ГОСТу 10700-97. В соответствии с ним всю макулатуру делят на 3 класса: класс А – материал высшего сорта без посторонних примесей и следов чернил, пятен грязи или масла; класс Б – материал среднего сорта. К этому сорту относят все исписанные и печатные листы бумаги, газеты, книги, бумажные коробки и упаковки без полиэтиленовых пленок и фольги; класс С – материал самого низшего сорта. Сюда относятся изделия из ламинированного картона, бумажная посуда, предметы из набивного материала, который содержит клей и посторонние примеси, например, упаковка для яиц. В пунктах в основном принимают вторсырьё класса А и Б, но так как изделия класса А могут применяться в производстве без переработки, то основную массу составляет сырье класса Б. Низший сорт принимают в некоторых пунктах, но переработка бумажной продукции класса С требует специального оборудования, что делает её нерентабельной.

После прессования спрессованные бумажные тюки расправляют, измельчают и отправляют в специальные барабаны для первого роспуска и очистки. Там, в мыльной воде происходит очистка от клея, жирных пятен,

пленок, краски. На этом этапе происходит обеззараживание макулатурной массы. Далее проводят фильтрацию от легких и тяжелых примесей, где бумагу обрабатывают специальными валами, которые удаляют из бумажной массы металлические элементы: скрепки, скобки, пластинки, различные вкрапления. В качестве «пылесоса» для фильтрации используют электромагниты. Переработанная бумага распускается повторно. Эта процедура называется дороспуском. На этом этапе из нее вымывают тяжелые примеси, например, песок или мел. Также вымывают пленки, остатки клея, краску. На выходе получается чистая пульпа. Дальше в пульпу добавляют различные элементы. Все зависит от того, что планируется делать из переработанной бумаги. Чтобы изготовить картон в пульпу добавляют немного канцелярского клея. Полученную смесь кладут на ровную поверхность и раскатывают в большой тонкий лист. Края выравнивают при помощи ножа. Картон получается плотный, твердый, с шероховатой поверхностью.

Нет большого различия между понятиями бумага и картон. Картон, как и бумага, – это материал, состоящий из растительных волокон, отличающийся от бумаги повышенной толщиной и массой квадратного метра. Условно принято считать, что картоном является материал, имеющий массу 1 м более 250 г и толщину более 0,5 мм. Как видно, по своей сути бумага и картон идентичны по своей сути, а разграничения понятий бумага и картон весьма условны. В ГОСТ 17586–80 бумага распределяется по классификационным группам, в которых основным классификационным признаком является применение продукции.

Сырьем для изготовления картона для плоских слоев гофрокартона и бумаги используют макулатуру марок МС – 6 (старый гофрокартон или обрезки) и МС – 7 (смешанный картон) или целлюлозу. В смеси допускается и остальная макулатура более низкого качества, но желательно не более 10 – 15 %. Все зависит от требуемых характеристик получаемого картона. В лучшем случае, с потоком основной макулатуры можно установить поток небеленой или беленой хвойной целлюлозы, в количестве до 30 %. Подавая 30 % целлюлозы на покровный слой изделия, добиваются улучшения качества картона по цвету и прочности.

В состав оборудования для подготовки бумажной массы входят: гидроразбиватель, вихревой очиститель для тяжелых включений, турбосепаратор, пульсационная мельница, дисковая мельница, напорная сортировка, вибросито, уловитель, вихревые очистители для легких включений, мешалки для макулатурной массы. В перемешиваемую массу дополнительно вводят клей и сернокислый алюминий (глинозем). Примерные нормы расхода: глинозем – 1,2 кг/т, клей – 4,5 кг/т, нейтральный крахмал – 4 кг/т. Макулатура и целлюлоза совместно распускаются и очищаются на специальном оборудовании для подготовки массы. Роспуск макулатуры производится в гидроразбивателе при концентрации массы 10 – 14 %. Затем масса насосом перекачивается через смесительный ящик в бассейн. Концентрация

массы в бассейне составляет 3,0 – 3,5 %. Из бассейна масса подается на вихревой очиститель высокой концентрации, где очищается от крупных включений, и далее поступает на гидроразбиватель сортирующий тройного действия. На этом этапе происходит очистка от скотча, пленок и т. д. Отходы от гидроразбивателя отводятся на вторую ступень сортирования – вибрационную сортировку.

После гидроразбивателя, масса поступает во второй бассейн, из которого насосом подается на пульсационную мельницу на дороспуск. Далее масса подается на дополнительное сортирование. Сортирование производится на напорной сортировке, имеющей сито с отверстиями шириной 0,3–0,35 мм. Отходы от напорной сортировки отводятся на вторую ступень сортирования – вибрационную сортировку. Отсортированная масса подается в композиционный бассейн. В этом бассейне в массу вводится крахмал и канифольный клей. Из композиционного бассейна масса подается для окончательного размола на две последовательно установленные дисковые мельницы. После мельниц масса поступает в машинный бассейн. Из машинного бассейна масса через бак постоянного уровня поступает на смесительный насос, где разбавляется до концентрации 0,6–0,8 %, и подается на систему вихревых конических очистителей, на которых производится очистка от мелких включений не волокнистого характера.

В напорный ящик картоноделательной машины масса, содержащая глинозем, поступает в уловитель, на котором производится очистка от мелких волокнистых включений. Сортирование производится на уловителе, имеющем сито с отверстиями диаметром 2,2 мм. На картоноделательной машине происходит формование картонного полотна, его обезвоживание и сушка. Данная технологическая схема является базовой, а конкретная схема определяется специалистами в ходе технических переговоров. Возможно улучшение подготовки бумажной массы с помощью дополнительных агрегатов и технологий.

С характеристиками и принципом работы картоноделательных машин и массоподготовительного оборудования можно ознакомиться в Интернете или в специальной литературе.

Для производства 1 тонны картона необходимо: 1, 1 тонны макулатуры; 2 тонны пара; 800 кВт электроэнергии, 15 – 20 м<sup>3</sup> воды, производственная площадь помещения должна быть не менее 1000 м<sup>2</sup>. Характеристики получаемого картона зависят от качества используемой макулатуры.

Внешний вид агрегатов для производства гофрокартона показан на рисунке 1.

Отечественные и зарубежные фирмы предлагают большое количество поточных линий для производства гофрокартона. В частности, гофроагрегаты серии 2GL предназначены для изготовления листового и рулонного двухслойного гофрокартона. Скорость гофролиний регулируется от 80 до 250 м/мин. Формат изделий: 1400, 1600, 1800, 2200 мм. Гофроагрегаты серии

3GL предназначены для изготовления листового трехслойного гофрокартона, а также трехслойного бесконечного (z-картона) гофрокартона. Скорость гофролиний варьируется от 80 до 300 м/мин. Формат изделий составляет: 1400, 1600, 1800, 2200, 2500 мм.



а

б

Агрегаты для производства гофрокартона: а – двухслойного;  
б – трехслойного

Рисунок 1 – Внешний вид агрегатов для производства гофрокартона

Параллельным продуктом технологической линии производства картона может быть бумажная пульпа, образующаяся на определенном этапе производства и для которой можно сделать промежуточный отбор в специальные емкости. Пульпа содержит тонкодисперсные горючие органические частицы, способные при определенном состоянии проявлять вяжущие свойства. Подобная аналогия возникает при использовании наиболее известного отхода производства бумаги – сульфит-дрожжевой бражки (СДБ), широко применяемой в качестве связки для получения разнообразных формованных изделий в различных отраслях промышленности [3 – 5]. Наличие тонкодисперсных включений и волокон позволяет предложить и использовать бумажную пульпу в качестве поро- и структурообразующего наполнителя в шихте железорудных материалов. Первые эксперименты в этом направлении выполнены на кафедре теплоэнергетики и экологии СибГИУ и показали техническую возможность реализации этого предложения [6 – 8].

#### Библиографический список

1. Иванов С. Н. Технология бумаги / С. Н. Иванов. – Москва : Лесная промышленность, 2006. – 696 с.
2. Шитов Ф. А. Технология бумаги и картона / Ф. А. Шитов. – Москва : Высшая школа, 1998. – 372 с.
3. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с

4. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.

5. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.

6. Патент № 2698000 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2019117140/02. Заявл. 03.06.2019; Опубл. 21.08.2019. Бюл. №24 //Изобретения. Полезные модели. 2019. – № 24.

7. Патент № 2679853 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2018120246/02, Заявл. 31.05.2018; Опубл. 13.02.2019. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2019. – №5.

8. Патент № 2630789 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2016152375/02, Заявл. 28.12.2016; Опубл. 13.09.2017. Бюл. №26 //Изобретения. Полезные модели. 2017. – №26

УДК 674.01

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ПЕРЕРАБОТАННЫХ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ И МЕБЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

**Омаров Р.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проведена оценка технологий и продукции на основе переработанных отходов деревообрабатывающих и мебельных производств. Обоснована замена природных источников сырья отходами деревообрабатывающего и мебельного производства. Представлены нетрадиционные способы использования древесных отходов в тяжелых отраслях промышленности.

Ключевые слова: отходы деревообрабатывающего и мебельного производства, продукция на основе древесных отходов обрабатывающего производства, методы переработки, промышленное производство, перспективы использования отходов.

Древесина является одним из основных конструкционных материалов в различных отраслях техники и производства [1]. Процесс обработки и переработки древесины на всех стадиях производства связан с получением большого количества отходов. Начиная с первой стадии рубки леса и вывоза хлыстов, и кончая последней стадией – обработкой древесины в мебельном производстве, процесс сопровождается переходом части древесины в отходы, которая не используется в дальнейшем производстве. Объем отхо-

дов не только соизмерим с объемом производимой продукции, но зачастую и превосходит его. При рубке и вывозке древесины около 20 % древесного сырья переходит в отходы в виде ветвей, пней, корней, а из вывезенного кругляка около 20 % составляет неделовая древесина (дрова). В лесопильном производстве количество отходов составляет 35–42 %. В мебельных производствах количество отходов в среднем варьируется от 53 до 65 % от поступивших пиломатериалов. При производстве фанеры отходы составляют 52–54 %, строганного шпона – 30–45 %. Ежегодное количество отходов и неделовой древесины по стране составляет около 300 млн м<sup>3</sup>.

Древесные отходы – ценное вторичное сырье для производства разнообразных материалов, изделий, продуктов. Отходы делятся на твердые: горбыли, рейки, обрезки, ветви, вершины, пни, корни; мягкие: стружки, опилки, древесная пыль, кора и луб; древесную зелень – хвоя, листья. По видам обработки древесины отходы делятся на материалы, связанные с заготовкой леса, – ветви, вершины, пни корни, кора, обрезки, неделовую древесину; отходы первичной обработки древесины в лесопилении, фанерном производстве – рейки, горбыли, обрезки, стружки, опилки, кора, рванина, карандаш; отходы в мебельных производствах – обрезки, стружки, опилки.

Образование отходов происходит в связи с биологическими особенностями произрастания деревьев (листья, хвоя, ветви, вершины, пни, корни, кора); вследствие необходимости получения материалов прямоугольного сечения из материалов круглой формы (горбыли, рейки); из-за сбежистости ствола (рейки, комлевые срезки); из-за неправильной формы ствола – овальности, сбежистости рванина); из-за дефектов древесины – сучков, трещин (обрезки); несовершенства технологически процессов обработки древесины (мука, опилки, стружки, обрезки, карандаши, отструг при строгании шпона). При переработке древесины кроме отходов получают безвозвратные потери на усушку древесины во всех видах производства (6 %) и упресовку в производстве клееных слоистых материалов.

Отходы древесины, являющейся вторичным сырьем, могут частично или полностью заменить первичное сырье на предприятиях, выпускающих древесностружечные и древесноволокнистые плиты, на предприятиях деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, лесохимической промышленности и в производстве строительных материалов. Конечная продукция из отходов может быть получена механической обработкой, химической, микробиологической и энергохимической переработкой.

Крупные кусковые отходы могут быть использованы для выработки мелкой продукции, изделий ширпотреба, тарной дощечки, штакетника, штукатурной и кровельной драни, кровельной плитки и гонта, предметов домашнего обихода, игрушек, простейшей мебели (вешалок, полочек, подставок, ящичков, шкафчиков). Сотни различных наименований мелких изделий изготавливают из кусковых отходов.

Все мелкие кусковые отходы на различных производствах могут быть

переработаны на технологическую щепу, которая используется как сырье в целлюлозном производстве, в производстве древесностружечных и древесноволокнистых плит, в гидролизном, химическом и других производствах. Технологические опилки используются в гидролизных, бумагоделательных и других производствах.

Хвоя и листья служат ценным сырьем для получения хвойно-витаминной муки, употребляемой как добавка к кормам животных и рыб, эфирных масел, хвойных лечебных экстрактов, хлорофилло-каротиновой пасты, которая применяется как лечебное средство и для изготовления косметической продукции. Лесосечные отходы используются для переработки на древесный уголь, применяемый в металлургической и других отраслях промышленности, а также как сырье для переработки в технологическую щепу. Стружки и опилки используются для производства различных строительных материалов, а также как сырье для химической промышленности.

В производстве строительных материалов древесные отходы используются для получения многих материалов, необходимых экономике. Арболит – плитный материал, изготовленный из цемента или гипса с древесным наполнителем в виде щепы. Арболит получают отливкой в форму (опалубку). Его применяют в строительном производстве как конструктивно-теплоизоляционный материал. Заполнителем является щепа-дробленка размером от 0,5–5,0 до 20 мм. Плотность теплоизоляционного арболита 0,5–0,6 г/см<sup>3</sup>, конструктивно-теплоизоляционного 0,65–0,7 г/см<sup>3</sup>

Стеклодревесные панели применяются как стеновые перегородки. Панель состоит из древесной рамки, обшитой с двух сторон древесноволокнистой плитой. Середина ее заполнена стеклодревесной массой (щепа и связующее – силикатная паста). Плотность заполнителя 0,35–0,45 г/см<sup>3</sup>.

Опилкобетон (плотность 0,95–1,25 г/см<sup>3</sup>) – это бетон для заливки в форму и опалубку. В его состав в качестве заполнителя кроме песка вводят опилки. Предназначен он для изготовления стен (по опалубке) для жилых одноэтажных домов, животноводческих ферм, гаражей, сараев, мастерских.

Деревобетон – то же, что опилкобетон, но в качестве минерального заполнителя в нем применен вместо строительного песка мелкозернистый гравий. Плотность его составляет 0,95–1,2 г/см<sup>3</sup>.

Гипсоплиточный бетон (плотность 0,65–0,85 г/см<sup>3</sup>) – стеновые блоки размером 500×400×250 мм, изготовленные из смеси гипса, опилок, стружки.

Ксилолит – материал в виде раствора или готовых плит, применяемый для устройства полов. Он состоит из опилок, каустического магнезита и хлористого магния. Плиты прессуют при давлении от 1,5 до 7,5 МПа. Плотность плит составляет 1,0–1,1 г/см<sup>3</sup>.

Древесноопилочные плиты – материал для отделки помещений. Они представляют собой смесь опилок со смолой, прессуемую при давлении 2,0–2,5 МПа. Плотность плит изменяется от 0,5 до 0,8 г/см<sup>3</sup>.

Тырсолит – листовой материал толщиной 3–18 мм из смеси опилок и

смола. Предназначен для внутренней отделки помещений и используется в качестве утеплителя.

Из стружечно-опилочной смеси со смолой путем прессования изготавливают различные строительные узлы (оконные коробки, оконные блоки, заполнения дверных полотен) и мебельные детали (ножки, коробки, сиденья). Без применения связующего и клеевых веществ из опилок при горячем прессовании при давлении 3–30 МПа получают пьезотермопластики – плиточный материал, используемый для настила полов. Из коры и сучьев с применением связующих или без них изготавливают королит – тепло- и звукоизоляционный материал.

Мелкие отходы могут быть переработаны в древесную муку, являющуюся наполнителем при производстве изделий из фенопластов, линолеума, тепловых изоляторов, связок и другой продукции [2, 3].

По экспертным оценкам отходы мебельного производства составляют 25–40 % от первоначального объема сырья. К ним относятся: обрезки плитных материалов – 10–15 % от исходного объема ЛДСП и МДФ; опилки и стружка – 5–10 % от исходного объема; обрезки облицовочных материалов – 10–20 % от первоначального объема сырья. Главной трудностью при утилизации и дальнейшей переработке отходов мебельного производства является наличие в составе плит ДВП, ДСП и МДФ формальдегидных смол. Это вещество опасно для здоровья человека. Его концентрация в составе материала составляет около 18 %, что позволяет снизить стоимость сырья. Выделение формальдегида в окружающую среду происходит в процессе его нагрева, что накладывает определенные сложности на процесс переработки.

Утилизация отходов способом сжигания является грубым нарушением законодательства в области экологии и влечет за собой штрафные санкции. Отходы ДВП, ДСП и МДФ относятся к 4 классу опасности, и их утилизация оценивается с повышающим коэффициентом. Дополнительные затраты кроются в транспортировке отходов к местам захоронения. Если полигоны переполнены, то стоимость вывоза отходов вырастает в разы.

Сырье, полученное в результате переработки отходов мебельного производства, востребовано в строительной отрасли. Щепка и стружка используются для изготовления следующих материалов: сульфатной целлюлозы, картона гофрированного и других видов тары, промышленного спирта, некоторых видов кормовых дрожжей; стружка добавляется в арболит; древесные отходы используют для производства строительных смесей и материалов, указанных выше, в том числе, гипсоопилочных блоков, опилкобетонов, термизов, дюризолов, термопоритов, велокса, ксилолита, теплоизоляционных органических материалов.

Отходы МДФ и ДСП не являются идеальным сырьем области биоэнергетики. Это связано с токсичностью продуктов горения данного сырья. Однако производство топливных гранул или брикетов на основе отходов мебельного производства для замены дров практически возможно.

Характеристики топливных гранул, произведенных из отходов древесно-стружечной массы, не уступают по характеристикам отходам из древесины. Немного выше показатель зольности, примерно на 2–4 %, однако влажность ниже в среднем на 5 %. Насыпная плотность идентична древесному грануляту и составляет 650–700 кг/м<sup>3</sup>. Использование вторичных ресурсов собственного производства позволяет существенно снизить энергозатраты и себестоимость продукции.

Крупные предприятия полного цикла достаточно часто используют отходы в качестве возвратного сырья для производства плитного материала. Это актуально для фирм производителей ДСП, ЛДСП, МДФ. На базе таких производств часто организую пункты приема вторичного сырья, что удобно для более мелких мебельных предприятий. Расходы на транспортировку отходов окупаются за счет их продажи, а также отпадает необходимость трат на захоронение и утилизацию.

Растет список технологий, использующих продукты переработки древесных отходов в тяжелых отраслях промышленности [3, 4]. В таблице представлена часть нетрадиционных способов использования древесных отходов в форме древесных опилок и муки в тяжелых отраслях промышленности (таблица 1).

Таблица 1 – Нетрадиционные способы использования древесных отходов в тяжелых отраслях промышленности

№	Технологическая функция	Область промышленности
1	Поро- и структурообразование	Металлургия, химия, производство огнеупоров и теплоизоляторов, строительных изделий, энергетика
2	Нетрадиционные восстановители	Металлургия, химия
3	Получение технологических газов для контролируемых и специальных атмосфер	Металлургия, химия, теплотехника
4	Наполнители для технологических клеев и связок	Металлургия, химия, производство огнеупоров и теплоизоляторов, строительных изделий, энергетика
5	Поглотители для адсорбции	Металлургия, химия, теплотехника
6	Сырье для биотехнологий	Химия, энергетика, биотехнологии

Одним из направлений технологического применения опилок и муки является их использование в качестве поро - и структурообразующих добавок в шихте железорудного сырья [4 – 6]. Многочисленные опыты в этом направлении выполнены на кафедре теплоэнергетики и экологии СибГИУ и показали техническую возможность реализации этого предложения.

## Библиографический список

1. Волынский В. Н. Лесотехнический толковый словарь / В. Н. Волынский. – Москва: Лань, 2021. – 460 с.
2. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с
3. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
4. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.
5. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.
6. Патент № 2743435 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020104648/02, Заявл. 31.01.2020; Оpubл. 8.02.2021. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2021. – №5.

УДК 674.01

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Омаров Р.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проведена оценка технологий переработки отходов деревообрабатывающих предприятий. Обоснована замена природных источников сырья отходами деревообрабатывающего и мебельного производства. Представлены способы измельчения древесных отходов.

Ключевые слова: отходы деревообрабатывающих предприятий, продукция на основе древесных отходов производства, методы переработки, перспективы использования отходов.

Древесина является одним из основных конструкционных материалов в различных отраслях техники и производства [1]. Процесс обработки и переработки древесины на всех стадиях производства связан с получением большого количества отходов. Начиная с первой стадии рубки леса и вывоза хлыстов, и кончая последней стадией – обработкой древесины в мебельном производстве, процесс сопровождается переходом части древесины в отходы, которая не используется в дальнейшем производстве. Объем отходов не только соизмерим с объемом производимой продукции, но зачастую и

превосходит его. При рубке и вывозке древесины около 20 % древесного сырья переходит в отходы в виде ветвей, пней, корней, а из вывезенного кругляка около 20 % составляет вторичная неделовая древесина (отходы, дрова). В лесопильном производстве количество отходов составляет 35–42 %. В мебельных производствах количество отходов в среднем варьируется от 53 до 65 % от поступивших пиломатериалов. При производстве фанеры отходы составляют 52–54 %, строганого шпона – 30–45 %. Ежегодное количество отходов и неделовой древесины по стране составляет около 300 млн м<sup>3</sup>.

Общими перерабатывающими технологиями для всех отходов являются термические, физико-химические и механические методы переработки. Они могут быть циклическими и непрерывными, самостоятельными или интегрированными в технологический процесс. Термические методы включают сушку и обжиг сырья, гидролиз, автоклавирование и сжигание в слое или в факеле для получения тепловой и электрической энергии. Термические методы также разнообразны по целям и задачам, могут быть основными и вспомогательными. Для них характерно получение готовой продукции, сырьевых промпродуктов и вторичных отходов. Физико-химические методы включают обработку сырья физическими полями (вибрацией, ультразвуком, магнитными полями, термоударами и др.) и химическими реагентами (окисление, выщелачивание, обессоливание, кальцинирование и др.). Часто эти способы позволяют интенсифицировать технологии измельчения кусков или, наоборот, прессования дисперсных отходов или получить у перерабатываемого продукта новые потребительские свойства. Возможны комбинированные методы переработки, включая термические.

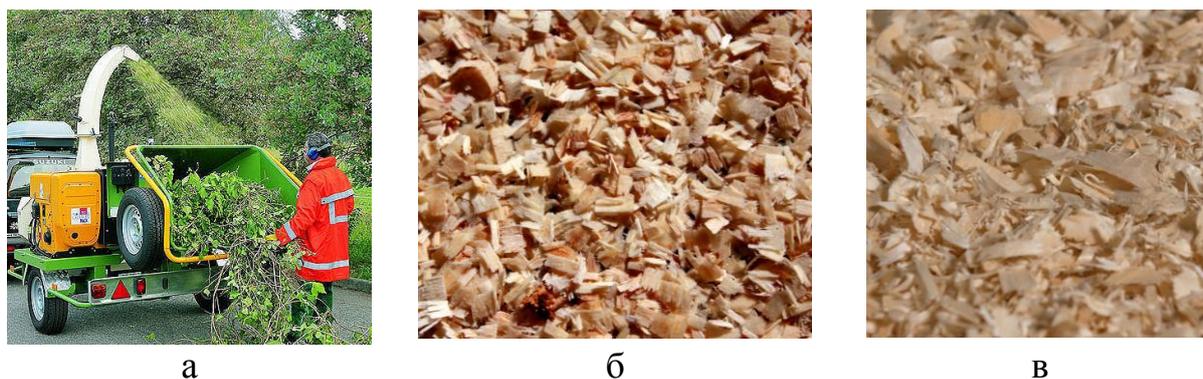
Наиболее разнообразны механические способы переработки отходов. Они могут быть основными и вспомогательными, предварительными и финишными. К ним относят дробление, измельчение, рубку, шлифование, ошкуривание, грохочение, классификацию, фильтрование, отстаивание, смешивание, прессование, гранулирование и некоторые другие [2, 3].

Использование отходов для дальнейшей переработки возможно в виде древесной муки и опилок различных фракции. Для измельчения обрезков плитных (кусковых) материалов используют специальное дробильное оборудование – шредер. Агрегат состоит из подающего бункера, толкателя, ножевого вала и нижнего фракционного экрана. Принцип работы достаточно прост. В бункер загружаются обрезки изделий, далее они проталкиваются при помощи вспомогательного устройства к лопастям измельчителя. Если в процессе обработки опилки получились требуемой фракции, то они проходят через нижнюю сетку, если их размер превышает заданные параметры, то они автоматически возвращаются в основной бак для доизмельчения. Данное оборудование экономически целесообразно приобретать для средних и крупных перерабатывающих производств.

Отходы мебельного производства характеризуются повышенной твердостью и прочностью, поэтому для их измельчения можно использовать агре-

гаты бумагоделательного производства. Из всех известных способов размола древесины в муку являются методы, основанные на принципе скреживающихся ножей [2]. Первым аппаратом был ролл, который иногда используется при производстве тонких видов бумаг, требующих длительного размола массы, а также при размоле тряпичной массы. Ролл состоит из железобетонной овальной ванны, размалывающего барабана с ножами и планки с ножами. Ванна разделена на два канала. В рабочем канале находятся размалывающий барабан и горка, которая возвышается над осью барабана для создания напора. Под барабанами в горке расположены три подвижные ножевые планки, перемещаемые пневмокамерами, в которые подается воздух давлением 0,3 МПа. Ножи в планках установлены под углом 45 градусов к их продольной оси. Процесс размола осуществляется при многократном прохождении массы между ножами размалывающего барабана и планки. Конические мельницы относятся к аппаратам непрерывного действия и потребляют энергии на 60–65 % меньше, чем роллы. До 30-х годов XX в. мельницы использовались в качестве дополнительного оборудования к роллам для рафинирования бумажной массы. По технологическому назначению конические мельницы разделяют на два типа: мельницы, предназначенные для гидратации и фибриллирования волокна. Они работают при малых удельных давлениях, повышенной концентрации массы (до 5 %), высокой окружной скорости (до 25–35 м/с). Мельницы второго типа, предназначенные для гидратации и укорачивания волокна (смсиемы Жордана), работают при больших удельных давлениях, низкой концентрации массы (2,5–3,5 %), малых окружных скоростях (15–20 м/с), имеют сборную гарнитуру и тонкие ножи (5–10 мм). Основным современным оборудованием для размола древесины являются дисковые мельницы. Преимущества дисковых мельниц: более широкое технологическое применение, размол до различной степени гидратации и фибрилляции, более низкий (на 20–25 %) удельный расход энергии, возможность размола в широком диапазоне концентраций, большая производительность до 650 т/сут, компактность, простота конструкции, меньшая трудоемкость замены изношенной гарнитуры (2–4 часа вместо нескольких дней), возможность применения гарнитуры различных типов. Размалывающая гарнитура дисковых мельниц существенно отличается от гарнитуры роллов и конических мельниц. Она состоит из отдельных дисков или сегментов, которые имеют различные модификации по материалу и по конфигурациям рабочей поверхности. Металлическая гарнитура дисковых мельниц выполняется цельной нарезной или секторной литой.

Древесные отходы заготовительного производства (ветки, кусты, кора, щепы и др.) относятся к мягким и сырым древесным материалам, которые измельчают с помощью разнообразных по конструкции и производительности рубильных машинах (рисунок 1 а). В этих машинах можно использовать ветки, щепу, древесные обрезки, стволы деревьев небольшого (до 300 мм) сечения. Получаемым продуктом является измельченное древесное сырье в форме опилок или древесных волокон (рисунок 1 б, в),



а – внешний вид рубильной машины; б – опилки; в – древесные волокна  
 Рисунок 1 – Внешний вид рубильной машины и макроструктура измельченного сырья

Щепорубительные машины РРМ позволяют измельчать древесину размером до 300 мм. Выходной размер щепы и опилок можно регулировать в широком диапазоне – от 1 до 30 мм за счет применения подвижных рубящих ножей. Щепорубительные машины комплектуются выходными трубами от 1,5 до 2,5 метров, вращающимися на 360 градусов. Технические характеристики щепорубительной машины типа РРМ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики щепорубительных машин

Наименование	РРМ – 2	РРМ – 3
Тип щепорубительной машины	роторный	роторно-молотковый
Количество рубящих ножей	6	3
Производительность, м <sup>3</sup> /час	1–2,5	1,5–3,0
Фракция щепы, мм	5–30	5–30
Размер приемного окна, мм	70×100	100×100
Обороты ротора, об/мин	200	1500
Диаметр ротора, мм	340	350
Для электродвигателей	5 кВт	от 5 кВт
Для тракторов	от 7 л.с.	от 7 л.с.
Вес щепорубительной машины, кг	85	95
Цена щепорубительной машины	от 92000	от 98000

Характеристики измельченного древесного сырья позволяют предложить и использовать этот материал в качестве порообразующего и структурообразующего наполнителя в различных технологиях, в том числе при производстве окускованных железорудных материалов в металлургической промышленности [4 – 6]. Одним из альтернативных видов кускового топлива в теплоэнергетике, сжигаемого в слое на колосниковой решетке, являются древесные или древесно-угольные топливные брикеты, получаемые в процессе переработки отходов древесины. Можно получать подобные брикеты

из растительных отходов или в смеси с углем и древесными опилками. Это часть биомассы и к ней относят продукты переработки животноводства и сельского хозяйства, коммунально-бытового хозяйства и другие отходы.

Для производства топливных брикетов методом прессования можно использовать древесную муку и измельченные опилки размером частиц от 0,05 до 10 мм. В качестве связующего целесообразно использовать материалы органического происхождения, в процессе горения которых образуется минимальное количество золы и вредных выбросов. Для древесных опилок предлагается использовать сульфит-дрожжевую бражку (ССБ) или каменноугольную смолу (КУС) [3, 4]. Наиболее рациональным связующим является ССБ, которое является отходом целлюлозно-бумажного производства и обладает физическим сродством к древесным опилкам и относится к сравнительно дешевым материалам. КУС является очень вязкой жидкостью, поэтому для ее использования в технологии брикетирования и облегчения смешивания компонентов необходимы органические растворители и повышенная температура. Внешний вид топливных брикетов, получаемых из древесного сырья, показан на рисунке 2.



а – брускового типа (евродрова); б – цилиндрического; в – с отверстием

Рисунок 2 – Внешний вид топливных брикетов

Известно, что процесс слоевого горения топливных брикетов характеризуется высокой газопроницаемостью слоя брикетов и эффективностью горения с минимальным физическим и химическим недожогом топлива. Многочисленные опыты по этому направлению исследований в рамках учебного процесса выполнены на кафедре теплоэнергетики и экологии СибГИУ и показали техническую возможность реализации этого предложения.

#### Библиографический список

1. Волынский В. Н. Лесотехнический толковый словарь / В. Н. Волынский. – Москва: Лань, 2021. – 460 с.
2. Шитов Ф. А. Технология бумаги и картона / Ф. А. Шитов. – Москва: Высшая школа, 1998. – 372 с.
3. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с
4. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд /

В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.

5. Павловец В.М. Расширение функциональных возможностей агрегатов для подготовки железорудного сырья к металлургической плавке / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – 373 с.

6. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.

УДК 669.162

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ В КАЧЕСТВЕ НЕТРАДИЦИОННОГО ВОССТАНОВИТЕЛЯ ОТРАБОТАННОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ МАСЛО**

**Домнин К.И.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проанализированы перспективы использования продуктов переработки отработанного минерального масла в металлургии. Приведены результаты исследования процесса брикетирования железосодержащих концентратов с использованием в качестве нетрадиционного восстановителя и пластификатора отработанного минерального масла.

Ключевые слова: отработанное минеральное масло, брикетирование железосодержащих концентратов и шламов, связующие, жидкое стекло.

В настоящее время проводится исследовательская деятельность по замене традиционных восстановителей (кокс, уголь, природный газ) металлургической плавки на новые нетрадиционные [1, 2]. Эта работа обусловлена, прежде всего, экономическими соображениями и направлена на снижение себестоимости металлургической продукции. Восстановление металлов из руд при высоких температурах с помощью свободного углерода, монооксида углерода и водорода называется пирометаллургией. Свободный углерод участвует в твердофазном восстановлении руд углем при получении металлов, не образующих прочных карбидов. Монооксид углерода – основной газообразный восстановитель образуется в металлургической печи при неполном горении углерода. Основное количество водорода получается в результате термического разложения вдуваемого в печь природного газа. Процесс, в котором применяются активные металлы (алюминий, магний), вытесняющие кислород, называется металлотермией. Восстановление металлов из их солевых растворов происходит в гидрOMETаллургических процессах. Процесс проходит в два этапа: природное соединение растворяют в соответ-

ствующем реагенте для получения раствора соли этого металла. Из полученного раствора данный металл вытесняют более активным металлом или восстанавливают электролизом. Например, чтобы получить медь из руды, содержащей оксид меди CuO, ее обрабатывают разбавленной серной кислотой. Восстановление металлов в процессе электролиза расплавов реализуют в электрометаллургических технологиях. Этим методом получают алюминий, щелочные металлы, щелочноземельные металлы. При этом подвергают электролизу расплавы оксидов, гидроксидов или хлоридов. Типичная схема экстракции металлов из руд приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Типичная схема экстракции металлов из руд

Восстановлению твердофазного сырья нетрадиционными гидратными реагентами в области прямого получения металлов описано в диссертационной работе Ячменевой П. А. Для процесса восстановления используют нетрадиционные газовые восстановители NH<sub>3</sub>, SiH<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>, пары метилдихлорсилана, очищенный природный газ, которые при определенных параметрах активируют процесс восстановления металлов из руд.

Известно применение твердых нетрадиционных восстановителей в производстве железорудных брикетов. К их числу относятся бурые угли, торф, лигнин и некоторые углеродсодержащие отходы производства [1, 2].

Их достоинством является высокая распространенность, низкое содержание вредных веществ и хорошая брикетированность массы.

В работе [3] установлена принципиальная возможность получения металлизированного гранулированного железа при использовании углей Кузнецкого бассейна разных марок. Установили, что угли с высоким содержанием летучих обладают более высокой восстановительной способностью при твердофазном восстановлении. Это особенно актуально для Кузбасса, где металлургическая и горнорудная промышленность находятся в одном территориально-экономическом пространстве.

Примерно четвертая часть всех методов восстановления приходится на электрохимические реакции [4]. В частности, для получения наноразмерных частиц (НЧ) используют методы электрохимического восстановления, которые сочетают в себе подходы неорганического, металлоорганического и органического синтеза и являются наиболее распространенными способами получения НЧ. Синтез НЧ основан на использовании восстановительных реагентов, таких как водород, спирт, гидразин или борогидрид и другие, которые смешиваются с солью металла в присутствии стабилизатора (лиганды, полимеры, дендримеры, ПАВ) для предотвращения образования металлических агломератов. Наиболее распространенным способом приготовления, например, кобальтовых и никелевых НЧ является химическое восстановление солей этих металлов. Используя физические подходы, инициируются химические реакции, которые приводят к формированию НЧ металлов. Природа основного процесса является химической. Чем правее стоит металл в ряду напряжений металлов, тем легче происходит превращение. Синтез НЧ металлов с помощью химического восстановления из растворов их солей является наиболее простым в применении и не требует специальных условий и оборудования [5]. Наиболее часто химическое восстановление реализуется в жидкой фазе. В качестве соединений металлов обычно используют их соли, в качестве восстановителей – как неорганические, так и органические соединения: комплексные гидриды металлов, гипофосфиты, формальдегид, соли щавелевой и винной кислот. Для неорганических восстановителей чаще всего применяют борогидрид натрия. Реакцию проводят в водной, органической, гомогенной и гетерогенной водно-органических средах. Среди органических восстановителей используют цитрат натрия, амины, альдегиды и сахара, пара-дифенолы. Многие высокомолекулярные органические соединения также способны восстанавливать катионы металлов в мягких условиях. Часто для восстановления применяют борогидриды щелочных металлов, которые восстанавливают большинство катионов переходных и тяжелых металлов. Реакции восстановления катионов металлов используют для получения водных золей наночастиц. Для получения НЧ из коллоидных растворов реакцию восстановления прерывают в определенный момент времени и систему переводят из коллоидного вида в твердое (дисперсное) состояние. Технология позволяет получать частицы с очень узким распределением размеров.

В структуре сырьевых материалов металлургической промышленности непрерывно растет доля окискованного сырья на основе отходов производства [1, 2]. Доля окискованного сырья в доменной плавке приближается к 100 % (рисунок 2). Для его получения в шихте используют не только железосодержащие материалы, но и разного рода связующие, пластифицирующие и топливные добавки, восстановители, являющиеся источником восстановительных газов [6].

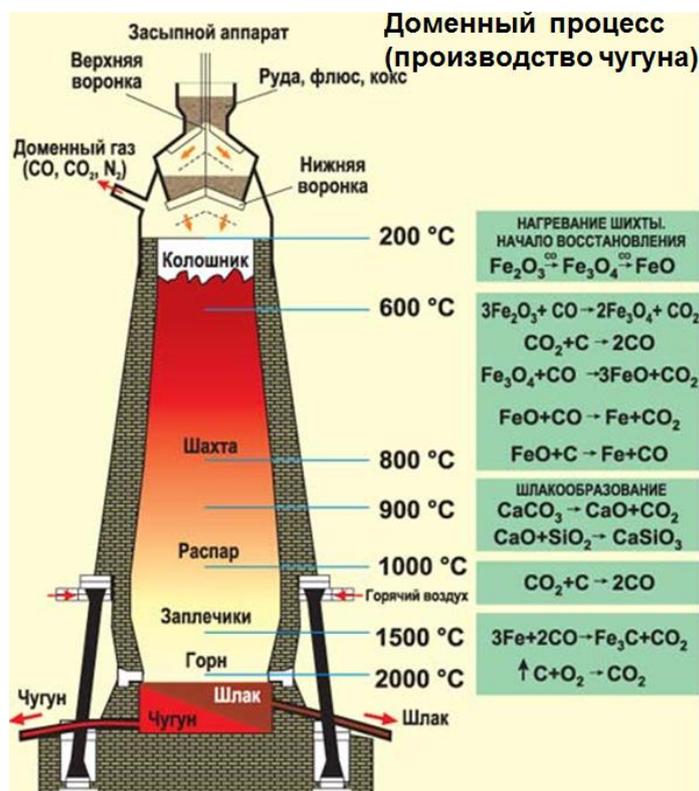


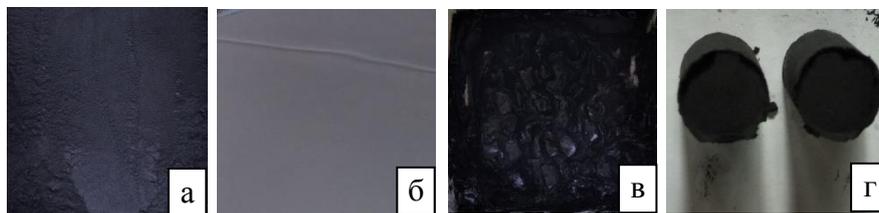
Рисунок 2 – Структурная схема доменного процесса

В качестве жидких восстановителей предложено использовать продукты переработки отработанного минерального масла (ОММ). Проблема переработки ОММ имеет несколько аспектов. Первый аспект проблемы обусловлен необходимостью ресурсосбережения в промышленности путем повторного использования ОММ в производстве по прямому назначению после регенерации [7, 8]. Второй аспект проблемы связан с использованием ОММ в технологическом процессе восстановления руд путем предварительного получения брикетируемого сырья.

Целью работы явилось экспериментальное исследование процесса брикетирования железосодержащих материалов на основе отработанного минерального масла, используемого в качестве связующей добавки, пластифицирующего материала и нетрадиционного жидкого восстановителя.

Эксперименты проводили на кафедре теплоэнергетики и экологии СиБГИУ. Для экспериментов использовали ОММ дизельного двигателя грузового автомобиля. В качестве шихтовой основы использовали железосо-

держщий концентрат Тейского месторождения (содержание железа 63 %, средний размер частиц 0,068 мм). Брикетирование проводили на лабораторном прессе при давлении 50 МПа, с получением брикетов размером 15×15 мм (рисунок 3). Результаты экспериментов приведены на рисунке 4.



а – железорудный концентрат; б – ОММ; в – шихтовая смесь с содержанием ОММ 1 %; г – то же с содержанием ОММ 15 %; д – брикеты

Рисунок 3 – Внешний вид шихтовых материалов и брикетов

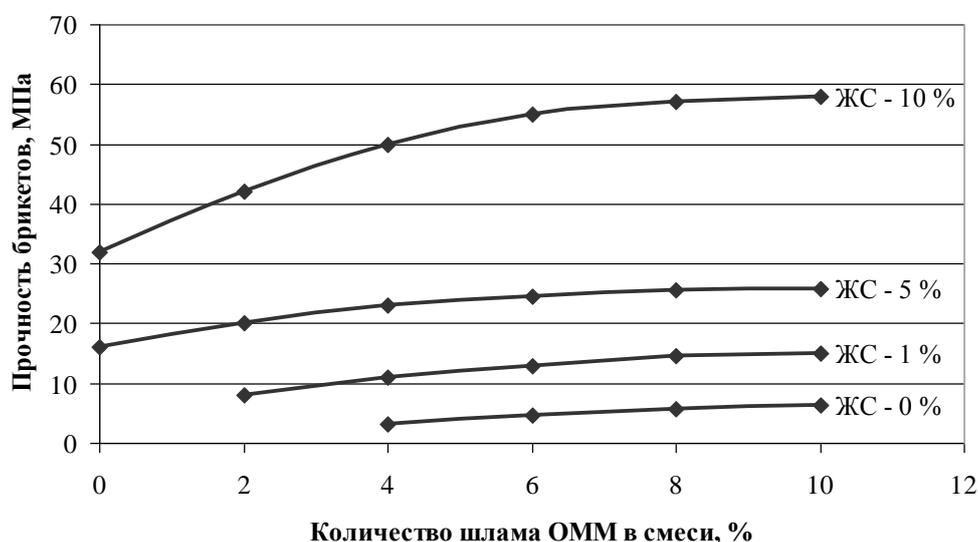


Рисунок 4 – Зависимость прочности брикетов от содержания шлама ОММ и жидкого стекла в брикетируемой смеси

Установили, что добавки ОММ в состав шихты брикетов являются хорошим пластификатором и эффективным вяжущим материалом для брикетирования железорудного концентрата. Минимальное содержание шламов ОММ в смеси, обеспечивающее эффективное перемешивание компонентов, в отсутствие упрочняющей связки составляет 4 – 5 %. Для дальнейшего упрочнения брикетов рекомендовано введение некоторого количества более эффективного связующего, например жидкого стекла (ЖС), часто используемого для окускования и формования сыпучих материалов в металлургии и других отраслях техники [9, 10]. Выяснили, что для обеспечения дозирования и смешивания компонентов необходимо разбавление ЖС водой в соотношении 50×50. Установили, что процесс брикетирования массы начинается при содержании в смеси 4 % шламов ОММ. При введении в прессуемую массу 1 % ЖС формообразование возможно при более низком содержании (2 %) шламов ОММ. При смешивании компонентов смеси образуются коа-

гуляционные сферические конгломераты различной концентрации и размеров, формирующиеся при любом содержании шламов ОММ и ЖС (рисунок 3). Для получения равномерной структуры смеси, содержащей шламы ОММ и ЖС, потребовалось увеличить длительность смешивания. Повышенное содержание шламов ОММ в отсутствие ЖС из-за высокой вязкости смеси увеличивает количество конгломератов и их диаметр и приводит к росту несвязанного железосодержащего материала. Добавки ЖС снижают вязкость прессуемой массы. Поэтому, размеры коагулянтов уменьшаются, а их количество увеличивается. Доля несвязанного железорудного материала снижается, и плотность прессовки возрастает. При малом количестве шламов ОММ в прессуемой массе преобладают коагуляционные структуры на основе ЖС. При повышенном количестве шламов ОММ в смесеобразовании участвуют два жидких вязущих материала, которые формируют дисперсные коагулянты, твердеющие в процессе естественной выдержки. Если в смеси присутствует избыток шламов ОММ, например, более 4 – 6 %, то для их эффективного связывания и упрочнения всей массы потребуется увеличение содержания ЖС свыше 5 – 7 %. Таким образом, чтобы исключить наличие несвязанного жидким стеклом шлама ОММ, требуется на 1 % шламов ОММ подавать в формуемую смесь примерно 1,2 – 1,4 % ЖС. Следует учитывать, что общее содержание связующих компонентов в массе может превысить 12 – 15 %, что способно привести к перепрессовке и потере массы. В результате возможно снижение качества и металлургических свойств брикетов. Результаты экспериментов показывают, что содержание шламов ОММ в составе прессуемой массы не должно превышать 2 – 4 %. Количество ЖС в прессуемой смеси можно ограничить значением 7 – 10 %.

В результате экспериментов установили принципиальную возможность включения в состав брикетируемой железосодержащей массы ОМ масла, выполняющего роль пластификатора при брикетировании, и нетрадиционного восстановителя при последующей проплавке в шахтной печи, что является предметом дальнейшего исследования.

#### Библиографический список

1. Ожогин В.В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья / В.В. Ожогин. – Мариуполь: – ПГТУ. – 2010. – 442 с.
2. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
3. Нохрина О. И. Получение металлизированных продуктов с использованием углей Кузбасса / О. И. Нохрина, И. Д. Рожихина, И. Е. Ходосов // Известия ВУЗ. Черная металлургия. – 2016. – Т.59. – №10. – с. 697–703.
4. Дамаскин Б. Б. Электрохимия / Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий, Г. А. Цирлина. – Санкт - Петербург: «Лань», 2015. – 672 с.
5. Хуснуриялова, А.Ф. Электрохимические свойства ионов кобальта

(П), никеля(П) и железа(П) в присутствии 2,2'-бипиридила / А.Ф. Хуснуриялова, А.В. Сухов, Г.Э. Бекмухамедов, Д.Г. Яхваров // Электрохимия. – 2020. – Т. 56. – №. 4. – С. 317–324.

6. Патент № 2750432 Российская Федерация, МКИ<sup>8</sup> С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец – № 2020133386/02, Заявл. 09.10.2020; Оpubл. 28.06.2021. Бюл. №5 //Изобретения. Полезные модели. 2021. – №19.

7. Школьников В. М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости / В. М. Школьников. – Москва : Химия, 1989. – С. 122–124.

8. Непогодьеv А. В. Химический состав отработанного моторного масла / А. В. Непогодьеv // ХТТМ. – 1974. – № 12. – С. 50–53.

9. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – 334 с.

10. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.

УДК 504.7.06

## **ПОЛУЧЕНИЕ ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ НА ОСНОВЕ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ**

**Лопатина А.О.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Сформулирована проблема переработки пластиковых отходов в промышленном производстве. Показана роль отходов в структуре энерго- и ресурсосбережения. Представлена технология получения тротуарной плитки на основе отходов пластика.

Ключевые слова: пластиковые отходы, промышленное производство, продукция на основе пластика, технология переработки, перспективы использования отходов.

Для производства современной пластиковой тары и многих промышленных и бытовых изделий является полиэтилентерефталат (ПЭТ) – полимер, созданный на основе модифицированного этиленгликоля и очищенной терефталевой кислоты. Низкие затраты на производство, высокая прочность, водонепроницаемость, прозрачность, повышенная пластичность, а также способность сохранять свои свойства сделали ПЭТ– изделия одной из самых распространённых упаковок из пластика. Популярность пластика объясняется его легкостью, экономичностью, удобством использования. Его широко используют для изготовления ПЭТ тары, различных емкостей, пленки, труб, шлангов, других сантехнических, электротехнических и разнообразных бы-

товых изделий [1]. В результате среднестатистический человек в мире оставляет после себя более чем 50 килограммов пластиковых отходов в год. В настоящее время проблема переработки пластика является общемировой. Около 9 500 000 тонн пластика ежегодно попадает в мировой океан, в результате чего гибнут крупные рыбы и млекопитающие. Большинство отходов скапливаются на полигонах или разлагаются в природе. При этом ПЭТ является самым широко перерабатываемым пластиком в мире: уровень переработки материала в США достигает около 30 %, а в большинстве странах Европейского Союза около 50 %<sup>1</sup>. В Российской Федерации, по разным оценкам, подвергается переработке от 5 до 10 % всех отходов. Главной целью рециклинга является сохранение ресурсов в качестве сырьевых материалов. ПЭТ- изделия могут быть полностью переработаны, в то время как на полигонах они разлагаются около 150 лет. Наиболее часто применяемым методом к ПЭТ-бутылкам является повторное использование и вторичная переработка в новые виды материалов и изделия. Имеются положительные примеры использования ПЭТ в технологических процессах тяжелых отраслей промышленности [2–4]. Одним из направлений переработки пластика является использование их в качестве сырья для получения строительных изделий.

Целью настоящей работы явилась разработка технологии получения тротуарной плитки в лабораторных условиях на основе продуктов переработки пластиковой тары.

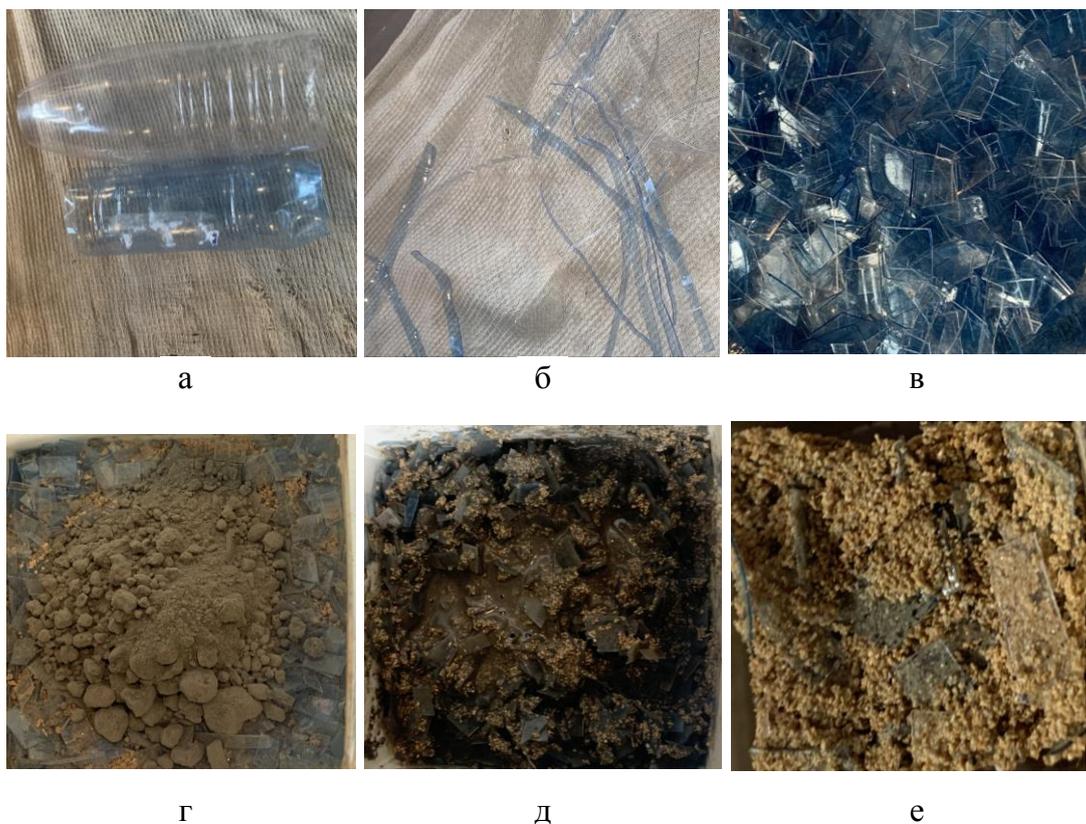
Эксперименты проводили в лабораториях БТЛ кафедры теплоэнергетики и экологии СибГИУ. Состав сырьевой смеси для производства тротуарной плитки (ТП) представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав сырьевой смеси для производства тротуарной плитки

№	Наполнитель	Связка	Отходы пластика
1	Измельченные отходы красного строительного кирпича	50 % водный раствор жидкого стекла (ЖС)	Измельченные ПЭТ-изделия
2	То же	Строительный цемент (СЦ)	То же

В качестве основного дисперсного наполнителя ТП использовали измельченные и просеянные отходы красного строительного кирпича. После рассева получили порошки с частицами размером, мм: 0,05–0,1; 0,1–0,4; 0,4–1,0. В качестве связующего использовали 50 % раствор жидкого стекла (ЖС) и строительный цемент (СЦ). Концентрацию ЖС понизили для увеличения длительности схватывания массы и стабилизации процессов дозирования и смешивания. В качестве вспомогательного наполнителя применяли измельченные отходы ПЭТ-пластиковых бутылок. Внешний вид компонентов для

брикетирования, брикетируемой массы и макроструктуры образцов тротуарной плитки показан на рисунке 1. Измельчение ПЭТ бутылок проводили вручную методом резания, в результате чего получали ПЭТ частицы размером  $5 \times 5 \times 0,5$  мм (рисунок 1, а, б, в). ПЭТ – отходы являются достаточно прочными материалами для резания и требуют определенных усилий. Поэтому получение из ПЭТ – отходов частиц меньших размеров требует специального оборудования. После дозирования проводили смешивание компонентов брикетируемой массы (рисунок 1, г). Пластичность массы для первого состава смеси обеспечивали добавками ЖС (рисунок 1, е). Для второго состава смеси на основе СЦ необходимую пластичность обеспечивали добавками воды (рисунок 1, д).



а, б, в – процесс измельчения ПЭТ-отходов; г – макроструктура смеси перед увлажнением; д, е – макроструктура поверхности образцов тротуарной плитки после сушки

Рисунок 1 – Макроструктура поверхности ПЭТ–отходов и образцов тротуарной плитки

После достижения необходимой пластичности массы ее прессовали с помощью лабораторного пресса при давлении 50 МПа. Часть полученных брикетов диаметром 15 мм исследовали на прочность, оставшиеся брикеты направляли на естественную сушку. Результаты исследований приведены на рисунках 2 и 3.

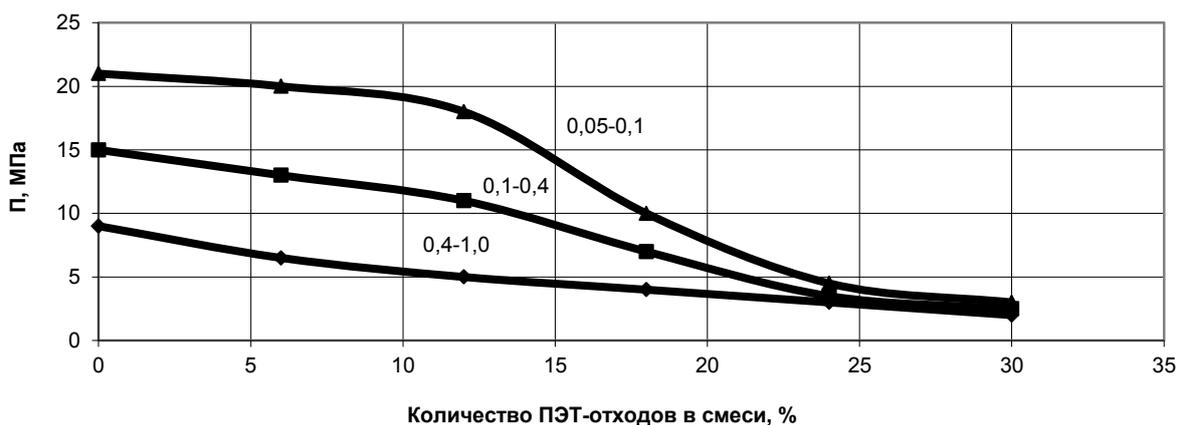


Рисунок 2 – Зависимость прочности образцов тротуарной плитки на основе СЦ от количества ПЭТ – отходов в смеси и размеров частиц наполнителя

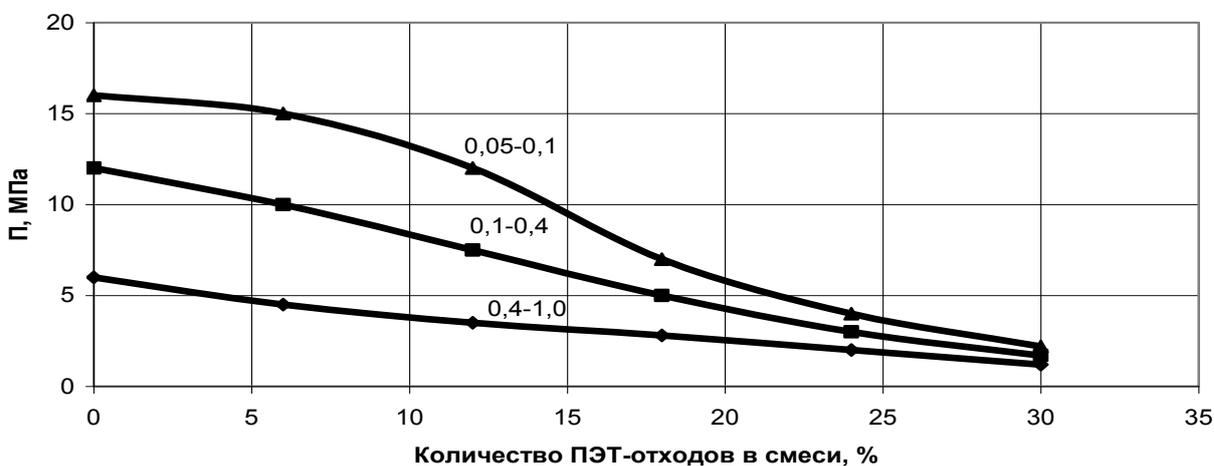


Рисунок 3 – Зависимость прочности образцов тротуарной плитки на основе ЖС от количества ПЭТ – отходов в смеси и размеров частиц наполнителя

В результате экспериментов установили принципиальную возможность получения тротуарной плитки на основе ПЭТ – отходов. Однако с ростом добавок частиц пластика прочность образцов из тротуарной плитки существенно снижается. Это объясняется высокими гидрофобными свойствами пластика и неразвитостью контактной поверхности пластиковых частиц. Выяснили, что для получения более прочного строительного изделия необходимо измельчать пластиковые отходы до размеров частиц менее 0,5 – 1,0 мм. Это утверждение относится и к размерам частиц дисперсного наполнителя, которые не должны превышать величину 0,1 – 0,4 мм. Установили, что прочность образцов на основе СЦ примерно на 10 – 20 % выше, чем у образцов на основе ЖС. Однако тротуарная плитка на основе СЦ имеет темный цвет, который формируется цементом после твердения и подавляет окраску наполнителей.

Плитка на основе ЖС обладает повышенными эстетическими свойствами, поскольку ЖС не подавляет цвет наполнителя и пластиковых частиц. По этой причине связка на основе ЖС является более предпочтительной, но требуется дополнительная экспериментальная проработка оптимального содержания концентрированного ЖС в водном растворе.

#### Библиографический список

1. Дарбишева П. Г. Современные проблемы вторичной переработки // Бюллетень науки и практики. – 2016. – № 5. – С. 141 – 144.
2. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.
3. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
4. Павловец В. М. Развитие техники и технологии окомкования железорудного сырья в металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2019. – 386 с.

УДК 331.45

## РОЛЬ ПОВЕДЕНЧЕСКОГО АУДИТА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА

Евсейкина М.Г.

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Громова О.Б.**

*Московский политехнический университет,  
г. Москва, e-mail: masha.lyashenko.94@mail.ru*

На примере ПАО «МОЭК» показана эффективность проведения поведенческих аудитов безопасности с целью предупреждения травматизма.

Разработаны рекомендации по дальнейшему развитию системы поведенческого аудита в компании с учетом ее особенностей и вектора развития.

Ключевые слова: поведенческий аудит безопасности, травматизм, охрана труда, система управления, опасное поведение.

Одним из инструментов управления охраной труда является поведенческий аудит безопасности (ПАБ), направленный на формирование правильных действий работников при выполнении ими должностных обязанностей. Проведение ПАБ способствует снижению потенциальных нарушений на производстве, приводящих к травматизму [1].

Согласно многочисленным исследованиям, доля несчастных случаев, причиной которых стали действия или ошибки людей, составляет от 70 до 90% и существенно превышает долю несчастных случаев, причиной которых явились опасные условия труда. Это соотношение зависит от объема выборки и качества проведенных исследований, однако общая тенденция просле-

живается четко.

Поведенческий аудит безопасности – интерактивный систематический и документированный процесс, который основывается на наблюдении за действиями работника во время выполнения им производственного задания или за его рабочим участком/местом и последующей беседе между работником и аудитором с целью немедленного исправления опасного поведения [2-4]. В ходе проведения ПАБ помимо наблюдения используется также анкетирование.

Целями ПАБ являются также:

- немедленная поддержка/поощрение безопасного поведения и тех усилий, которые работник предпринял, чтобы выполнить требования безопасности;
- выявление причин выполнения работы с нарушениями правил безопасности (недостаточное обучение, понимание, невнимательность и т. д.);
- поддержка утвержденных стандартов организации в области охраны труда (ОТ), техники безопасности (ТБ) и охраны окружающей среды (ООС);
- оценка эффективности деятельности по ПБ и ОТ;
- выявление слабых сторон СУОТ и ПБ на уровне регламентирующих документов, а также на организационном и квалификационном уровне;
- определение корректирующих мер;
- подтверждение приверженности принципу безопасной работы; концентрация внимания работника на важности вопросов безопасности;
- получение информации о состоянии ОТ и ПБ на производстве «из первых рук».

Неотъемлемым условием ПАБ является беседа с работником. Правильное и надлежащее проведение поведенческих аудитов позволяет достичь следующих результатов:

- поддержки стандартов в области ОТ, ПБ и ООС путем всеобщего соблюдения действующих правил и процедур, выявление отклонений; эффективности обучения;
- выявления и устранения отклонений от действующих государственных нормативных требований по охране труда и промышленной безопасности в области ОТ, ПБ и ООС;
- мотивации руководителей и работников путем подачи требований по промышленной безопасности в ясной, сопоставимой форме, отражающих тенденции (ориентиры развития) в указанной области;
- повышения сознательного отношения работников к вопросам охраны труда и промышленной безопасности.

По итогам проведения ПАБ составляется отчет. Для этого используется бланк, разработанный организацией. В отчете перечисляются все выявленные опасные действия/условия, немедленные корректирующие действия, предпринятые аудитором (группой аудита), и предложения по предотвращению их повторения, а также отмечаются положительные моменты.

Основная цель ПАБ выявление недостатков, а не наказание отдельных работников. Для наглядности результаты аудита представляются в виде числовых или графических параметров установленных отклонений.

ПАБ в «МОЭК» является обязательным дополнением к существующим видам контроля, направленным на развитие и повышение культуры безопасности работников, и проводится согласно разработанному стандарту и графику проведения аудитов. Категории наблюдения за действиями работника, которые предусмотрены в стандарте, позволяют оценить мотивацию работника к соблюдению требований безопасности, немедленно скорректировать опасные действия, обсудив с работником их последствия, тем самым сформировать осознанное отношение к безопасности.

В ПАО «МОЭК» в течение последних трех лет количество аудитов с безопасным поведением (59-70 %) превышает число аудитов с выявленным опасным поведением работников.

Разделение опасных ситуаций, связанных с поведением работников, на категории позволило выявить недостатки в системе управления охраной труда, усилить обучение и мотивацию персонала на безопасность и снизить травматизм. Согласно стандарту ПАБ, основные категории опасных ситуаций: реакция людей, положение и действие людей, спецодежда и СИЗ, состояние инструмента и оборудования, правила и процедуры, порядок на рабочем месте.

Анализ полученных результатов ПАБ позволил установить, что более всего потенциально опасных ситуаций возникает при неправильном использовании, неиспользовании или отсутствии СИЗ. Проведение профилактических мероприятий и дополнительное обучение работников, а также активизация и рост числа ПАБ, позволили в течение 3-х лет (2019-2021 гг.) снизить долю в данной категории опасных ситуаций с 44 до 26 %.

При этом целевой показатель - индекс опасного состояния, определяемый отношением общего числа опасных действий за год к общей продолжительности аудитов, снизился с 41 до 30 %.

С целью упорядочения и организации процесса проведения поведенческого аудита безопасности во вновь образуемых филиалах в «МОЭК» разработан распорядительный документ, в котором указываются:

- лица, ответственные за проведение поведенческих аудитов безопасности в филиале;
- риск-менеджер филиала - работник, определяемый приказом по филиалу, на которого возложены обязанности по организации и координации процесса проведения поведенческого аудита безопасности;
- руководитель аудиторов;
- состав аудиторов - работники филиала, назначаемые приказом.

#### Библиографический список

1. Нарусова Е.Ю., Донцов С.А. Аудиты безопасности как инструмент

снижения производственного травматизма на объектах железнодорожного транспорта // Безопасность жизнедеятельности на транспорте. - 2012. - №3.

2. ФЗ «Об основах охраны труда в Российской Федерации» от 17.07.1999г. №181-ФЗ (с изм. от 20.05.2002 и 10.01.2003г).

3. ГОСТ Р 54934-2012/OHSAS 18001:2007 Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования.

4. Требования «Типовое положение о системе управления охраной Труда». Утверждено Приказом Минтруда России от 19.08.2016 N 438н.

УДК 614.849

## **ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЦЕЛЯХ ОБСЛЕДОВАНИЯ ВОДОЕМОВ НА ПРЕДМЕТ ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ ЗАБОРА ВОДЫ АВИАЦИЕЙ МЧС РОССИИ**

**Амосов В.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Полунин Г.А.**

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

В работе изучена целесообразность применения беспилотных авиационных систем в целях обследования водоемов на предмет пригодности для забора воды авиацией МЧС России. Рассмотрен опыт подразделений Главного управления МЧС России по Челябинской области по обследованию акваторий, назначенных для забора воды самолетом Бе-200ЧС.

Ключевые слова: беспилотная авиация МЧС России, обследование водоемов с помощью БАС, Бе-200ЧС, забор воды глиссированием.

Защита лесов от пожаров является важным направлением деятельности федеральной и региональной ветвей власти. Ежегодно лесные пожары создают ощутимую угрозу жизни и здоровью населения и наносят значительный экономический, а также экологический ущерб государству [4]. Сотрудниками департамента лесного хозяйства по Уральскому федеральному округу (далее – УрФО) в статье [3] был выявлен экономический ущерб от лесных пожаров по УрФО за 2020 год, который составил 4 109 793, 16 тыс. руб., при этом на тушение было затрачено 575 481, 57 тыс. руб.

Лесные пожары представляют собой неконтролируемое горение лесных насаждений и часто относятся к стихийным бедствиям. Они подразделяются на 3 вида: верховые, низовые и подземные [5]. В зависимости от вида пожара необходимо подбирать наиболее подходящие и эффективные методы и средства локализации. Наибольшую опасность представляют собой верховые пожары, обладающие стремительной скоростью распространения пламени [2]. Одним из наиболее эффективных и распространенных средств ту-

шения таких пожаров является применение авиации МЧС России для сброса воды на кромку пожара или вдоль нее.

Самолет-амфибия Бе-200ЧС является последним достижением мировой гидроавиации и наиболее совершенным и эффективным из существующих самолетов-амфибий [6]. В большинстве случаев самолёт Бе-200ЧС применяется для пожаротушения с использованием водной поверхности, на которой он может совершать сбор воды. При сборе воды глиссированием резервуары объемом 12000 литров, расположенные в фюзеляже, наполняются за 12 секунд, что при близком расположении подходящего водоема значительно увеличивает частоту сбросов, а, следовательно, и эффективность тушения.

Однако, для использования акваторий самолетом Бе-200ЧС при пожаротушении необходимо провести обследование таких акваторий и оценить их соответствие требованиям, установленным Методическими рекомендациями по применению авиации МЧС России для тушения лесных пожаров [1]. В ходе обследования уточняются:

- координаты центра водоема;
- длина (по вытянутой части) – не менее 3200 м;
- ширина (по вытянутой части) – не менее 200 м;
- глубина (по всей длине акватории) – не менее 2,6 м;
- наличие отмелей, островов и перекатов (их координаты);
- наличие природных и искусственных препятствий с высотой более 30 м в радиусе 5 км от центра водоема с указанием их координат (жилые, промышленные здания, вышки, ЛЭП и др.);
- наличие запретных (опасных) зон в районе водоема по экологии, рыболовству и др.

На основе полученных сведений разрабатываются технологические обзорные карты водоемов, назначенных к применению самолета Бе-200ЧС.

Специалисты подразделений беспилотной авиации Главного управления МЧС России по Челябинской области провели оценку 3 акваторий (оз. Калды, оз. Касарги, вдхр. Верхнеуральское), назначенных к применению Бе-200ЧС, с помощью беспилотной авиационной системы (далее – БАС) ближнего действия малого класса самолетного типа Zala 421-04М с целевой нагрузкой – фотокамерой.

В ходе воздушной разведки акваторий были сделаны фотоснимки (рисунок 1), которые в дальнейшем обрабатывались с помощью программного обеспечения Agisoft Photoscan.

Процесс обработки включал:

- выравнивание фотографий по телеметрическим данным (высота съемки, географические координаты, угол крена, угол тангажа и курс воздушного судна) и создание облака точек, изображенного на рисунке 2;
- создание плотного облака по облаку точек с помощью вычислительных алгоритмов (рисунок 3);

- создание каркасной модели местности для определения высотных препятствий (рисунок 4);
- создание карты высот и ортофотоплана местности (рисунок 5) для дальнейшей топографической привязки.



Рисунок 1 – Фотоснимок с БВС Zala 421-04М, выполненный при обследовании озера Касарги

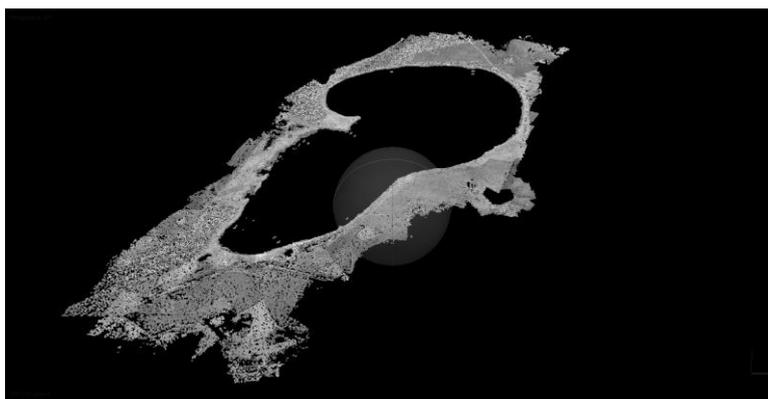


Рисунок 2 – Облако точек для оз. Касарги, созданное в программе Agisoft Photoscan

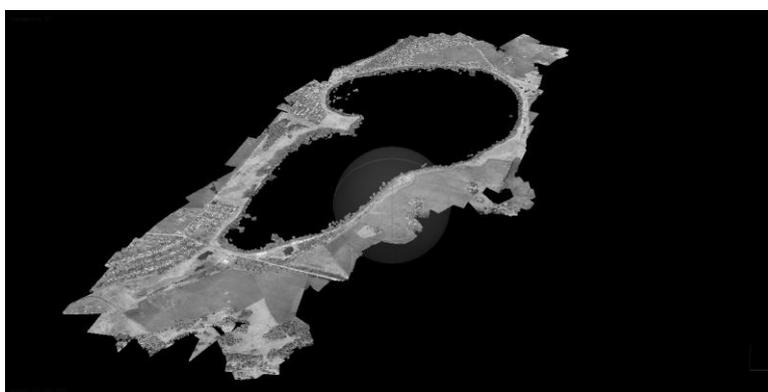


Рисунок 3 – Плотное облако для оз. Касарги, созданное в программе Agisoft Photoscan

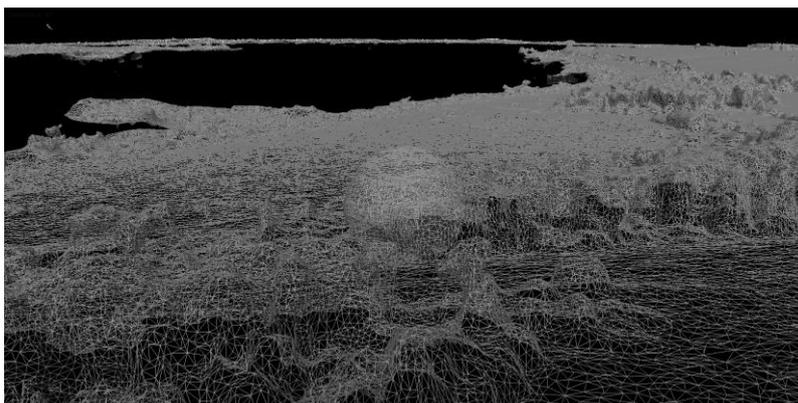


Рисунок 4 – Каркасная модель оз. Касарги, созданная в программе Agisoft Photoscan

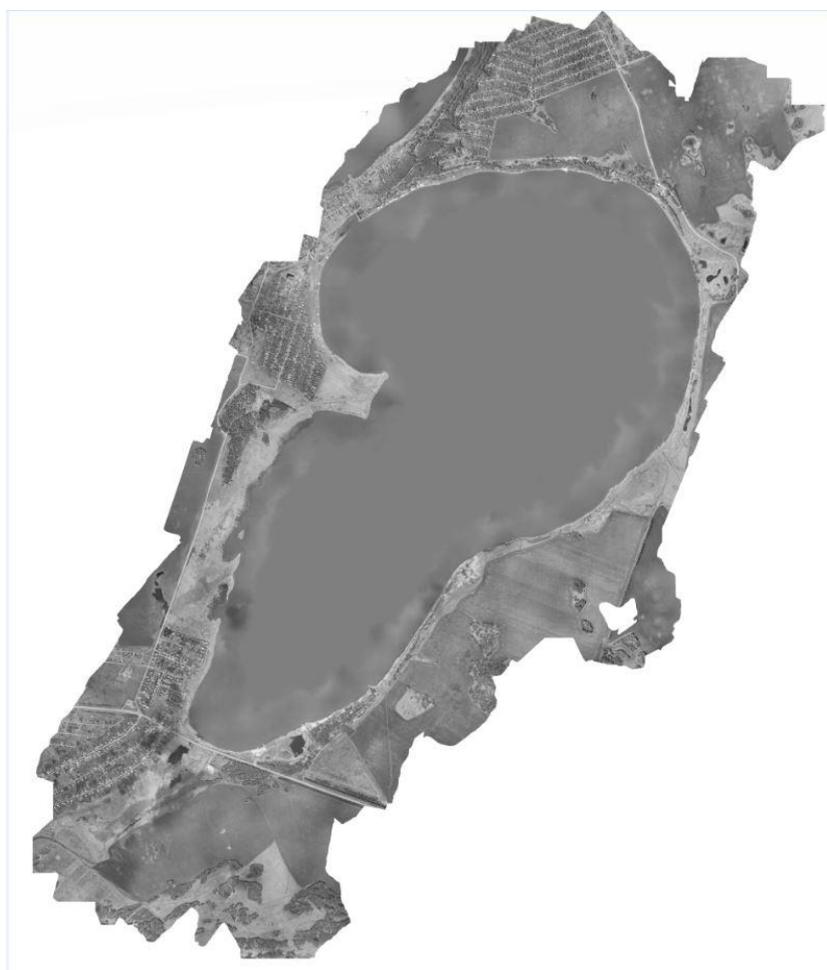


Рисунок 5 – Ортофотоплан оз. Касарги, созданный в программе Agisoft Photoscan

На трехмерных моделях оз. Касарги в радиусе 5 км от центра водоема препятствий с высотой более 30 м обнаружено не было. Вдоль береговой линии оз. Касарги были обнаружены рыбоводческие строения, показанные на рисунке 6. Их максимальная удаленность от берега составляет 220 м.



Рисунок 6 – Рыбоводческое строение на оз. Касарги с удаленностью от берега 220 м

Созданные ортофотопланы водоемов были загружены в геоинформационную систему «Обзор» для определения географических координат границ полосы забора воды самолетом Бе-200ЧС, как изображено на рисунке 7.

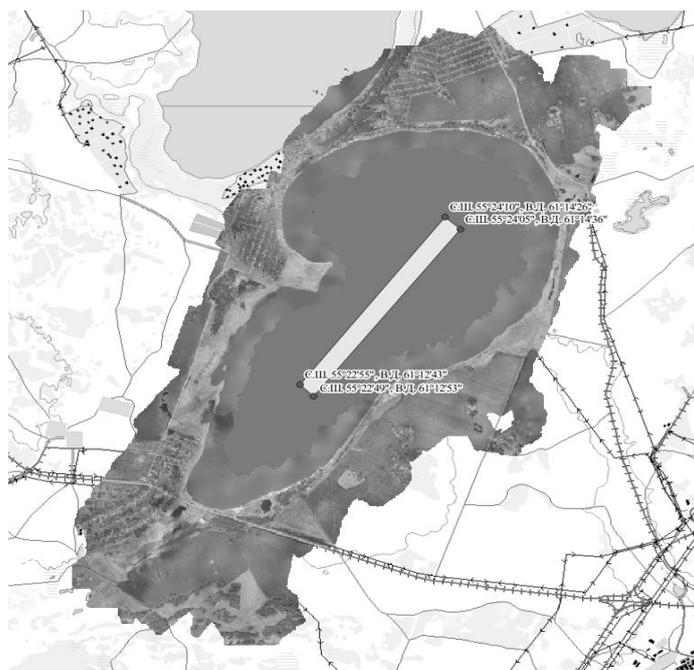


Рисунок 7 – Полоса забора воды Бе-200ЧС для оз. Касарги, определенная в ГИС «Обзор»

Таким образом, полученные в результате обработки трехмерные модели позволяют оценить природные и искусственные препятствия в окрестности акватории, а топографическая привязка ортофотоплана дает возможность определения точных географических координат центра водоема, границ полосы забора воды самолетом Бе-200ЧС, препятствий, отмелей, островов и перекатов.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод об эффективности и целесообразности применения БАС в целях обследования водоемов, назначенных для забора воды самолетом Бе-200ЧС.

#### Библиографический список

1. Приказ МЧС России от 05.09.2016 г. № 2–4–71–49 «Об утверждении Временных методических рекомендаций по применению авиации МЧС России при тушении пожаров».
2. Копылов, Н.П. Особенности тушения лесных пожаров с применением авиации / Н.П. Копылов, В.Н. Карпов, А.Е. Кузнецов, Д.В. Федоткин, И.Р. Хасанов, Е.Ю. Сушкина // Вестник Томского государственного университета. – 2019. – №59. С. 79–86.
3. Куплевацкий, С.В. Лесные пожары в Уральском федеральном округе и их влияние на экологию / С.В. Куплевацкий, Н.Н. Шабалина // Леса России и хозяйство в них. – 2020. – №4 (75). С. 4–12.
4. Подрезов, Ю.В. Особенности оценки последствий и ущерба от лесных пожаров / Ю.В. Подрезов, С.Л. Диденко, С.Г. Ермаков // Технологии гражданской безопасности. – 2020. – Т.17, №3 (65). С. 4–6.
5. Сибиркин, Р.А. Основные причины возникновения лесных пожаров на территории Челябинской области / Р.А. Сибиркин, А.Р. Сибиркина, С.Ф. Лихачев // Лесной вестник – 2020. – Т.24, №3. С. 39–44.
6. Трикашный, В.М. Организация авиационных работ по тушению лесных пожаров самолётом – амфибия Бе-200ЧС / С.К. бе, В.М. Трикашный, Ю.А. Забалуева // Технические науки – 2020. – №12. С. 5–9.

УДК 504.062.2

### **АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ ПОСТУ ОРЛОВО РЕКА УПА ТУЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЮ**

**Есоян Х.Т.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волков А.В.**

*Тульский государственный университет,  
г. Тула, e-mail: info@tsu.tula.ru*

В статье проведен анализ динамики изменения уровня воды по наблюдениям на гидрологическом посту Орлово река Упа Тульская область. Даются рекомендации по рациональному водопользованию. Описан принцип работы капельного орошения применимый в сельском хозяйстве и оборотного водоснабжения для промышленных предприятий.

Ключевые слова: уровень воды, гидрологический пост, рациональное водопользование, капельное орошение, обратное водоснабжение.

Глобальное изменение климата за последние десятилетия заняло прочное место в ряду главных экологических проблем, стоящих перед мировым сообществом. Изменение климата приводит к увеличению неблагоприятных явлений и гидрометеорологических рисков. В 2017 году Всемирный экономический форум (ВЭФ) в своем 12-м ежегодном отчете о наиболее значительных рисках для человечества объявил экстремальные погодные явления наиболее вероятными среди основных глобальных опасностей и вторым по масштабу воздействия (после оружия массового поражения). Особенно серьезными являются последствия изменения климата для водных ресурсов, которые требуют более глубоких исследований с региональной точки зрения, учитывая огромную значимость водных ресурсов для социально-экономического развития.

Каждый год ученые фиксируют гибель малых рек и снижение уровня воды в крупных водных артериях. По данным на 2015 год в Воронежской области полностью исчезло более 30 рек. Отмеченное на протяжении 10 лет обмеление Дона ведет к неминуемой экологической катастрофе. Процесс обмеления уже не остановится естественным путем. На планете уже исчезло более 900 малых рек, а в одной Московской области утрачено 30 процентов водных ресурсов.

Потребление пресной воды в антропогенных целях происходит, главным образом, за счёт вод речного стока. Это определено доступностью речной сети для изъятия пресной воды как по распространённости по земной поверхности (по сравнению, например, с озёрами), так и по энергетическим и другим издержкам на изъятие (по сравнению, например, с забором воды из подземных источников). Кроме того, воды речной сети наиболее динамичны и способны к возобновлению и самоочищению.

Глобальный дефицит пресной воды может привести к сдерживанию развития отраслей промышленности, использующих большое количество пресной воды, снизить уровень жизни населения, привести к трудностям в сельском хозяйстве. Недостаток чистой питьевой воды может стать причиной военных и политических столкновений, дефицит чистой питьевой воды неуклонно повлечет за собой рост числа различных заболеваний и эпидемий, снижению рождаемости и сокращению численности населения Земли.

Согласно данным Тульского ЦГМС по гидрологическому посту (далее ГП) Орлово река Упа, уровень воды в реке постепенно снижается.

Опираясь на данные из таблицы, можно прийти к выводу, что уровень воды за последние 10 лет приблизился к историческому минимуму, начиная с 1990 года.

Анализируя выше изложенные данные можно сделать заключение, что на территории Тульской области нужно обеспечить комплекс мер по охране

водных ресурсов. В этот комплекс должны входить такие мероприятия как: рекомендация по рациональному водопользованию, мероприятия по оптимизации оборотного водоснабжения в условиях ухудшения качества воды при потеплении, рекомендации по экономии воды в сельском хозяйстве.



Рисунок 1 - Значение среднегодовых уровней ГП Орлово река Упа.

Потребление воды в мире достигает около 3900 млрд куб. м. в год. Веса́мая часть (около 70 %) уходит на нужды сельского хозяйства, прежде всего полив, примерно 20 % задействуется в промышленности, а оставшиеся 10% используются людьми и предприятиями в бытовых целях.

Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 12 октября 2013 г. № 922 г. Москва "О федеральной целевой программе "Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014 - 2020 годы" планируется строительство и обновление сельскохозяйственных предприятий на новом технологическом уровне.

При реализации этого плана используются такие передовые технологии, как капельное орошение и использование автоматических оросительных установок, а также методы орошения, обеспечивающие более экономное использование водных ресурсов и благоприятные для получения высоких урожаев.

Капельное орошение экономит воду и другие ресурсы (удобрения, рабочую силу, энергию и трубопроводы). Капельное орошение также дает другие преимущества (ранний сбор урожая, предотвращение эрозии почвы, снижение вероятности заболеваний и сорняков).

Данный метод начал использоваться широко в разработке Симхи Бласса в Израиле, где в середине прошлого века начали проводить экспериментальные опыты по внедрению капельного орошения при дефиците воды.

Первоначально он был широко распространен в тепличном производстве, но сегодня обширно используется в открытом грунте для выращивания овощей, фруктов и винограда, а также озеленения, включая вертикальные

сады. Максимальный эффект капельное орошение дает в местах с недостаточной увлажненностью.

Основным фактором капельного орошения, которое позволило этому виду полива стать собственной технологией, было изготовление капельницы. До этого капельное орошение проходило посредством сосудов разного объема, из которых вода поступала к корням растений через небольшие отверстия. Капельницы позволили сделать капельное орошение простым и эффективным.

Создание замкнутых систем является наиболее перспективным вариантом сокращения расходования воды в промышленности. Сточные воды очищаются специальным оборудованием и используются повторно. Составляющие системы оборотного водоснабжения зависят от количества сточных вод и требований к качеству очищенной воды. Прогрессивную установку можно найти на производственных предприятиях, атомных и тепловых электростанциях, автомойках, загородных домах и автономных источниках.

Оборотное водоснабжение – это система водоснабжения для нужд производственной компании, а использованная вода после надлежащей подготовки используется вторично. Оборотное водоснабжение представляет собой закрытую систему, состоящую из различных технологических устройств, подключенных к трубопроводу.

Преимуществами системы оборотного водоснабжения является значительная экономия воды – до 90 %, отсутствие вредных выбросов в местные водоемы, предприятие не будет платить за использование новых водных ресурсов, производство сможет обойтись без уплаты штрафов за загрязнение.

Следует отметить, что у оборотного водоснабжения есть один недостаток, это испарение около 5 % воды от общего объема, который был первоначально. Если сравнивать, то такая система приносит большое количество плюсов, поэтому ее следует применять на всех современных предприятиях, где это возможно.

#### Библиографический список

1. Богословский Б.Б. Основы гидрологии суши. Реки, озера, водохранилища / Б.Б. Богословский. - Минск : Изд-во БГУ, 1974. - 214 с.
2. Бураков Д. А. Основы метеорологии, климатологии и гидрологии / Д.А. Бураков. - Красноярск: Изд-во Красн. гос. аграр. ун-та, 2011.- 278 с.
3. Виссмен мл. У. Введение в гидрологию / У. Виссмен мл., Т.И. Харбаф, Д.У. Кнэпп. - Ленинград : Гидрометеоздат, 1979. -470 с.
4. Абакумов В.А., Сущеня Л.М. Гидробиологический мониторинг пресноводных экосистем и пути его совершенствования // Экологические модификации и критерии экологического нормирования: Тр. Междунар. симпоз. Л.: Гидрометеоздат, 1991. - 41-51 с.

## **МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ МОРСКИХ И РЕЧНЫХ СУДОВ**

**Афанасьева В.И.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент Маслова А.А.**

*Тульский государственный университет,*

*г. Тула, e-mail: prosto4723@gmail.com*

В данной статье рассматривается необходимость разработки методов снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в транспортной логистике морских и речных судов для оценки соответствия эмиссий ОГ дизелей эксплуатирующихся судов требованиям нормативной документации для последующих рекомендаций при эксплуатации судов, проектировании, модернизации судовых энергетических установок.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, транспорт, морские суда, речные суда, углеродный след, атмосфера, инвентаризация.

Негативное изменение климата, вызванное деятельностью человека, приводит к масштабным последствиям для гуманитарной и экологической системы. В ответ развиваются и реализуются международные, региональные, национальные и местные инициативы по ограничению концентрации парникового газа в атмосфере Земли. Они основываются на мониторинге, оценке, проверке, исключении или предотвращении выбросов ПГ. Выброс ПГ осуществляется на всем пути создания и использования продукции [1].

Ухудшение экологической обстановки в мире приводит к необходимости ужесточения норм на токсичные выбросы. Основным источником таких выбросов является транспорт, определенное место в котором занимают водные судна [3].

С 19 мая 2005г. вступило в силу VI Приложение к Международной конвенции МАРПОЛ 73/78' по предотвращению загрязнения атмосферы с судов. В настоящее время Россия в процессе придания юридической силы документу путём утверждения его соответствующим органом каждой из сторон [1, 4-5].

Сейчас на судах Волго-Каспийского региона нет «Технического паспорта выбросов судового двигателя», который бы подтверждал соответствие нормам, принятым другими странами.[6].

Таким образом, была определена необходимость разработки методов снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в транспортной логистике морских и речных судов.

При разработке необходимо учитывать границы, которые могут быть источником значительных различий в контроле за углеродным следом.

В целом, существует несколько общих методов инвентаризации углеродного следа:

### 1. Подход по оценке деятельности

Этот подход наиболее точно представляет фактические происходящие операции в портах. Обычно используются конкретные данные об источнике, такие как фактическая мощность двигателя, фактическое потребление энергии, фактическое потребление топлива и т.д. Однако, для первой инвентаризации требуется значительное время - иногда более года.

Выбросы в данном методе оцениваются таким уравнением:

$$G = E * K_{\text{в}}, \quad (1)$$

Где  $G$  – выбросы, выраженные в тоннах или метрических тоннах;

$E$  – потребление энергии или топлива – это комбинация источников и данных о деятельности, л.с.-час, кВт/час или МВт/час (энергия) или галлоны или кг (расход топлива);

$K_{\text{в}}$  – коэффициент выбросов представляет собой характеристики выбросов, изменяющиеся по типам источников на единицу потребления энергии.

### 2. Суррогатный подход

Этот подход использует «связанные» данные или суррогаты для замены исходных данных, данных о деятельности, потребления энергии и выбросов на условную единицу активности. Такой подход обычно не так точен, как подход по деятельности [7].

Оценка выбросов производится по таким уравнениям:

$$G = A * S_{\text{в}}/A \quad (2)$$

или

$$G = S_{\text{пэ}} * K_{\text{в}}, \quad (3)$$

где  $G$  – выбросы, выраженные в тоннах или метрических тоннах;

$A$  – активность – представление связанных с портом операций: судовые заходы, количество активного погрузочно-разгрузочного оборудования, закупленное топливо, служащие, зарегистрированные суда, грузооборот и т.д.;

$S_{\text{в}}/A$  – выбросы связанные с активностью;

$S_{\text{пэ}}$  – суррогатное потребления энергии.

### 3. Гибридный подход

В этом подходе используются различные комбинации как инвентаризаций, основанных на активности, так и суррогатных данных, в зависимости от доступности данных, суррогатов, временных ограничений и т.д. [8].

Нет такого решения в вопросах экологичности транспорта, которое бы

подходило для всех типов морских и речных судов. Однако, организация UMAS предлагает несколько способов снижения выбросов, которые можно внедрить уже сейчас, получив положительный результат [9].

Способы снижения вредных выбросов в атмосферу с судоходной техники представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Способы снижения вредных выбросов в атмосферу с судов

Из диаграммы видно, что наилучший результат можно достигнуть за счет:

- Оптимизации обводов корпуса – до 13 %,
- Оптимизации грузового пространства – до 24%.
- Использования энергии ветра – до 30%,
- Снижения скорости хода – до 34%.

Мир не стоит на месте, а вместе с ним происходит развитие и оптимизация обводов корпуса судов. За определенно не долгое время было представлено несколько новшеств в разработке корпусных конструкций (рисунок 2).



Рисунок 2 – Экспедиционное судно Greg Mortimer, Ulstein

Новые суда компании Ulstein имеют форму конуса с перераспределением объема носовой части и существенно уменьшенным развалом бортов. Приподнятая носовая часть имеет жилые помещения. Также в судах данного типа хорошо оптимизировано грузовое пространство за счет формы корпуса. Явными преимуществами конструкции такого типа являются: высокая скорость на маршруте, сниженные вредные выбросы в атмосферу и увеличенный срок эксплуатации.

В настоящий момент использование энергии ветра является одной из популярных тем для обсуждения в научных кругах. Действительно, появляется все больше проектов судов, использующих энергию ветра тем или иным образом.

Балкер, разработанный европейскими компаниями совместно с японской верфью, оборудованный жестким парусом является новшеством. Судно специально разработано с целью повышения эффективности движения и снижения вредного воздействия на экосистему (рисунок 3)

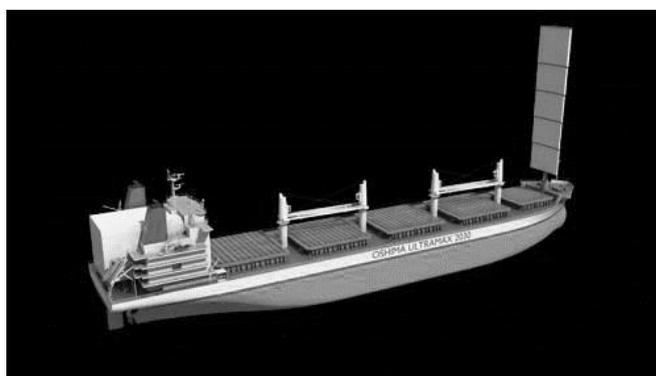


Рисунок 3 – Проект балкера, оборудованного карбоновым парусом

За счет снижения скорости хода выбросы парникового газа с трех типов судов (контейнеровозы, балкеры и танкеры) выбросы могут сократиться на треть. При снижении скорости судов на 30% объем выбросов в период с 2018 по 2030 гг. сократится на 2,5 гигатонн [10].

Таким образом, в данной статье была рассмотрена необходимость разработки методов снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в транспортной логистике морских и речных судов.

#### Библиографический список

1. Бюллетень статистики транспорта: Статистика грузовых перевозок 2005, DfTSB(06), 27 июня 2006 г.
2. ГОСТ 31967-01 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения. Дата введения 2014-07-01.
3. ГОСТ 24028-80 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Дымность отработавших газов. Нормы и методы определения. Дата введения 2014-07-01.

4. ГОСТ 24585-81 Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения. Дата введения 1986-01-01.

5. Измерение углеродного следа для портов. Руководящий документ. Июнь 2010 года. Carbon Footprint Working Group World Ports Climate Initiative Port of Los Angeles/ Lead Port

6. Инвентаризация выбросов парниковых газов и стоков в США: 1990-1996 годы, таблица С-10.

7. 14 ENTEC, Квантификация выбросов судов, ассоциированных с движением судов между портами в Европейском сообществе, Финальный отчет, Июль 2002. подготовлено Европейской комиссией.

8. IPCC. 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Prepared by the IPCC/OECD/IEA, Paris. France. J.T.. Houghton.

9. IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston H.S.. Buendia L.. Miwa K.. Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan

10. IPCC. 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Penman J.. Kruger D.. Galbally I.. Hiraishi T., Nyenzi B.. Emmanuel S.. Buendia L. Hopppaus R.. Martinsen T., Meijer J.. Miwa K.. and Tanabe K. (eds). IPCC/OECD. IEA/IGES. Hayama. Japan

УДК 628.544:574

## **УЧАСТИЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ И САПРОФАГОВ В ПЕРЕРАБОТКЕ ПРОМЫШЛЕННО-БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

**Захарова М.А., Домнин К.И.**

**Научный руководитель: д-р с.-х. наук, профессор Водолеев А.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: marina-shentsova@mail.ru*

Проведен и проанализирован лабораторный эксперимент по переработке осадков сточных вод (ОСВ) с добавлением бытовых отходов с участием почвенных микроорганизмов и дождевых червей (*Eisenia foetida*). Сравнительный анализ исходного химического состава отходов на основе осадков сточных вод и полученных из них конечных продуктов показал значительные количественные изменения в сторону уменьшения токсических веществ.

Ключевые слова: осадки сточных вод, элементы-токсиканты, токсичность отходов, питательные среды для выращивания микроорганизмов, микробоценоз, сапрофаги, биофильные элементы.

Результаты исследований в области химии металлов в почвах и воздействия их на растения демонстрируют сложность и неоднозначность вопроса почвенного размещения ОСВ, загрязненных металлами. Для обеспечения получения гигиенически пригодной экономически оправданной растительной продукции, В.Б. Ильин [4] разработал нормирование содержания тяжелых металлов в почвах:

Основной контроль – санитарно-гигиенический (содержание элемента-токсиканта в товарной части растительной продукции не превышающую гигиеническую норму);

Вспомогательный – почвенный (содержание подвижной формы элемента-токсиканта в почве, гарантирующей накопление его в поедаемой части растений в количестве, не превышающую гигиеническую норму);

Санитарно-гигиенической (численность или активность наиболее опасной и толерантной к элементу-токсиканту патогенной группы микроорганизмов).

Для сохранения в почве ее свойств и процессов, по мнению В.Б. Ильина, М.Д. Степановой – первичным этапом должен быть микробиологический тест (численность или активность физиологически важной для почвы группы микроорганизмов наименее толерантной к элементу токсиканту) [4].

Второй этап – почвенный тест (содержание в почве подвижной формы элемента токсиканта, обоснованное микробиологическим тестом).

В крупных городах, в том числе и в Новокузнецке, существует проблема размещения и полезного использования отходов городских очистных сооружений – ОСВ [7]. Благодаря содержанию N, P, Ca, Mg и ряда необходимых для нормального развития микроэлементов B, Co, Cu, Mn, Mo, Se, Zn ОСВ могут быть классифицированы как органо-минеральное азотно-фосфорное удобрение. Кроме того, в процессе хранения в нем происходит образование гуминовых веществ, способствующих накоплению в листьях растений хлорофилла и более интенсивному росту корней. Специалисты в области рекультивации отмечают преимущества использования ОСВ по сравнению с традиционными способами: наличие в ОСВ значительного количества органического вещества, химическая буферная способность, снижающая токсичность отходов, высокое содержание макроэлементов и микроэлементов, необходимых для развития растений.

Источниками бумажных отходов являются древесная целлюлоза (главная часть оболочки растений), целлюлоза однолетних растений, тряпичная полумасса и вторсырьё (макулатура). Картон отличается от бумаги гораздо большей толщиной и массой. При производстве картона в основном используют материал с более грубыми волокнами (полуцеллюлоза, макулатура, бурая древесная масса, сульфатная целлюлоза).

Опилки и стружка – это мелкие деревянные частички, образующиеся при обработке древесины. Их используют для сохранности грузов при пере-

возке, в изготовлении мебели, при выращивании грибов, для производства этиловых спиртов на химических предприятиях, в фармацевтике и т.д.

*Методика проводимых исследований.* Лабораторный эксперимент проводили с использованием вышеназванных отходов, внесенных послойно в пластмассовые ящики в трех вариантах:

1. бактерии + субстрат;
2. черви + субстрат;
3. бактерии и черви + субстрат.

Масса субстрата в каждом варианте составила в среднем 3 кг.

Распределение промышленных и бытовых отходов проводили послойно снизу вверх (толщина слоя составила 2,3 см) по следующей схеме:

- травянистые отходы;
- бумажные и древесные отходы;
- почва окультуренная;
- осадки сточных вод.

Источником микроорганизмов явились используемые отходы и микропрепарат Байкал ЭМ-1, внесенный в 1-й и 3-й варианты опыта в количестве 5 мл исходного концентрата, разбавленного в 30 раз.

Заражение почвенными сапрофитами проводили внесением во 2-й и 3-й варианты 12-ти особей компостных дождевых червей второго года жизни (исходя из нормативов плотности заселения червями на 1 м<sup>2</sup> по А.М. Игонину) [3].

Для оптимального обеспечения жизнедеятельности сапрофитов в пробы с червями вносили по 5 г толченого мела.

Отбор проб ОСВ был осуществлен в летний период из складированных перезимовавших буртов с глубины 0,3-0,5 м от поверхности отходов. Паразитологический анализ и микробиологическое исследование на наличие возбудителей инфекционных заболеваний, проводимые городской СЭС, дали отрицательный результат. Микроскопирование проводилось при 600 и 1350 кратном увеличении с использованием микроскопов отечественного производства фирмы «Биолам». Фотоизображение осуществлялось цифровой насадкой MD-300.

Количественный учет микроорганизмов проводили методом предельных разведений на жидких питательных средах [1].

Элементный состав отходов изучали методом спектрального анализа в лаборатории Западно-Сибирского испытательного центра, г.Новокузнецк [5].

Количественный подсчет дождевых червей проводили по всему профилю используемого субстрата, учитывая их возрастной состав.

Статистическая обработка полученных результатов проводилась по программе STAT (2000 г.).

Микробиологический анализ ОСВ [2] (проба № 1) показал их изначально высокую биологическую зараженность широкого таксономического спектра микроорганизмов. Вместе с тем, в составе бактериального комплек-

са преобладают неспорные формы, являющиеся пионерами освоения органических остатков. В составе спорообразующих форм присутствует *Bacillus cereus* в количествах, превышающих санитарное благополучие. Доминантом выступает *Bacillus megaterium*, использующий, как органический, так и минеральный азот. Соотношение колониеобразующих единиц (КОЕ) микроорганизмов, выросших на крахмало-аммиачном агаре (КАА) к числу таковых на мясо-пептонном агаре (МПА) превышает единицу, что свидетельствует о возможности интенсивной минерализации ОСВ. Содержание *Bacillus cereus* превышает санитарные нормы, соответствуя категории “патогенных” сапрофитов.

Почвенные экосистемы без внесения ОСВ характеризуются высоким таксономическим разнообразием микрофлоры, высокой уровнем минерализации и самоочищения (проба № 2).

Таким образом, в результате микробиологических почвенных исследований установлено, что сукцессионные изменения в составе микробоценоза сформированных с использованием ОСВ органоминеральных субстратов соответствуют начальным этапам становления. Присутствие ОСВ усиливает эти процессы [6].

Для создания на отходах более высокого ценотического уровня в помощь микробоценозу необходимо привлечь другие организмы. Наиболее приемлемыми в условиях опыта явились почвенные сапрофаги – дикая популяция компостных дождевых червей (*Eisenia foetida*).

Полученные результаты по биомассе и количеству особей сопровождались сравнительным анализом исходного химического состава отходов на основе ОСВ и полученных из них конечных продуктов (таблица 1).

Таблица 1 – Исходный химический состав отходов на основе ОСВ и полученных из них продуктов (расчет на сухое вещество).  
Динамика количественных показателей особей червей

Показатель	Единицы измерения	Исходные ОСВ	Продукт переработки ОСВ	ГОСТ Р 17.4.3.07-2001
Гумус	%	33,9	34,3 (+0,4)	20
Значение рН	lg[H]	6,3	6,7 (+0,4)	5,5-8,5
Общий азот	%	1,9	2,1 (+0,2)	0,6
Общий фосфор	%	3,2	3,3 (+0,1)	1,5
Свинец	мг/кг	69,0	30,2 (-38,8)	250
Кадмий	мг/кг	2,0	Не обнаружен (-2,0)	15
Никель	мг/кг	112,9	86,1 (-26,8)	200

Продолжение таблицы 1

Показатель	Единицы измерения	Исходные ОСВ	Продукт переработки ОСВ	ГОСТ Р 17.4.3.07-2001
Хром	мг/кг	136,0	15,7 (-120,3)	500
Цинк	мг/кг	837,0	428,1 (-408,9)	1750
Медь	мг/кг	191,0	17,9 (-173,1)	750
Мышьяк	мг/кг	19,0	3,9 (-15,1)	10
Марганец	мг/кг	1669,0	453,4 (-1215,6)	2000
Число особей 2-й вариант	шт.	12	245 (+233)	-
Число особей 3-й вариант	шт.	12	180 (+168)	-

Данные таблицы 1 свидетельствуют, что после участия червей в переработке ОСВ содержание тяжелых металлов в свободном виде значительно снижается за счет их перехода в биофильное состояние в составе структур живого организма. Пищевые цепи обеспечивают длительное удержание внутри экосистем энергии, связанной фотосинтезом, и резерва биофильных элементов, необходимых для новых поколений, живого вещества.

За счет увеличения количества основных питательных элементов (азота и фосфора) и снижения токсичности тяжелых металлов появляются благоприятные условия для произрастания высших растений и формирования фитоценоза. Роль биотических факторов и скорость формирования ценозов всех уровней резко возрастают, что позволяет достичь конечной цели – создание устойчивой экосистемы при утилизации промышленно-бытовых отходов.

#### Библиографический список

1. Аникиев В.В., Лукомская К.А. Руководство к практическим занятиям по микробиологии: Учеб. Пособие для студентов. 2-е изд. – М.: Просвещение, 1983. – 127 с.
2. Артамонова В.С. Микробиологические особенности антропогенно преобразованных почв юго-востока Западной Сибири / Автореф. дисс. докт. биол. наук. – Новосибирск, 2000. – 32 с.
3. Игонин А.М. Дождевые черви. М.: Народное образование, НИИ школьных технологий, 2006. – 192 с.
4. Ильин В.Б., Степанова М.Д. Относительные показатели загрязнения в системе почва – растение // Почвоведение, 1979. № 11. – С. 61-67.
5. Методические указания по санитарно-биологическому исследованию почвы. – М.: Гл. сан.-эпидем. упр-ние, 1981. – 14 с.

6. Попова Л. Г., Михайлов Л. Н. Влияние осадков сточных вод на биологическую активность почвы // Вопросы экологии в интенсивных земледелиях Поволжья. – Саратов, 1990. – С. 75-77.

7. Приказ МПР России от 15.06.2001 № 511 «Об утверждении критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды».

УДК614.84 : 004.942

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ**

**Зубков И.Д.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Тряпицин А.Б.**

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

В работе изучены программы для моделирования пожаров, сделан вывод, какая из рассмотренных программ позволит наиболее точно оценить эффективность технических средств защиты от пожара, а, следовательно, предпочтительнее для использования в дальнейших исследованиях.

Ключевые слова: пожар, здание, модель, программа.

Для снижения ущерба от пожара в любом здании следует заранее разработать и предусмотреть возможный вариант его развития. Это позволит быстро и эффективно ликвидировать огонь ввиду знаний особенностей развития пожара и наиболее уязвимых пожару частей здания. Моделирование пожара носит двоякую цель: разработка профилактических мер по защите объекта от возгорания (установка специализированных систем, разработка противопожарного режима), ускоренная ликвидация огня при его возникновении. Достигнуть этой цели позволяет быстрое развитие компьютерных технологий.

Ликвидация пожара начинается с его локализации при обеспечении одновременной эвакуации материально-технических ценностей. Для анализа этого процесса применяют теоретические способы изучения пожара, базирующиеся на основе физико-математических наук, механики, материаловедения и пр. Тепломассообмен в зданиях позволяет линейным способом решить вопрос распространения пламени, хотя он и характеризуется определенными неточностями ввиду многофакторности и трёхмерности протекания процесса. Это является одним из интересных направлений тепло- и нелинейной физики ввиду невозможности соблюдения высокой точности математического моделирования данных процессов. Наиболее часто используемым является комплекс дифференциальных уравнений Навье-Стокса, описывающих сохранение импульса и массы в области гидроэромеханики. Но для полного описа-

ния динамики пожара следует добавить уравнения, связывающие энергию, температурно-плотностный фактор и давление в зоне поражения [1].

PyroSim является самым популярным программным обеспечением для быстрой и точной работы с Fire Dynamics Simulator (FDS).

Данная программа реализует тушение пожаров с помощью спринклеров, которые можно задать вручную и проверить, задав вручную данные.

PyroSim представляет собой графический пользовательский интерфейс для FDS, который позволяет быстро и удобно создавать, редактировать и анализировать сложные модели развития пожара. Стало возможным использовать интерактивную графику для проверки геометрии модели, заданных свойств материала и граничных условий перед началом счёта. Графическая информация могла быть сразу же выведена на экран для интерактивного контроля результатов решения.

PyroSim позволяет выполнить моделирование распространения опасных факторов пожара по полевой модели, построить поля опасных факторов и определить время блокирования путей эвакуации. Модель соответствует «Методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (утвержденной приказом МЧС России №382 от 30.09.2009, с учетом изменений, вносимых в методику приказом МЧС России №749 от 12.12.2011 и приказом МЧС России №632 от 02.12.2015), а также «Методике определения расчетных величин пожарного риска на промышленных объектах» (утвержденной приказом МЧС России № 404 от 10.07.2009). Программа FireRisk позволяет легко и быстро импортировать данные из PyroSim, узнать время блокирования расчетных точек опасными факторами пожара, построить и проанализировать графики и поля ОФП.

PyroSim позволяет импортировать из AutoCAD файлы в форматах DXF и DWG. При импорте 3D-границ преобразуются в препятствия, а остальные данные (линии, кривые и т.д.) – в независимые CAD-объекты. Левый слайд демонстрирует 3D-геометрию из DWG. Кроме того, PyroSim позволяет загружать изображения в формате GIF, JPG или PNG в качестве подложек, помогая быстро создавать объекты на их основе.

В PyroSim можно создавать и использовать библиотеки свойств для различных объектов.

Для удобства была создана библиотека реакций и поверхностей горения по материалам базы данных Ю.А. Кошмарова и пособия к методике расчета риска.

Встроенная программа для просмотра результатов расчета наглядно представляет распространение дыма, пламени, поля температуры и скоростей, и другие выходные данные расчетов FDS. Пользователь может создавать видео с результатами и даже устроить виртуальную экскурсию по модели. Результаты моделирования движения людей в Pathfinder можно просматривать совместно с визуализацией пожара [2]. Наиболее известная програм-

ма, реализующая полную полевую модель пожара в замкнутом помещении, является компьютерная программа FDS (Fire Dynamics Simulator), разработанная в 2005 году.

FDS реализует вычислительную гидродинамическую модель тепло-массопереноса при горении. Она считывает входные параметры из текстового файла, численно решает систему уравнений в частных производных, включающую уравнения сохранения массы, момента количества движения и энергии, по трехмерной регулярной прямоугольной сетке и записывает определенные пользователем выходные данные в соответствующие файлы, позволяя получить картину распространения дыма и теплопередачи при пожаре. Все создаваемые препятствия также должны быть прямоугольными, чтобы согласовываться с сеткой. В случае, когда рассчитываемый объем (домен) имеет неправильную форму и его сложно описать с помощью одной сетки, тогда можно использовать несколько сеток, с ячейками разных, но согласованных размеров и использовать составную сетку. Прямое численное моделирование можно выполнять, если лежащая в основе расчетная сетка достаточно точна. На всех твердых поверхностях задаются тепловые граничные условия, плюс данные о горючести материала [3].

PyrroSim – графический интерфейс для программы FDS. Программа упрощает ввод и анализ исходных данных, облегчает процесс построения 3D-модели здания, ввода его технико-планировочных характеристик и создание текстового файла отчета для программы FDS. SmokeView – программа, созданная для динамической визуализации данных расчета FDS. Она позволяет наглядно увидеть распространение дыма, пламени, поля температур и некоторых других рассчитываемых величин [4].

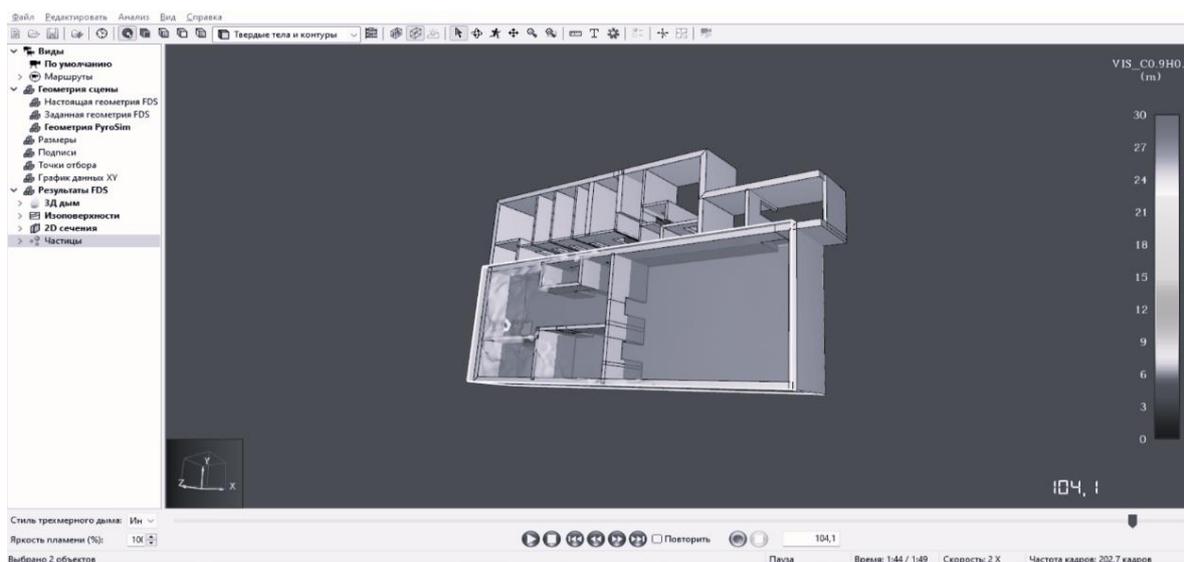


Рисунок 1 – Процесс горения в программе PyroSim

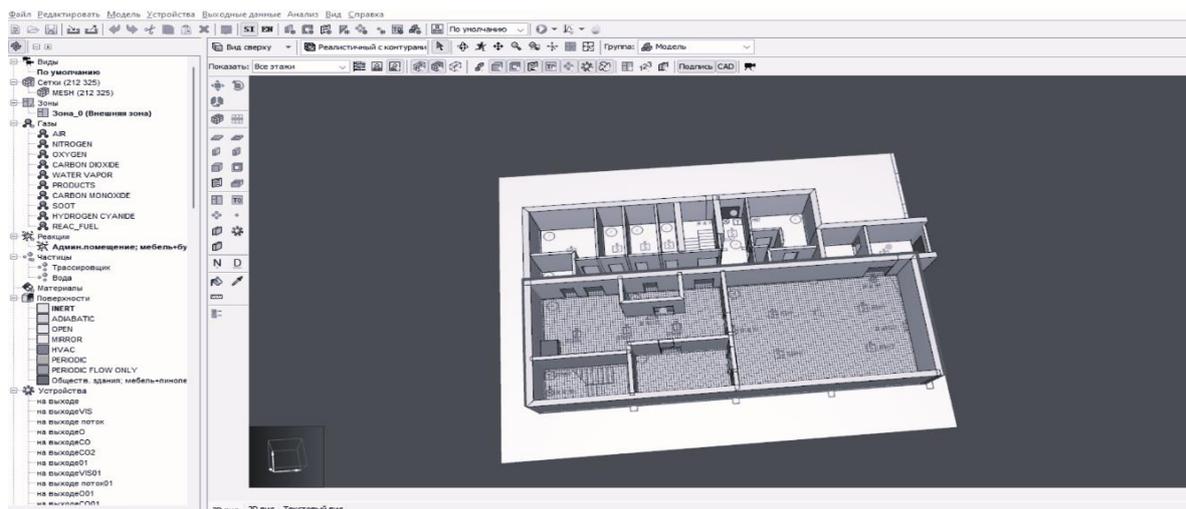


Рисунок 2 – Моделирование здания в программе Pygosim

Программа Ситис:Блок+ предназначена для выполнения следующих расчетов в области пожарной безопасности:

Расчет динамики развития опасных факторов пожара по двухзонной модели согласно приложению 6 "Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности", утвержденной приказом МЧС России №382 от 30.09.2009, с учетом изменений по приказу №749 от 12.12.2011

- определение критической продолжительности пожара, времени блокирования путей эвакуации;

- расчет категорий пожароопасности помещений (В1-В4) согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по пожарной опасности».

В Ситис:Блок+ можно учитывать установки автоматического пожаротушения, они влияют на время блокирования путей эвакуации, так как в методике расчета риска нет необходимости учитывать это более точно.

При расчете категорий пожароопасности помещений пользователь моделирует участки нагрузки в помещениях, используя встроенный графический редактор, задает материалы на каждом участке нагрузки, используя базу данных материалов – программу СИТИС: Инфо, которая входит в комплект поставки. С программой поставляется база данных по справочнику СИТИС-СПН-1 «Пожарная нагрузка», обобщающему данные из отечественных и зарубежных источников. Расчет категорий выполняется в интерактивном режиме, пользователь может легко отслеживать изменения категории при изменении исходных данных (количество и состав материалов, расположение и геометрия участков нагрузки). Программа обеспечивает возможность создания нескольких расчетных сценариев.

Программа работает с единым файлом проекта в составе комплекса программ СИТИС для расчета пожарного риска, что позволяет оформлять

итоговый отчет по определению расчетной величины пожарного риска по всем сценариям, с обобщением результатов расчетов по другим моделям ОФП и моделям эвакуации.

Предусмотрена 2D/3D анимация распространения опасных факторов пожара с возможностью пошагового просмотра, построение графиков развития опасных факторов пожара с указанием предельных значений.

Формирование отчета, включающего исходные данные, таблицу времени наступления критических значений ОФП для каждой расчетной точки, графики. При расчете категорий отчет включает себя подробные таблицы с описанием участков нагрузки, расчет категорий. Отчет может быть сохранен в редактируемом формате RTF для последующей доработки в текстовых редакторах [5].

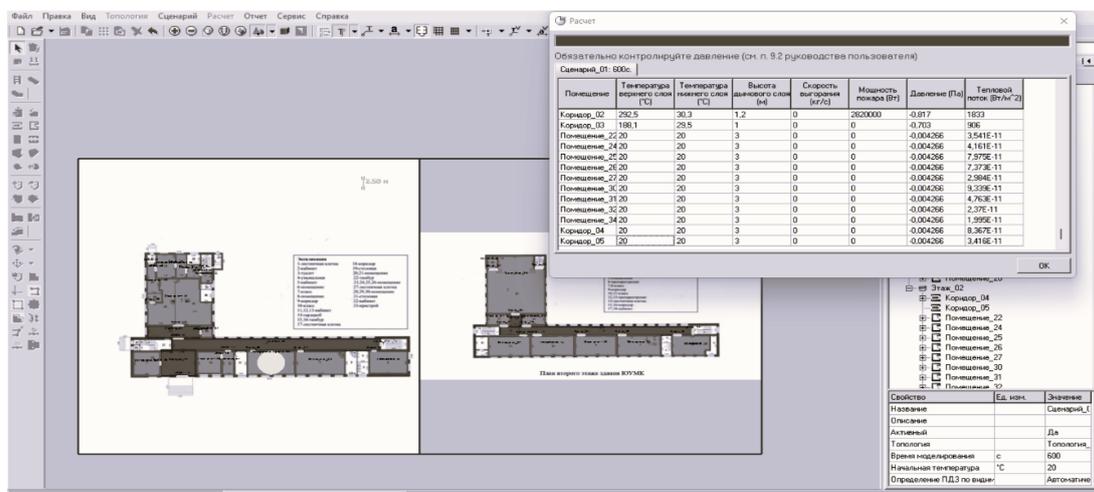


Рисунок 3 – Расчет опасных факторов пожара в программе Ситис Блок

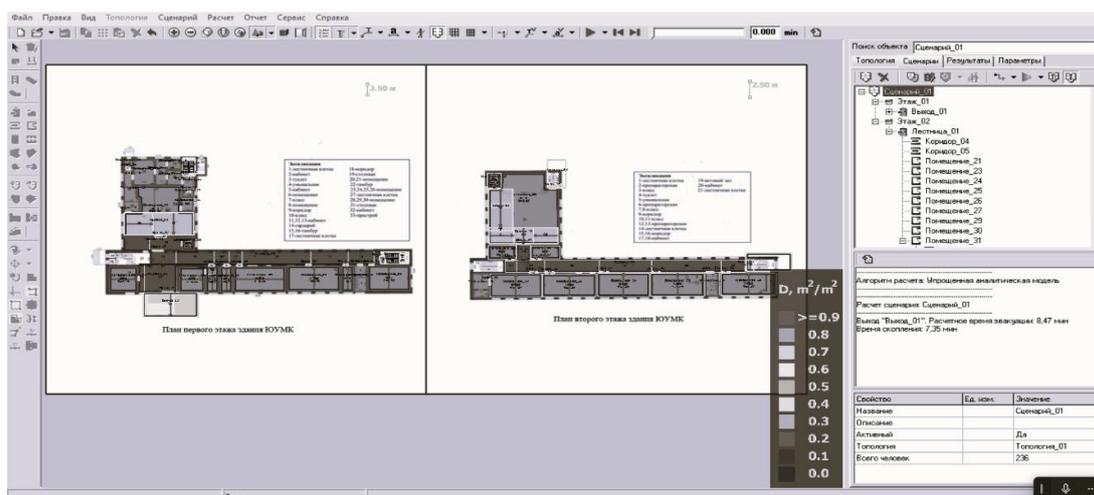


Рисунок 4 – Расчет блокировки путей эвакуации в программе Ситис Блок

Таким образом стоит выбирать программу Pyrosim, благодаря расширенному функционалу и имея дифференциальную модель, можно получить более точные и наглядные выходные данные.

## Библиографический список

1. Электронный ресурс.- Режим доступа: [pojarunet.ru](http://pojarunet.ru).
2. Smokeview, A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data Volume II: Technical Reference Guide Glenn P. Forney
3. Недрышкин О. В., Гравит М. В. Программные комплексы моделирования опасных факторов пожара // Пожарная безопасность. 2018. № 2. С. 38–46.].
4. Электронный ресурс.- Режим доступа: Официальный сайт [rygosim.ru](http://rygosim.ru).
5. Рекомендации по использованию программного обеспечения СИТИС для расчета индивидуального пожарного риска. Редакция 3–2010.

УДК 614.84

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБРОВОЛЬНЫХ ПОЖАРНЫХ ДРУЖИН, ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИСПОСОБЛЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

**Огурцов Д.А., Теплых М.Ю.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Тряпицын А.Б.**

*Южно-Уральский государственный университет,  
г. Челябинск, e-mail: [okpo74@yandex.ru](mailto:okpo74@yandex.ru)*

В статье рассмотрены перспективы создания приспособленного транспортного средства на базе трицикла для подразделений добровольной пожарной охраны с целью уменьшения времени реагирования подразделения на пожар и повышения эффективности применения сил и средств в тушении пожаров.

Ключевые слова: тушение пожаров, добровольная дружина, транспортное средство, пожарный модуль, мотопомпа.

Обеспечение пожарной безопасности является одной из важнейших задач, стоящих перед руководителями органов местного самоуправления и различных предприятий. Защита жизней людей и материального имущества является основной деятельностью всех видов пожарной охраны, в том числе добровольной.

Правовые основы создания и деятельности добровольной пожарной охраны были заложены с принятием Федерального закона от 6 мая 2011 г. № 100-ФЗ «О добровольной пожарной охране» [1] (далее – закон). Он определил статус подразделений, порядок организации службы и статуса работников и добровольных пожарных.

Согласно пункта 3 статьи 2 закона, добровольная пожарная дружина

является территориальным или объектовым подразделением добровольной пожарной охраны, принимающее участие в профилактике пожаров и (или) участие в тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ, оснащенное первичными средствами пожаротушения, пожарными мотопомпами и не имеющее на вооружении пожарных автомобилей и приспособленных для тушения пожаров технических средств [1].

Обеспечение аварийно-спасательным и пожарным оборудованием, средствами защиты личного состава регламентировано национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р 58853-2020 «Добровольная пожарная охрана. Общие требования»[2]. Наличие мотопомпы и иного пожарно-технического вооружения, в том числе резерва воды на безводных территориях, влечёт за собой потребность по доставке оборудования к месту пожара.

Реализация задачи по перемещению добровольной пожарной дружины вызывает наибольшие трудности у территориальных подразделений, ввиду отсутствия регламентирующих документов, устанавливающих границы района действия подразделения по временному интервалу.

В этом случае, добровольным пожарным необходимо переносить инвентарь с помощью ручной силы на протяженные расстояния, ограниченные населенным пунктом и его близлежащими территориями.

Трудности по доставке личного состава и средств тушения пожара к месту происшествя в совокупности с отсутствием ответственности, связанной исполнением порядка привлечения сил и средств подразделений пожарной охраны, значительно снижают эффективность данных подразделений и ограничивают возможность их участия в тушении как техногенных, в особенности, лесных и ландшафтных пожаров.

Статистические данные МЧС России подтверждают актуальность данной проблемы. К примеру, в Челябинской области за 2021 год привлечение добровольных пожарных дружин к тушению пожаров и ликвидации их последствий составило 54 раза, что составляет 4,37 % от общего количества привлечения добровольной пожарной охраны.

В качестве решения данной проблемы необходимо рассмотреть вопрос по оснащению добровольных пожарных универсальными модулями пожаротушения с возможностью установки в грузовой отсек транспортного средства либо прицепа.

На сегодняшний день в Российской Федерации имеются разработки мобильные пожарные установки на базе одноосных прицепов. Пожарный модуль «СПАС» предназначен для добровольной пожарной охраны в сельских поселениях, дачных кооперативах, садоводческих товариществах представлен на рисунке 1 предназначен для добровольной пожарной охраны в сельских поселениях, дачных кооперативах, садоводческих товариществах.

Однако, возможность применения данного модуля ограничена исходя из рекомендуемых производителем параметров по буксировке прицепа. Буксировка модуля может производиться полноприводными автомобилями по-

вышенной грузоподъемности (УАЗ 3909, «Газель», «Нива») [3], распространение которых в типовых местах дислокации дружин значительно меньше типовых легковых автомобилей. Также, полная стоимость данного прицепа по состоянию на апрель 2022 года составляет более 700 тысяч рублей, что сопоставимо стоимости поддержанного пожарного автомобиля [4].



Рисунок 1 – Пожарный модуль «СПАС»

Комплектация данного модуля представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Комплект оборудования пожарного модуля

Прицеп, шт.	1
Емкость 1000 л, шт.	1
Мотопомпа (600 л/мин) шт.	1
Лом, шт	2
Топор, шт	2
Багор, шт	1
Лопата штыковая, шт	2
Полотнище противопожарное (1,5x1 м), шт	1
Ранцевый огнетушитель РОС, шт.	2
Огнетушитель ОП-5, шт.	4
Каска, шт.	2
Газодымозащитный комплект, шт	2
Канистра стальная 10 л. для ГСМ, шт.	1
Рукава напорные: $\varnothing 50$ — 20 м, шт.	4
Канистра пластиковая для пенообразователя 20 л, шт.	2
Рукав всасывающий, шт.	1
Ствол пожарный РСК-50А, шт.	1
Ствол пожарный РМ-50, шт.	1
Комплект диэлектрический (перчатки), шт.	1
Аптечка медицинская, шт.	1
Сменное сцепное устройство, шт.	1

Проанализировав технические характеристики, следует отметить наличие возможности по повышению эффективности мобильной пожарной установки. Для достижения поставленной задачи рекомендуется заменить прицеп на самоходное транспортное средство типа грузовой трицикл грузоподъемностью 750 кг, представленный на рисунке 2.



Рисунок 2 – Грузовой трицикл Lifan Agiax

Для соблюдения массогабаритных параметров, произвести замену ёмкости для хранения воды, снизив перевозимый объем до 350 литров. Согласно методики по определению основных геометрических параметров пожара и необходимого количества огнетушащих средств для тушения пожара [5], при интенсивности подачи воды  $0,1 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}$ , линейной скорости распространения огня  $0,5 \text{ м/минуту}$ , и своевременном прибытии подразделения в пределах населённого пункта (до 10 минут), данного объема воды будет достаточно для локализации горения.

Кроме того, трицикл обладает лучшей маневренностью при подъездах к водисточнику для дозаправки и выгрузки оборудования у места происшествия по причине меньшего, чем у автомобиля с прицепом, радиуса поворота.

Розничная цена трицикла на апрель 2022 года составляет в среднем 200 000 рублей [6]. Укомплектование пожарно-техническим вооружением может быть произведено исходя из имеющегося оборудования (мотопомпы, стволы, БОП) в подразделении добровольной пожарной охраны и требует минимальных затрат.

При этом возможно самостоятельное создание приспособленных транспортных средств для тушения пожаров, так как это не является лицензируемым видом деятельности и не регламентируется нормативно-правовыми актами, что дополнительно снижает общую стоимость для применения данного решения при решении вопросов обеспечения пожарной безопасности населенных пунктов.

Использование предложенной модели по созданию оперативного транспортного средства для тушения пожаров для обеспечения добровольных пожарных дружин является перспективным и сможет позволить снизить

причиняемый ущерб от стихии.

#### Библиографический список

1. Российская Федерация. Законы. О добровольной пожарной охране : федер. закон от 06 мая 2011 г. // Российская газета. – 2011.
2. ГОСТ Р 58853-2020 Производственные услуги. Добровольная пожарная охрана. Общие требования. – Введ. 2020-07-01. – М. : Стандартинформ, 2020. – 32 с.
3. Пожарный модуль "СПАС" [Электронный ресурс]. URL: <http://ural.prom-rus.com/cat-kommunalnaya-tehnika/oborydovanie-i-tehnika-rojarnaya/29083/> (Дата обращения: 08.04.2022).
4. Прицеп Славич 325Д двухосный // Магазин Прицепов URL: <https://magazinpricerov.ru/priceri/pricer-slavich-325d-dvuhosnik-s-tentom> (дата обращения: 08.04.2022).
5. В.В. Терехнёв, А.В. Подгрушный Пожарная тактика. – Екатеринбург.: Изд. «Дом Калан» 2007. – 538с.
6. Грузовой трицикл АЯКС 250 // SteelRacing URL: <https://steelracing.ru/tovar/tritsikl-gruzovoj-ayaks-250-vodyanka/> (дата обращения: 08.04.2022).

УДК 628.54:669.18

### **ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ УСТАНОВКИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ШЛАМА НА УМЕНЬШЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**Синило А.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Коротков С.Г.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: sinilo\_av@mail.ru*

Рассмотрена динамика уменьшения отходов металлургического производства, отправляемых на шламохранилище, после введения в эксплуатацию установки обезвоживания шлама.

Ключевые слова: черная металлургия, отходы металлургического производства, шлам, обезвоживание шлама.

Металлургическое производство несет большую опасность для окружающей среды своими выбросами и отходами, образующимися при технологических процессах. Для складирования их требуются хранилища, имеющие не только значительную площадь, но и удовлетворяющие условиям охраны окружающей среды. Постоянное увеличение объемов шламовых отходов, приводит к трансформации всех компонентов окружающей среды. В

настоящее время, одним из важных направлений развития металлургии, является возрастающее использование отходов черных и цветных металлов в качестве вторичного сырья.

В 2013 году для АО «ЕВРАЗ ЗСМК» выполнен проект на установку обезвоживания шламов (УОШ) газоочисток кислородно-конвертерного цеха №1 (ККЦ-1). Она размещена в свободном помещении под действующим радиальным отстойником и спроектирована с целью возврата осветленной воды в оборотный цикл газоочисток для уменьшения подпитки, а также для получения в процессе обезвоживания сухого порошкообразного металлического шлама [1].

Загрязненные сточные воды ККЦ не сбрасываются в естественные водоемы, так как используются в оборотном водоснабжении. На рисунке 1 показана одна из таких систем. Вода с ККЦ-1 проходит через станцию пескоулавливания, где осаждаются и отправляются прямо на шламохранилище наибольшие фракции. Далее вода попадает на станцию блока очистных сооружений (БОС), там она очищается от вредных примесей в радиальных отстойниках, охлаждается на градирнях и вновь поступает в технологический цикл. Обезвоженный шлам частично возвращается в производство через аглофабрику, а часть отправляется на шламохранилище. Образование шлама происходит в системе газоочистки конвертерных газов. В настоящее время стандартной является следующая схема технологического обращения со шламами (рисунок 1).

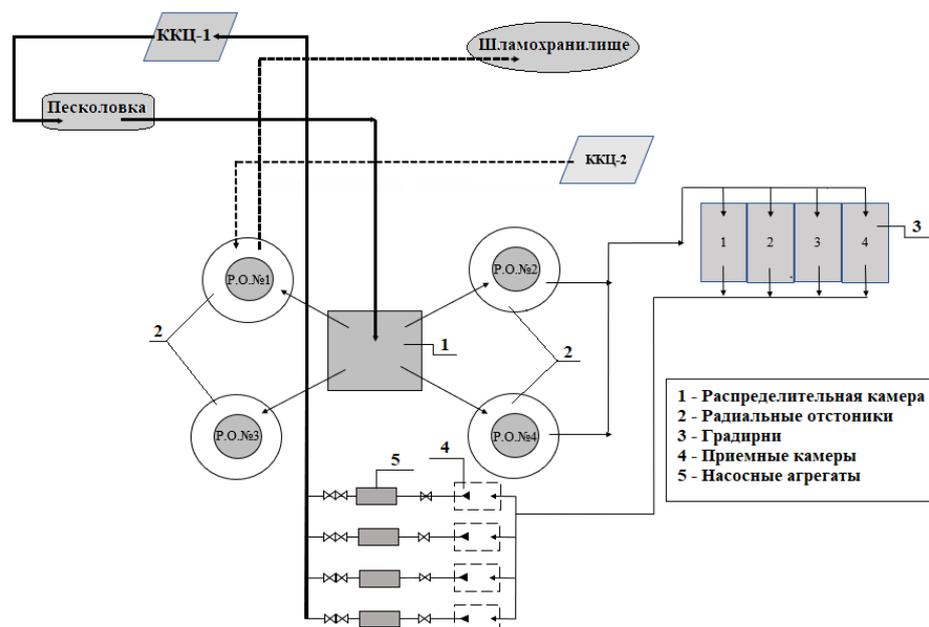


Рисунок 1 – Схема системы оборотного водоснабжения

Осветленная вода, подающаяся на очистку газов в ККЦ-1, вновь загрязненная возвращается в оборотный цикл, на насосную станцию, состоящую из четырех радиальных отстойников (Р.О.) №1,2,3,4. Возвращается вода по двум шламопроводам Ø800 в распределительную камеру, а оттуда са-

мотеком распределяется по двум из четырех радиальным отстойникам. В Р.О.№1 подается загрязненная вода с ККЦ-2, и по шламопроводам Ø800 уходит на шламохранилище. Из Р.О.№2,4 осветленная вода самотеком идет по трубам Ø400 и распределяется (в летнее время года через водоразбрызгивающие форсунки, в зимнее время года – через гусаки) в 2-х секционные градирни №1,2. На градирнях вода остужается, и самотеком по трубам Ø600 подается в приемные камеры, из которых насосными агрегатами Д1250-125 №10,20,30,40, работающих по парно (например н/а №10 и №30 или №20 и №40), подается под давлением в два водовода Ø600 на газоочистки ККЦ-1 [2]. В Р.О.№2,4 выпавший осадок сгребается скребковой системой вращающейся фермы к центральному приемку, а из него по всасывающим трубопроводам подается в Р.О.№3. Там происходит сгущение шламовой пульпы при помощи коагулянтов, и также сгребается скребковой фермой к центральному приемку. Самотеком, пульповая гуща попадает на вакуум-фильтр, там суспензия шлама фильтруется, происходит отделение шлама от воды и его подсушка. Подсушенная гуща оседает на полотне вакуум-фильтра и срезается, попадая на шнековый конвейер, по цепочке конвейера идет в сушильный барабан, где шламовая паста сушится, а после, гранулированный шлам высыпается на конвейер и отправляется потребителю. Технология обезвоживания шламов ККЦ-1 представлена схемой на рисунке 2 [3].

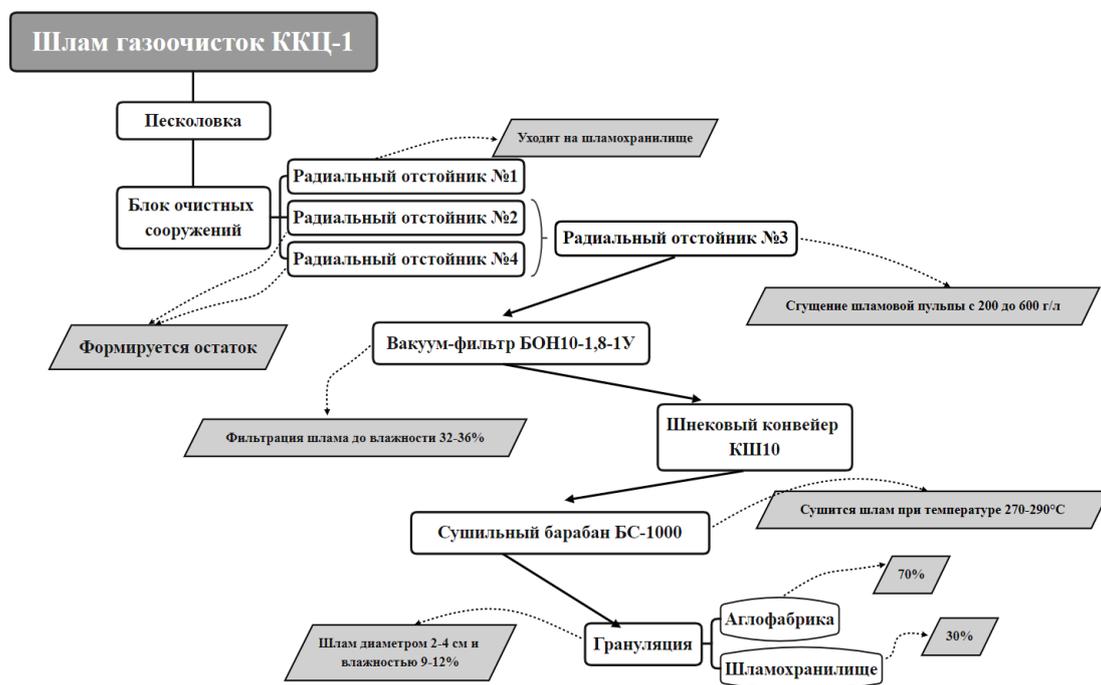


Рисунок 2 – Технология обезвоживания шламов ККЦ-1

Производительность установки составляет 30-40 тонн сухого порошка в сутки. Около 30 % гранулированного шлама идет на шламохранилище, а около 70 % отправляется на аглофабрику, для использования в качестве добавки к агломерационной шихте. Исходя из этого видно, что ежедневно

объем шламохранилища увеличивается на 12 тонн, а 28 тонн гранулированного шлама вторично перерабатывается. Шламохранилище АО «ЕВРАЗ ЗСМК» введено в эксплуатацию в 1964г и имеет лицензию на осуществление деятельности по сбору, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов I – IV классов опасности. На 2018 год в нем накоплено около 2,7 млн тонн железосодержащих шламов [1].

Основными факторами, влияющими на уровень загрязнения являются интенсивность антропогенного воздействия на территорию, рельеф местности, определяющие накопление и рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере. До введения в эксплуатацию установки обезвреживания шлама ухудшение экологической обстановки было значительное.

Для лучшего представления экологической ситуации на территории, представлены гистограммы (рисунок 3, 4), где показаны объём и масса отходов, уложенных в чашу шламохранилища до внедрения УОШ и после.

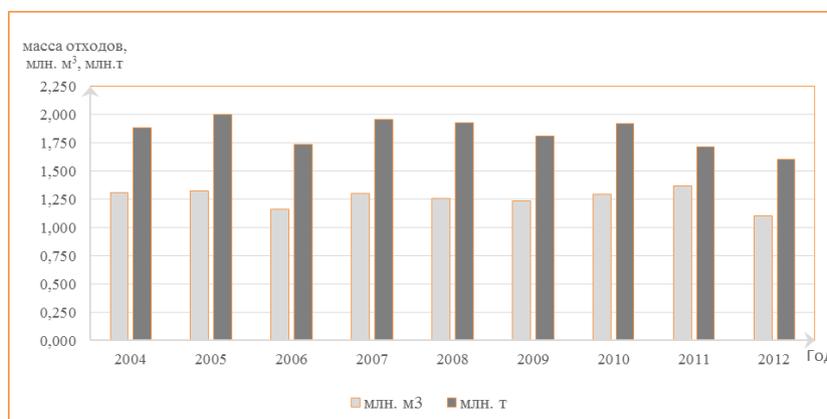


Рисунок 3 – Объём и масса отходов, уложенных в чашу шламохранилища до внедрения УОШ период 2004 – 2012 г.г.

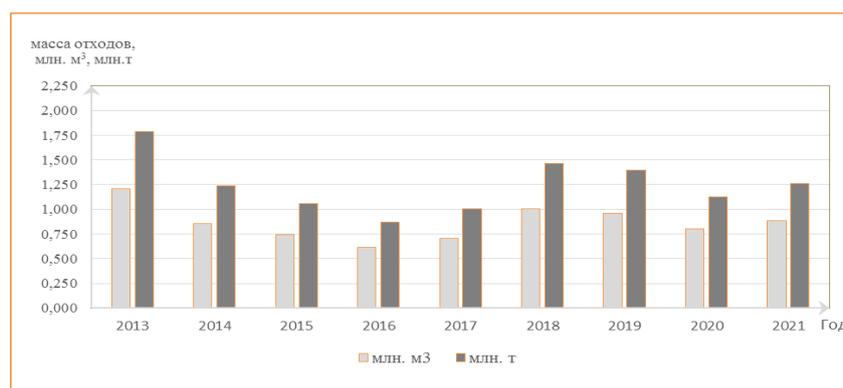


Рисунок 4 – Объём и масса отходов, уложенных в чашу шламохранилища после внедрения УОШ в период 2013-2021 г.г.

Из приведенных рисунков следует, что наблюдается положительная динамика в сокращении складирования шлама. С 2013 года, с введением установки в работу, количество шлама уменьшилось по объему и массе в среднем на 32 %.

## Библиографический список

1. Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В. Исследование физико-химических характеристик оксиджелезосодержащего техногенного сырья. Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018;(9):107-112с.

2. Амелин А.В. Производственно-техническая инструкция. Эксплуатация и обслуживание станции блока очистных сооружений цеха водоснабжения и водоотведения. ЕРАЗ ЗСМК, Новокузнецк, – 2019. – 37с.

3. Амелин А.В. Производственно-техническая инструкция. Эксплуатация и обслуживание участка обезвоживания шлама цеха водоснабжения и водоотведения. ЕРАЗ ЗСМК, Новокузнецк – 2019 – 32с.

УДК 628.544:669.18

## **ВАРИАНТ УТИЛИЗАЦИИ ШЛАМА ГАЗООЧИСТОК КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ**

**Синило А.В.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Коротков С.Г.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: sinilo\_av@mail.ru*

Рассмотрен вариант утилизации шламов кислородно-конвертерного цеха производства стали.

Ключевые слова: сталеплавильный шлам, физико-химические свойства шламов, утилизация.

Шламы металлургического производства оказывают негативное влияние на окружающую среду. Полного устранения проблемы достигнуть сложно, но имеются варианты ее снижения. Для этого необходимо изучить и проанализировать химический состав шламов.

В шламе, достаточно окисленная среда, а присутствие свободного углерода будет способствовать активации процессов гидратации сталеплавильных шламов. По результатам физико-химического анализа можно рассмотреть способ его утилизации на основе работы [1]. Она относится к строительству и может быть использована для сооружения земляного полотна и устройства укрепленных дорожных оснований на дорогах I-V категорий. Укрепленный глинистый грунт содержит связный грунт – суглинки или глины, вяжущее – смесь конвертерного шлака со шламом в соотношении 9:1, и воду для обеспечения требуемой влажности, оптимальной для уплотнения, причем массовое соотношение грунта к вяжущему находится в диапазоне от 1:9 до 9:1.

В эксперименте использовали [1]:

- Конвертерный шлак химического состава, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 30,0-40,0;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 4,0-20,0;  $\text{FeO}$  – 0,1-2,0;  $\text{MgO}$  – 3,0-10,0;  $\text{CaO}$  – 30,0-50,0;  $\text{MnO}$  – 0,5-2,0;  $\text{SO}_3$  – 0,4-2,5.

- Конвертерный шлам химического состава, мас. %:  $\text{C}_{\text{общ}}$  – 10,4;  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  – 60,0;  $\text{SiO}_2$  – 10,9;  $\text{CaO}$  – 10,5;  $\text{MgO}$  – 2,3;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,8;  $\text{MnO}$  – 0,3;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,8;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,79;  $\text{Zn}_{\text{общ}}$  – 0,01;  $\text{S}_{\text{общ}}$  – 0,4; прочие побочные примеси – 1,8.

- Тяжелый пылеватый суглинок с естественной влажностью от 4 до 6 %, числом пластичности равным 15, и содержанием песчаных частиц в количестве 35% по массе.

Содержание мелкодисперсных фаз в составе конвертерного шлама способствует получению более оптимального гранулометрического состава для укрепленного суглинистого грунта, по сравнению с чистым сталеплавильным шлаком. При этом наличие свободного углерода в составе первого выполняет роль активного компонента системы вяжущего, оказывающего существенное влияние на формирование активных центров кристаллизации при гидратации шлаков. Для экспериментального определения рациональных дозировок вяжущего и грунта испытывались 3 серии композиций, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Составы смесей для укрепления суглинистого грунта

№ Серии	Глинистый грунт, кг	Шлак, кг	Шлам, кг	Вода, л
Состав I	9,0	0,9	0,1	1,6
Состав II	5,0	4,5	0,5	1,4
Состав III	1,0	8,1	0,9	1,0

Приготовление укрепленного грунта смесью шлака со шламом, происходит следующим образом. Глинистый грунт предварительно высушивается в сушильном шкафу при температуре  $100 \pm 5^\circ\text{C}$  до постоянной массы и отweighивается в емкость в количестве 10,0 кг, необходимом для определения физико-механических показателей грунта. Затем грунт разрыхляется до однородного состояния, с максимальным размером кусков до 10 мм, и добавляется требуемое количество смеси шлака со шламом, в соответствии с составами представленными в таблице 2. Количество воды варьируется в зависимости от соотношения шлама и грунта, что обеспечивает требуемую оптимальную влажность. Полученная смесь тщательно перемешивается до однородности, и подготавливается к непосредственному укреплению грунтов, двумя способами:

1) в стационарной смесительной установке с последующей вывозкой смеси к месту укладки;

2) грунтосмесительными машинами непосредственно на автомобильной дороге.

При укреплении грунтов шламом в стационарной смесительной установке, используется комплект высокопроизводительных машин типа ДС-100. Смесь приготавливается в карьерной смесительной установке типа ДС-50А или на бетонном заводе. Готовая смесь грунта, укрепленного шламом, вывозится на дорогу, распределяется и профилируется автогрейдером.

При укреплении грунтов шламом непосредственно на дороге, слой грунта, подлежащий укреплению, профилируется автогрейдером. Затем проводится предварительное рыхление и размельчение грунтовых агрегатов с помощью дорожной фрезы Д-530, далее точное дозирование и равномерное распределение в массе обрабатываемого грунта воды. При этом при влажности грунта, превышающей оптимальную, он просушивается последовательными проходами фрезы. Затем распределителем Д-343Б вводится в грунт шлам. Смешивание влажного грунта со шламом осуществляется дорожной фрезой за 3-4 прохода по одному следу. Готовая грунтовая смесь профилируется автогрейдером.

Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические показатели укрепленного суглинистого грунта

№ серии	Соотношение компонентов В : Г	Плотность кг/см <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, кг/см <sup>2</sup>	Водонасыщение, %	Коэффициент морозостойкости после 25 циклов замораживания и оттаивания
Состав I	1:9	2240	18,2	4,5	0,60
Состав II	5:5	2250	29,1	3,2	0,88
Состав III	9:1	2250	24,2	3,9	0,77

Схема приготовления смеси укрепления грунтов шламом представлена на рисунке 1.

Укрепление грунта вяжущим на основе смеси сталеплавильного шлака с конвертерным шламом в отношении 9:1 при массовом соотношении грунта к вяжущему 5:5 позволяет получить укрепленный глинистый грунт с максимальной прочностью и морозостойкостью при минимальном водонасыщении (состав II).

Технический результат – расширение сырьевой базы получения и повышения прочности, морозостойкости и однородности укрепленного глинистого грунта, пригодного для устройства укрепленных дорожных оснований на дорогах I-V категорий, а также утилизация отходов, образующихся при производстве стали, снижение стоимости материала по сравнению со стандартным цементогрунтом по ГОСТ 23558-94 [2].

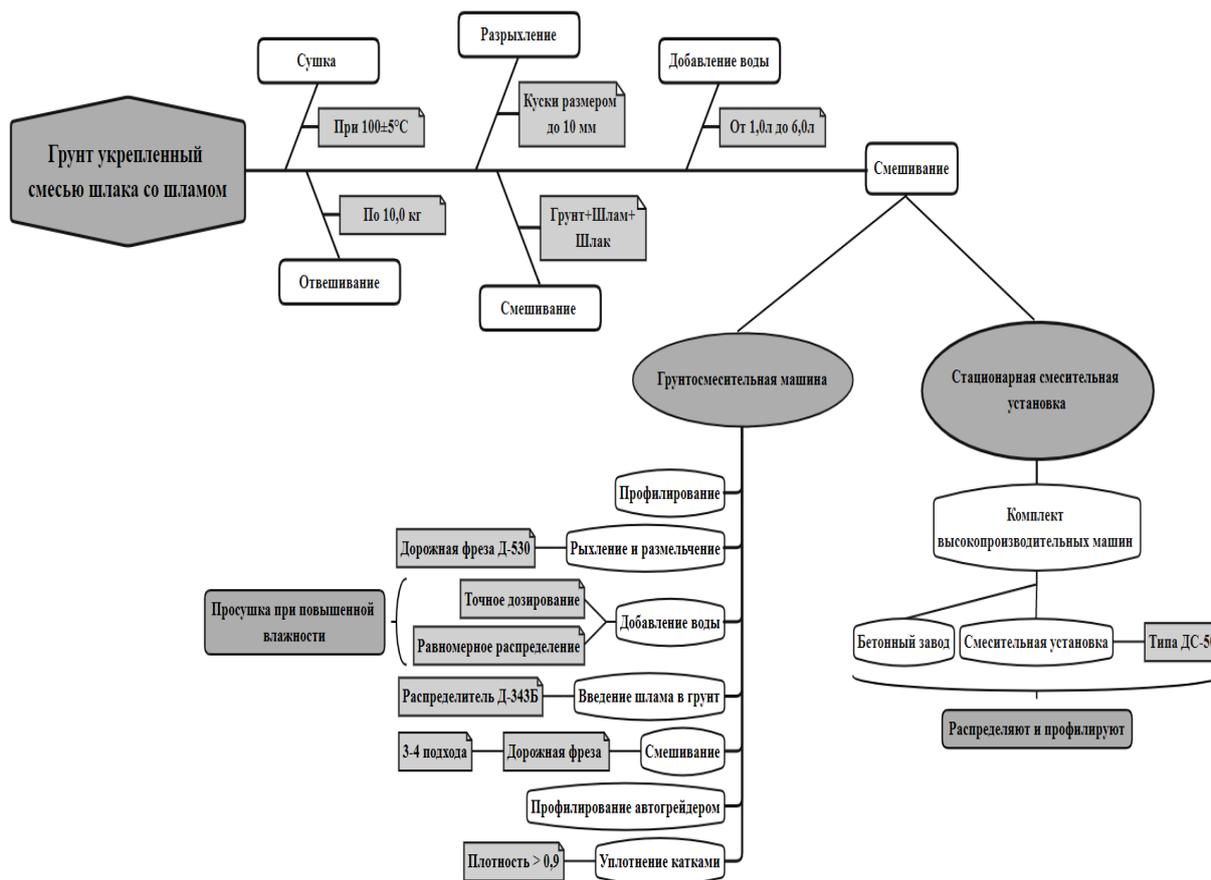


Рисунок 1 – Технологическая схема приготовления смеси и укрепления грунтов

В заключение можно сделать вывод о том, что экспериментально установленный вариант использования отходов сталеплавильного производства, является одним из немногих, который можно применять с наименьшим ущербом для экологии.

#### Библиографический список

1. Пат. 2621802С1 Российская Федерация, МПК E02D3/12 C04B28/08C04B111/20. Укрепленный глинистый грунт/ В.Б. Черногиль; заявитель и патентообладатель. – № 2016116124; заявл. 25.04.16; опубл. 07.06.17.

2. ГОСТ 23558-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. — введ. 1995-01-01.— м. : стандартиформ, 2005. – 13 с.

## ТЕХНОЛОГИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО ОБОГАЩЕНИЯ НА АБАГУРСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ

**Захарова М.А., Костин К.В., Шаньшина Е.В., Нелепа Н.Ю.**  
**Научный руководитель: д-р с.-х. наук, профессор Водолеев А.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: marina-shentsova@mail.ru*

Рассмотрена проблема обогащения отходов железорудного обогащения Абагурской обогатительной фабрики. Проанализирована история открытия тионовых бактерий участвующих в окислении двухвалентного железа. Показана возможность использования техногенного сырья хвостохранилища для металлургической отрасли, изготовления строительных материалов и производства удобрений.

Ключевые слова: литотрофия, тионовые бактерии, хемосинтетики, кучное выщелачивание, биогидрометаллургия, извлечение металлов, сульфидные минералы железа.

Русский ученый С.Н. Виноградский в конце XIX в. Впервые сформулировал концепцию литотрофии. Бесспорно, что его исследования стимулировали изучение роли микроорганизмов в круговороте серы и других элементов в природе.

В 1921-1922 гг. В. Рудольф и А. Хельброннер впервые провели исследования на рудниках, которые показали, что некоторые неидентифицированные сероокисляющие микроорганизмы способны окислят пирит и сульфиды цинка.

В это же время С.А. Ваксман и Дж. С. Джоффи выделил автотрофные ацидофильные микроорганизмы *Thiobacillus thiooxidans* (ныне *Acidithiobacillus thiooxidans*), окисляющий серу и ряд ее восстановленных соединений до серной кислоты. Предположения о возможной роли бактерий в образовании серной кислоты в шахтных водах в угольных месторождениях впервые были вызваны Л. Карпентором и Дж. Херндоном в 1933 г., однако биологическая природа этого процесса экспериментально ими не была установлена. Первые доказательства биологического окисления закисного железа при низких pH были получены А. Р. Колмером и М. Хинклем в 1947 г. Они выделили чистую культуру бактерий *Thiobacillus ferrooxidans* (ныне *Acidithiobacillus ferrooxidans*), ответственных за окисление  $Fe^{2+}$  в шахтных водах. В настоящее время известен ряд хемолитотрофных бактерий, важных для биогидрометаллургии. Перечень хемолитотрофных бактерий, окисляющих  $Fe^{2+}$ ,  $S^{2-}$ ,  $S^0$  и сульфидные минералы, приведенные в таблице 1 [1].

Естественно, что скорость окислительных процессов зависит от того, насколько условия благоприятны для бактерий. Представляют интерес ацидофильные гетеротрофные бактерии *Acidiphilium cryptum*, *As. Angustum*, *As. Rubrum* и *As. Facilius*. Они способствуют выщелачиванию металлов хемолитотрофными бактериями [2].

Таблица 1 – Микроорганизмы – участники биогидрометаллургии

Микроорганизмы	Источники энергии	Оптимальные условия жизнедеятельности (пределы)
<p>Грамоотрицательные бактерии:</p> <p><i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> <i>Leptospirillum ferrooxidans</i></p> <p><i>A. thiooxidans</i></p> <p><i>A. caldus</i></p>	<p>Сульфидные минералы <math>Fe^{2+}</math>, <math>S^0</math> <math>Fe^{2+}</math>, <math>FeS_2</math></p> <p><math>S^0</math> (<math>S^{2-}</math>)</p> <p><math>S^0</math> (<math>S^{2-}</math>)</p>	<p>pH 1,7 – 2,0 (1,0-5,5); 30 - 35°C (2 - 40°C); <math>O_2</math></p> <p>pH 2,0 – 2,5 (1,0 – 4,0); 30 - 45°C (2 - 50°C); <math>O_2</math></p> <p>pH 2,0 -2,5 (0,5 – 6,0); 30°C (2 – 40 °C); pH 1,7-2,4 (1,1-5,0) 48-50°C(30-52°C); <math>O_2</math></p>
<p>Грамположительные бактерии</p> <p><i>Sulfobacillus:</i> <i>S.thermosulfidooxidans;</i> <i>S. acidophilus</i></p>	<p><math>Fe^{2+}</math>, <math>S^0</math> (<math>S^{2-}</math>), сульфидные минералы в присутствии органических веществ или без них в сообществе с хемолитотрофными бактериями</p>	<p>pH 1,7 – 2,4 ( 1,1 – 5,0); 48- 50°C (20 - 60°C); <math>O_2</math></p>
<p>Археи:</p> <p><i>Acidianus brierleyi</i></p> <p><i>Metallosphaera sedula</i></p> <p><i>Sulfolobus metallicus</i></p> <p><i>Ferroplasma acidiphilum</i></p>	<p><math>Fe^{2+}</math>, <math>S^0</math> (<math>S^{2-}</math>), сульфидные минералы в присутствии дрожжевого автолизара</p> <p>То же</p> <p>Строгий автотроф, <math>S^0</math>, сульфидные минералы, <math>Fe^{2+}</math></p> <p><math>Fe^{2+}</math>, <math>FeS_2</math></p>	<p>pH 1,5 – 2,0; 70 °C (45 - 75°C); <math>O_2</math></p> <p>pH 1,0 – 4,5; 75 °C (50 - 80°C); <math>O_2</math></p> <p>pH 1,0 – 4,5; (50 - 75°C); <math>O_2</math></p> <p>pH 1,7 – 1,8(1,3 – 2,2) 35°C (15 - 45°C); <math>O_2</math></p>

Материал хвостохранилища Абагурской аглофабрики характеризуется повышенным содержанием железа и других элементов. В таблицах 2 – 4 представлен химический, микроэлементный и минералогический состав хвостов. Их фракционный состав подвержен значительному изменению

в процессе дренажа и последующих ветровой и водной эрозии в сторону снижения содержания мелких частиц в приповерхностном слое хвостохранилища. Механический состав хвостов характеризуется содержанием фракций физической глины – менее 3,5 %. Объемный вес материала – 1,7 т/м<sup>3</sup>, удельный вес – 3,1 г/см<sup>3</sup>, общая порозность – 46,1 %, максимальная гигроскопичность – 1,79 %.

Таблица 2 – Химический состав хвостов Абагурской обогатительной фабрики [3]

Химический состав, %	
SiO <sub>2</sub>	32,5
Fe <sub>общ</sub>	14
FeO	6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,4
CaO	13
MgO	10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7
S <sub>общ</sub>	4
MnO	0,5
Na <sub>2</sub> O	0,45
K <sub>2</sub> O	0,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,38
TiO <sub>2</sub>	0,34

Таблица 3 – Микроэлементный состав хвостов Абагурской обогатительной фабрики

Микроэлементный состав, %					
Cu	Zn	Pb	Cd	Co	Mo
0,0082	0,00046	0,00010	0,00005	0,000025	0,000020

Таблица 4 – Минералогический состав хвостов Абагурской обогатительной фабрики [15]

Наименование минералов	Содержание, %
Пироксены	26 – 40
Магнетит	6 – 9
Пирит	4 – 5
Кварц	4 – 8
Полевой шпат	6 – 13
Кальцит	1 – 8
Мемонтизированные обломки	6 – 9
Эпидот	2 – 4
Гранат	3 – 4
Апатит	0,1 – 0,6

Анализ гранулометрического, микроэлементного, минерального и химического состава отходов обогащения железных руд предполагает их переработку с целью извлечения полиметаллического сырья при дальнейшем его использовании в металлургическом производстве.

Предполагаемая технологическая схема получения полиметаллического сырья их отходов хвостохранилища Абагурской обогатительной фабрики представлена на рисунке 1.

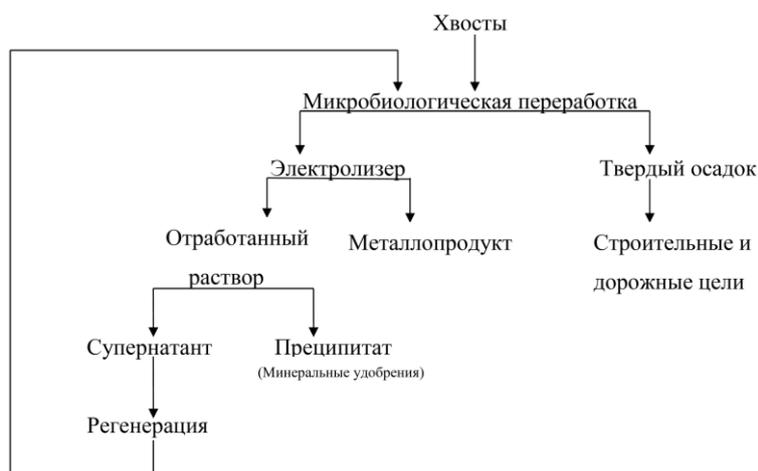


Рисунок 1 – Технологическая схема переработки хвостов Абагурской обогатительной фабрики для извлечения обогащенного полиметаллического сырья

Биогеотехнология выщелачивания металлов – предусматривает использование, главным образом, тионовых (окисляющих серу и серосодержащие соединения) бактерий для извлечения металлов из руд, рудных концентратов и горных пород. При переработке бедных и сложных руд тысячи и даже миллионы тонн ценных металлов теряются в виде отходов, шлаков, хвостов. Происходят также выбросы вредных газов в атмосферу. Бактериально-химическое выщелачивание металлов уменьшает эти потери. Основу этого процесса составляет окисление содержащихся в рудах сульфидных минералов тионовыми бактериями. Окисляются сульфиды меди, железа, цинка, олова, кадмия и т. д. При этом металлы из нерастворимой сульфидной формы переходят в сульфаты, хорошо растворимые в воде. Из сульфатных растворов металлы извлекаются путем осаждения, экстракции, сорбции. Одним из возможных путей извлечения металлов из растворов является адсорбция металлов клетками живых микроорганизмов, так называемая биосорбция металлов. Металлы включаются в состав специфических белков – металлотионеинов. Полезными для биогеотехнологии добычи металлов свойствами обладает целый ряд микроорганизмов. Но основным из них, безусловно, является открытый в 1947 г. Колмером и Кинкелем вид тионовых бактерий, названный *Thiobacillus ferrooxidans*. Необходимую для роста энергию эти бактерии получают при окислении восстановленных соединений серы и двухвалентного железа в при-

сутствии свободного кислорода. Они окисляют практически все известные в настоящее время сульфиды металлов. Источником углерода для роста бактерий служит при этом углекислый газ. Характерной особенностью их физиологии является потребность в очень кислой среде. Они развиваются при значении рН от 1 до 4,8 с оптимумом при 2 – 3. Интервал температур, в котором могут развиваться бактерии этого вида, составляет от 3 до 40 °С с оптимумом при 28°С. Отходы железорудного обогащения Абагурской обогатительной фабрики соответствуют данным требованиям: рН = 2, а интервал температур составляет 25 – 30 °С. Тионовые бактерии широко распространены в природе. Они обитают в водоемах, почвах, угольных и золоторудных месторождениях. В значительных количествах встречаются они в месторождениях серных и сульфидных руд. Но в условиях естественного залегания таких руд активность тионовых бактерий сдерживается отсутствием кислорода. При разработке сульфидных месторождений руды вступают в контакт с воздухом, и в них развиваются микробиологические процессы, приводящие к выщелачиванию металлов. Применяя определенные биотехнологические мероприятия, этот естественный процесс можно ускорить.

Основной технологической операцией этого способа является орошение отвалов добытой руды растворами, содержащими серную кислоту, ионы двух- и трехвалентного железа, а также жизнеспособные клетки тионовых бактерий. Иногда для усиления процессов выщелачивания внутрь отвала подают воздух. В таких условиях выщелачивающийся раствор фильтруется через толщу руды и в результате микробиологических и химических процессов обогащается извлекаемыми из руды металлами. Затем этот раствор собирают с помощью системы коллекторов, и из него извлекают металлы одним из физико-химических методов [4, 5].

Извлечение полиметаллического сырья из отходов железорудного обогащения дает возможность их повторного использования в металлургическом производстве. После извлечения из отвальных хвостов металлов и главных химических компонентов (фосфора, магнезия, калия, серы) в них остается ценное попутное сырье (в основном нерудное), которое можно использовать для производства минеральных удобрений. Можно также наладить производство огнеупоров (огнеупорные глины, доломит, магнезит, кварциты и др.), использовать как сырьё для получения вяжущих материалов (легкоплавкие глины, известняк, мергель и др.), минеральных красок (охры, мумии и др.), тепло- и звукоизоляционных материалов (перлит, вермикулит) [6].

#### Библиографический список

1. Кондратьева Т.Ф., Пивоварова Т.А., Цаплина И.А., Фомченко Н.В., Журавлева А.Е., Муравьев М.И., Меламуд В.С., Булаев А.Г. Разнообразие сообществ ацидофильных хемолитотрофных микроорганизмов в природных и техногенных экосистемах // Микробиология. 2012, Т. 81, № 1, С. 3 – 27.
2. Васильева Т.А., Блайда И.А., Иваница В.А. Основные группы мик-

роорганизмов, участвующих в биогидрометаллургических процессах, Биотехнологический научно-учебный центр Одесского национального университета им. И.И. Мечникова, 2013.

3. Горбачева К. Стратегия переработки отходов обогащения железных руд Мундыбашской обогатительной и Абагурской агломерационно-обогатительной фабрик [Электронный ресурс] // Pandia.ru – интернет-издание, посвященное знаниям и разным взглядам на жизнь. URL: <https://pandia.ru/text/77/194/28780.php> (дата обращения: 15.03.2022).

4. Кузякина Т.И. Биотехнология извлечения металлов из сульфидных руд / Т.И. Кузякина, Т.С. Хайнасова, О.О. Левенец // Вестник Краунц. Науки о земле, 2008. Т. 2. № 12. С. 76-86.

5. Лисовский Г.Д. Кучное и подземное выщелачивание металлов / Г.Д. Лисовский, Д.П. Лобанов, В.П. Назаркин и др., М.: Недра, 1982.- 113 с.

6. Голик В.И., Комащенко В.И., Поляков А.В. Современные технологии извлечения металлов из хвостов обогащения и переработки руд с целью их комплексного использования. Известия ТулГУ. / Науки о Земле. 2016. Вып. 1.

УДК 622.74

## **ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ОТ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ КОТЕЛЬНЫХ НА РАЗЛИЧНОМ ТОПЛИВЕ**

**Уколова А.Н.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Громова О.Б.**

*Московский политехнический университет,  
г. Москва, e-mail: uk.anastasia@mail.ru*

Проведен расчет экологического риска от выбросов в атмосферу котельных, работающих на различных видах топлива: природном газе, буром угле, угле марки ДР и мазуте. Анализ полученных результатов показал, что экологические риски канцерогенных веществ во всех случаях не превышают приемлемый уровень, а риски от выбросов не канцерогенных веществ для всех исследуемых котельных превышают допустимый. В работе даны рекомендации по снижению экологического риска за счет увеличения высоты дымовой трубы.

Ключевые слова: экологический риск, котельные, виды топлива, оксиды углерода, азота, серы, пылевые выбросы.

Экологический риск свидетельствует о вероятности экологического бедствия, катастрофы, нарушении дальнейшего нормального функционирования и существования экологических систем и объектов в результате антропогенного вмешательства в природную среду или стихийного бедствия с

определенной тяжестью ущерба. Анализ экологического риска от организованных источников выбросов позволяет выделить объекты, уровень риска которых превышает допустимый, и целенаправленно для этих объектов осуществлять природоохранные мероприятия.

Цель данной работы - сравнить экологический риск от выбросов в атмосферу котельных, работающих на угле, природном газе и мазутном топливе и оценить возможности снижения вредных выбросов за счет усовершенствования технологических процессов и рассеивания вредных выбросов в атмосфере посредством увеличения высоты дымовых труб.

Первая группа мероприятий может быть реализована при проведении коренной реконструкции или замене технологических агрегатов и аппаратов газоочистки, что требует значительных финансовых затрат. Мероприятие по улучшению условий рассеивания выбросов, при прочих равных условиях, представляются более доступным и менее затратным.

Характеристика организованных источников выбросов представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристика источников выбросов

Источник выброса	Наименование сырья	Источники выбросов (труба)		Параметры ГВС на выходе из источника выбросов		
		Высота, м	Диаметр устья, м	Скорость, м/с	Темп., °С	
Котельная АО «Каскад-энерго»	каменный уголь марок ДР	100	3	25,63	150	
Котельная КС «Вертикос»	Природный газ	22	0,51	0,41	160	
Котельная ООО «Шиноремонтный завод»	Дымовая труба №1	уголь «Ирша-Бродинский» (бурый уголь марки 2Б)	45	1,2	4,9122	120
	Дымовая труба №2		45	1,2	10,684	120
Котельная ЗАТО «Солнечный»	Мазут марки М-100 мало-сернистый	100	1,85	10,5	150	

Оценка риска для здоровья проводилась согласно «Руководству по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки» по следующему алгоритму. На первом этапе выполнен расчет максимальных приземных концентраций ( $C_{max}$ ) (согласно ОНД-86) выбросов предприятия с использованием бланка инвентаризации источников загрязнения атмосферного воздуха котельных [1].

На втором этапе рассчитан экологический риск [2]. Результаты расчета

экологических рисков представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Экологический риск от выбросов в атмосферу

Источник		Наименование сырья	Наименование выбросов	Risk	Суммарный риск по источнику
Котельная АО «Каскад-энерго»	Каменный уголь марок ДР	Диоксид азота	0,0041	0,0252	
		Оксид азота NO	0,0016		
		Сажа (углерод) С	0,0015		
		Диоксид серы SO <sub>2</sub>	0,0083		
		Оксид углерода СО	0,0015		
		Зола угольная	0,0084		
		Бенз(а)перен	$2,45 \times 10^{-8}$	$2,45 \times 10^{-8}$	
Котельная КС «Вертикос»	Природный газ	Оксид углерода СО	0,004	0,0353	
		Диоксид азота NO <sub>2</sub>	0,0225		
		Оксид азота NO	0,0091		
		Бенз(а)перен	$7,05 \times 10^{-9}$	$7,05 \times 10^{-9}$	
Котельная ООО «Шиноремонтный завод»	Дымовая труба №1	Диоксид азота NO <sub>2</sub>	0,0058	0,0556	
		Оксид азота NO	0,0023		
		Диоксид серы SO <sub>2</sub>	0,0161		
		Оксид углерода СО	0,0029		
		Зола угольная	0,0295		
	Бурый уголь марки 2Б	Бенз(а)пирен C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	$4,57 \times 10^{-8}$	$4,57 \times 10^{-8}$	
		Диоксид азота NO <sub>2</sub>	0,0064	0,0591	
		Оксид азота NO	0,0026		
		Диоксид серы SO <sub>2</sub>	0,018		
		Оксид углерода СО	0,0032		
		Зола угольная	0,0301		
		Бенз(а)пирен C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	$4,99 \times 10^{-8}$	$4,99 \times 10^{-8}$	
Котельная ЗАТО «Солнечный»	Мазут марки М-100	Мазутная зола	0,0233	0,0372	
		Оксид углерода СО	0,0003		
		Диоксид серы SO <sub>2</sub>	0,0116		
		Оксид азота NO	0,0024		

Приемлемый суммарный канцерогенный риск равен 0,001. Источники выбросов котельной АО «Каскад-энерго», котельной ООО «Шиноремонтный

завод» и котельной КС «Вертикос» не превышают этот уровень, а в выбросах котельной ЗАТО «Солнечный» канцерогенные вещества отсутствуют.

Приемлемый суммарный не канцерогенный риск равен 0,02. Суммарный экологический риск источников котельной АО «Каскад-энерго», котельной КС «Вертикос», котельной ООО «Шиноремонтный завод» и котельной ЗАТО «Солнечный» имеют превышение данного уровня.

Так как источники котельная АО «Каскад-энерго», котельная КС «Вертикос», котельная ООО «Шиноремонтный завод» и котельная ЗАТО «Солнечный» имеют превышения приемлемого уровня риска, то для них была произведена оценка влияния скорости газовой смеси (рисунок 1) и высоты дымовой трубы (рисунок 2) на уровень риска.

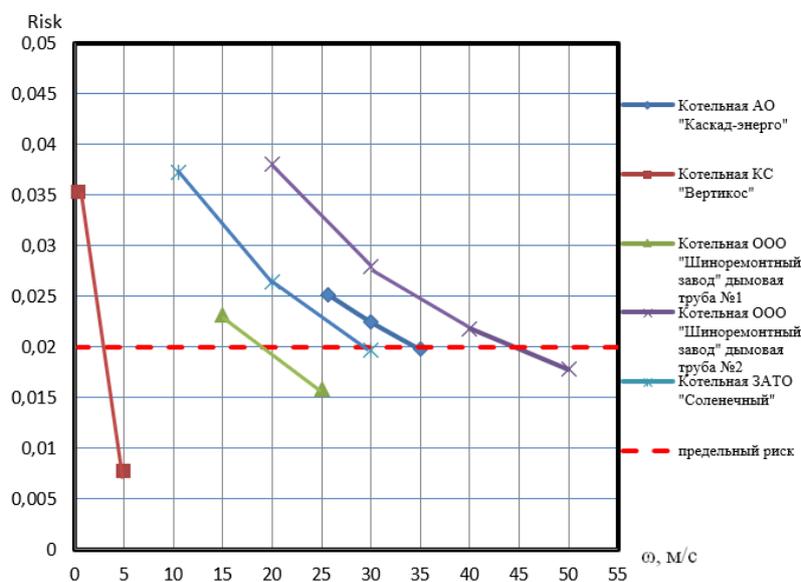


Рисунок 1 - Влияние скорости газовой смеси на уровень риска

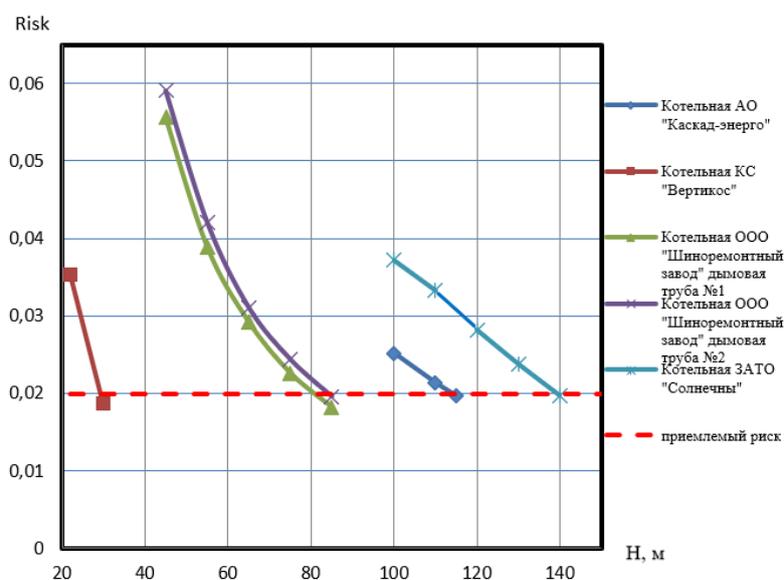


Рисунок 2 - Влияние высоты дымовой трубы на уровень риска

Таким образом, установлено, что при увеличении высоты трубы источника организованного выброса или увеличении скорости выхода отходящих газов можно достичь приемлемого уровня экологического риска.

#### Библиографический список

1. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно - методические основы, принципы и критерии оценки (Р. 2.2.1766-63).- М.: Гигиена труда.- 2003. - 12 с.
2. Павлович Л. Б. Оценка экологического риска от производственной деятельности коксохимического производства/ Л.Б. Павлович, Е.В. Медведская, Е.В. Суржиков, В.Г. Лупенко // М.: Металлургия «Кокс и химия», № 5, 2013,- с. 33-40
3. Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А. и др. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ загрязняющих окружающую среду. - М.: НИИЭЧиГОС,- 2002,- 408 е.

УДК 669.04674:62.56

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В ОКРУГАХ МОСКВЫ

**Хайретдинова З.З.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Громова О.Б.**

*Московский политехнический университет,  
г. Москва, e-mail: xzila@mail.ru*

Проведена оценка экологического риска от загрязнения атмосферы не организованными источниками выборов в различных округах Москвы. Показана эффективность использования комплексного показателя КИЗА для оценки состояния атмосферного воздуха.

Ключевые слова: экологический риск, пыль каменноугольная, выбросы.

Атмосферный воздух является начальным звеном в цепочке загрязнений природных сред и объектов. В отдельных случаях почва и поверхностные воды могут быть источниками вторичного загрязнения атмосферы или, наоборот, показателем ее загрязнения. Такое положение определяет необходимость, прежде всего, проведения оценки загрязнения воздушного бассейна.

Целью данной работы явилась оценка опасностей от загрязнения атмосферы округов Москвы по данным мониторинга основных загрязнителей: диоксид азота, оксид азота, оксид углерода, сероводород, метан, диоксид серы, взвешенные вещества РМ10 и РМ2.5.

Действующая в Москве система мониторинга решает задачи, связанные с управлением качеством воздуха, в том числе:

- контроль за соблюдением государственных и международных стандартов качества атмосферного воздуха;
- получение объективных исходных данных для разработки природоохранных мероприятий, градостроительного планирования и планирования транспортных систем;
- информирование общественности о качестве атмосферного воздуха и развертывание систем предупреждения о резком повышении уровня загрязнения;
- оценка эффективности природоохранных мероприятий.

Показателем для обобщения данных мониторинга загрязнения атмосферы является комплексный индекс загрязнения атмосферы (КИЗА), который позволяет учитывать вклад в загрязнение нескольких веществ и представить загрязнение одним числом. При этом учитывается класс опасности вещества, причем его фактическая концентрация приводится к степени загрязнения воздуха диоксидом серы, исчисляясь в долях ПДК диоксида серы [1].

Приведение загрязнения воздуха токсикантами к концентрациям диоксида серы обусловлено несколькими причинами. Во-первых, диоксид серы является одним из наиболее распространенных повсеместно химических загрязнителей, приводящих к существенному увеличению заболеваемости людей, в частности заболеваний верхних дыхательных путей [1]. Во-вторых, диоксид серы обладает выраженной токсичностью по отношению к растительности. Он наносит значительный ущерб растительным объектам и подрывает ресурс биосферы. В-третьих, он обладает сильной коррозионной способностью, разрушает металлы, памятники культуры из мрамора.

КИЗА вычисляют по формуле:

$$\text{КИЗА} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{q_{\text{ср}i}}{\text{ПДК}_{\text{ср}i}} \right)^{c_i},$$

где  $q_{\text{ср}i}$  – средняя концентрация  $i$ -го химического поллютанта;

$\text{ПДК}_{\text{ср}i}$  среднесуточная предельно допустимая концентрация;

$n$  – число вредных веществ, учитываемых при вычислении КИЗА;

$c_i$  – безразмерная константа приведения степени вредности вещества к степени вредности диоксида серы. В зависимости от степени опасности (1, 2, 3, 4) значения  $c_i$  принимаются соответственно равными 1,7; 1,3; 1,0; 0,9.

Обычно выбирают не менее 5 веществ, которые вносят основной вклад в загрязнение атмосферы.

Критерии оценки экологического риска загрязнения атмосферы по комплексному индексу КИЗА представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Критерии оценки экологического риска загрязнения атмосферы по комплексному индексу КИЗА

Показатели	Классы экологического состояния			
	Нормы (Н)	Риска	Кризиса	Бедствия
Уровни	<5	5 – 8	8 – 15	>15

Выбор точек контроля производился в разных округах Москвы, чтобы наиболее полно оценить экологическую ситуацию города (рисунок 1).

Исследуемыми точками были выбраны:

Точка 1 – САО – Нижняя Масловка – улица Нижняя Масловка, дом 10;

Точка 2 – ЮАО – Кожуховский проезд – 1-й Кожуховский проезд, дом 15;

Точка 3 – ЦАО – Спиридоновка – улица Спиридоновка, дом 10;

Точка 4 – СЗАО – Народного ополчения – улица Народного Ополчения, дом 21, корпус 1;

Точка 5 – ЮВАО – Вешняки – 4-й Вешняковский проезд, дом 8;

Точка 6 – ЗАО – Академика Анохина – улица Академика Анохина, дом 38, корпус 1;

Точка 7 – ВАО – Лосиный остров – 12-я улица Красной Сосны, дом 31.

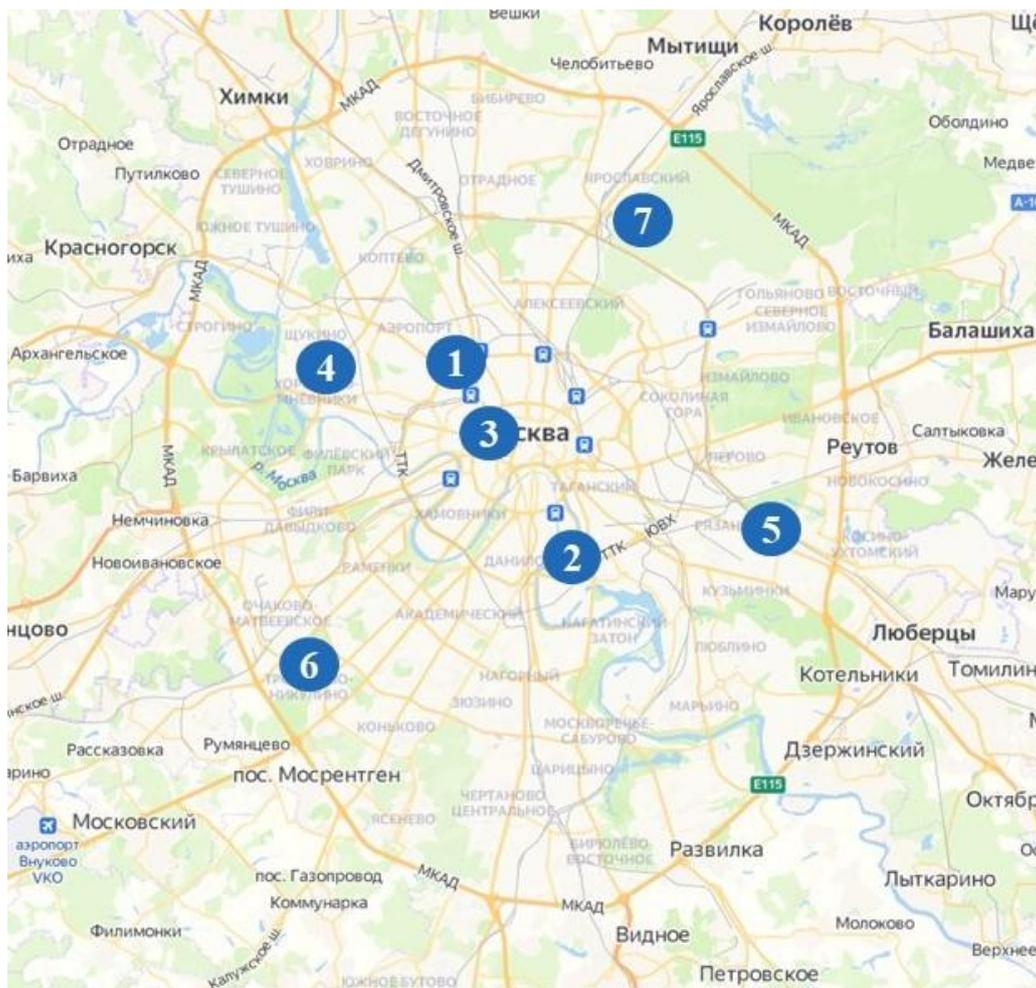


Рисунок 1 – Точки контроля в разных округах Москвы

Результаты расчетов:

Номер поста		Точка №1	Точка №2	Точка №3	Точка №4	Точка №5	Точка №6	Точка №7
Февраль, 2022 год	КИЗА	4,46	1,31	1,65	1,61	1,44	1,05	0,72

Согласно установленным критериям оценки экологического риска загрязнения атмосферы (таблица 1), полученные результаты свидетельствуют о том, что состояние атмосферы в исследуемый период находилось в пределах нормы. Это подтверждается также погодными условиями: территория столицы в данный период времени практически постоянно находилась под действием циклонов. Дождь и снег в циклонных условиях вымывают твердые частицы примесей из воздуха, загрязняющие вещества распределяются на значительной высоте атмосферного слоя и не образуют больших концентраций, и выхлопы транспорта и предприятий рассеиваются.

#### Библиографический список

1. Касьяненко А. А. Современные методы оценки рисков в экологии: Учебное пособие. – М.: Изд-во РУДН 2008. – 271 с.

УДК 504.06;606;674.4:674.032

## **БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЦИОНАЛЬНОМУ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЮ: ТВЕРДОФАЗНАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ КУЛЬТУРОЙ *PLEUROTUS OSTREATUS***

**Ягудина Г.З., Садаева А.К.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Гарнопольская В.В.**

*Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева,  
г. Красноярск, e-mail: gulka13020@gmail.com*

В рамках данной работы изучены базовые характеристики сырья (древесных опилок различного срока хранения), культуры продуцента и продуктов биоконверсии. Цель работы заключается в оценке перспектив использования древесных отходов различных сроков хранения в процессе биоконверсии культурой *Pleurotus* с получением обогащенных белком кормовых продуктов.

Ключевые слова: Биоконверсия, *Pleurotus*, субстрат, опилки, ферментация.

Микробиологическая переработка компонентов растительного сырья

происходит за счет воздействия на сырье продуцентов, которые выделяют биологически активные вещества, с одновременным наращиванием биомассы продуцента [1]. Хвойные опилки являются крупнотоннажными отходами, которые ежегодно накапливаются в Красноярском крае и затем длительно хранятся без целенаправленного использования. Также в качестве субстрата была выбрана солома, произрастающая не только на территории Красноярского края, но и в соседних регионах, и дающая высокий урожай растительной биомассы. Известно [2-3], что пшеничная солома широко используется для твердофазного культивирования мицелия вешенок с целью выгонки плодовых тел. Пшеничную солому в составе субстратных композиций для биоконверсии использовали, чтобы активировать ферментативную систему *P. ostreatus* P.O.-4.1, сократить лаг-фазу при внесении инокулята и способствовать более полной конверсии субстрата.

Исходное сырье перед биодеструкцией механически измельчали, за счет чего происходило увеличение его удельной поверхности. Размер частиц соломы не превышал 15 мм, опилки рассеивали на ситах, в работе использовали фракцию с размером частиц не более 10 мм.

Для того, чтобы соблюдать постоянный микробиологический контроль чистоты культуры в лаборатории следует знать культуральные и морфологические признаки используемых штаммов. Благодаря использованию стандартного лабораторного оборудования и набора базовых методов определения характеристик продуцента, происходит контроль используемой в лаборатории культуры.

К таким критериям, которые позволяют определить чистоту культуры относят, форму и цвет колоний на поверхности плотных сред, окраску среды, выделение экссуданта, запах. Чистую культуру *Pleurotus* выращивали на агаризованной среде сусло-агар в чашках Петри (рисунок 1).



Рисунок 1 –Мицелий *P. ostreatus* P.O.-4.1 в поверхностной культуре

В ходе роста штамм формировали колонии, которые характеризуются следующими признаками: округлая форма с ярко выраженной концентрической зональностью. Край колонии ворсинчатый, плоский профиль, структура волокнистая. Мицелий с трудом отделяется от субстрата, пушистый. А также на колонии четко выражены радиальные кольца.

Важное значение для ведения процесса биоконверсии в режиме твердофазной ферментации имеет выбор вида инокулята. Известны и успешно применяются три основных вида – агаровые блоки, зерновой мицелий и глубинная культура мицелия продуцента [4].

Применение глубинной культуры, несмотря на высокую скорость колонизации субстрата, имеет ряд особенностей, усложняющих технологический процесс: повышенные требования к асептике, необходимость использования биореактора для наращивания необходимого объема инокулята, сложные питательные среды для поддержания культуры.

В данной работе были апробированы два способа – инокуляция субстрата агаровыми блоками и зерновым мицелием.

Для получения зернового мицелия использовали два вида зерна – пшеницу и овес. Зерно в количестве 100 г помещали в колбы объемом 250 мл, влажность его составляла 60 %, стерилизовали. Инокулировали подготовленное зерно пятью агаровыми блоками диаметром 10 мм, вырезанными пробойным сверлом из краевой зоны семисуточной культуры *P. ostreatus* P.O.-4.1. Инкубирование проводили при температуре  $(27 \pm 1) ^\circ\text{C}$ , периодически увлажняя зерно стерильной водой.

По истечении 14 суток оценивали степень колонизации субстрата мицелием. Зерно пшеницы плохо подвергалось колонизации, при этом мицелий имел паутинообразную структуру с низкой плотностью, колонизация носила локальный характер.

Зерно овса было колонизировано на 100 % по всему объему, мицелий плотный, белый, с характерным грибным запахом. Внешний вид зернового мицелия вешенки на основе овса представлен на рисунке 2. В дальнейшем для проведения твердофазной ферментации использовали данный вид зернового мицелия.



Рисунок 2 – Зерновой мицелий *Pleurotus*

Для биоконверсии проводили поверхностное (твердофазное) культивирование на механически измельченной соломе (размер частиц до 10 мм) и хвойных опилках, используя в качестве посевного материала зерновой мицелий (10 % от массы субстрата) и агаровые блоки, вырезанные из краевой зоны роста семисуточной культуры.

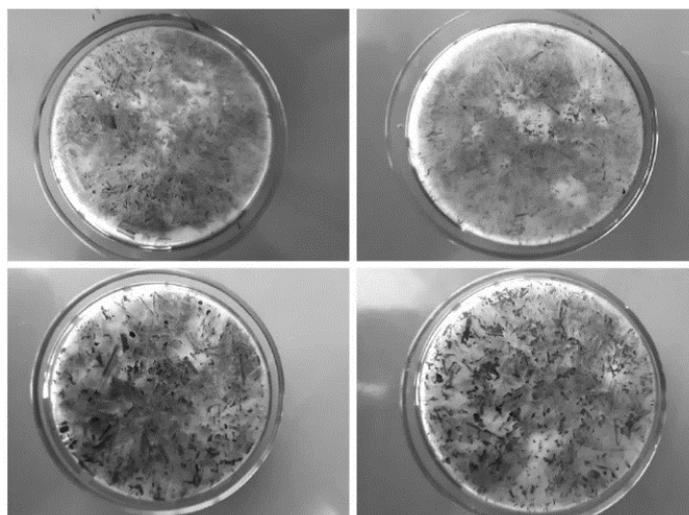
Состав субстратной композиции: 60 % хвойных опилок различного срока хранения и 40 % соломы. Культивирование проводили в течение семи суток при температуре  $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$  и относительной влажности 60 %.

Необходимо отметить, что при инокулирование агаровыми блоками освоение субстрата культурой продуцента происходит значительно медленнее, чем при использовании зернового мицелия. По завершении семи суток не более 10 % субстратной смеси было колонизировано мицелием вешенки (рисунок 3)



Рисунок 3 – Твердофазное культивирование с инокулированием агаровыми блоками

На рисунке 4 представлен внешний вид продуктов биоконверсии при использовании в качестве инокулята зернового мицелия по завершении культивирования.



Слева направо, сверху вниз: опилки со сроком хранения 10 лет и солома, опилки со сроком хранения 5 лет и солома, опилки со сроком хранения менее 1 года и солома, опилки со сроком хранения более 10 лет

Рисунок 4 – Твердофазное культивирование с инокулированием зерновым мицелием

Анализируя полученные результаты, необходимо отметить более высокую степень колонизации мицелием субстратной смеси, в составе которой преобладают опилки со сроком хранения пять и десять лет, свежие и хранившиеся более десяти лет опилки являются более сложным для ассимиляции культурой *Pleurotus* субстратом, что согласуется с ранее полученными [5] данными о химическом составе сырья.

Кроме того, основываясь на полученных экспериментальных результатах, можно рекомендовать в дальнейшем для проведения эффективной биоконверсии субстратных смесей, содержащих значительную долю древесного компонента, использование зернового мицелия в качестве единственного вида инокулята.

#### Библиографический список

1. Тарнопольская, В.В. Биоконверсия вегетативной части топинамбура ксилотрофными базидиомицетами рода *Pleurotus* в условиях глубинного культивирования с получением комплексной кормовой добавки / В.В. Тарнопольская, А.Е. Васюк, Е.В. Алаудинова – Текст : непосредственный // Уфа : Наука и современность: материалы Международной научно-практической конференции. - 2015. - С. 128–132.

2. Заикина Н.В. Основы биотехнологии высших грибов : учебное пособие для студ. обуч. по напр. Биология / Н. В. Заикина. – Москва : Проспект науки, 2007. – 336 с. – Текст : непосредственный.

3. Федорова Т.В. Сравнительный анализ лигнолитического потенциала базидиальных грибов, принадлежащих к различным таксономическим и экологическим группам / Т. В. Федорова – Текст : непосредственный // Прикладная биохимия и микробиология. – 2013. – Т. 49. – № 6. – С. 570-579.

4. Тарнопольская, В.В. Перспективы использования базидиальных грибов для получения кормовых продуктов / В.В. Тарнопольская, Е.В. Алаудинова, П.В. Миронов – Текст : непосредственный // Хвойные бореальной зоны. - 2016. - Т. XXXVII. - №5–6. - С. 338–341.

5. Ягудина Г.З. Биоконверсия древесных отходов различных сроков хранения / Г.З. Ягудина, В.В. Тарнопольская – Текст : непосредственный // Уфа: ОБЩЕСТВО – НАУКА – ИННОВАЦИИ: сборник статей Международной научно -практической конференции. – 2021. – С. 63 – 67.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ**

**Дробышев В.К., Романова В.А., Алюханов А.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Стерлигов В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: drobyshev\_v.k@mail.ru*

Проанализирована тепловая работа паросиловой установки (ПСУ), особое внимание уделено работе конденсаторов. Рассмотрено использование низкопотенциальной энергии за счет применения новых технологий.

Ключевые слова теплоэнергетика, паросиловая установка, тепловой насос, конденсатор.

На сегодняшний день одним из самых востребованных направлений для человечества является энергетика. Активное развитие этой отрасли напрямую связано с наращиванием потребления электроэнергии во всем мире. Энергоэффективность в производстве электроэнергии, которая необходима человечеству, напрямую связана с теплоэлектростанцией (ТЭС), атомной электростанцией (АЭС) и гидроэлектростанцией (ГЭС). Доля, приходящаяся на выработанную электроэнергию, составляет для ТЭС – 61%, АЭС – 17%, ГЭС – 17% и остальные – 5%. В связи с тем, что на ТЭС приходится огромная часть всей выработанной электроэнергии, то на снижение потребляемого топлива и повышение энергоэффективности ей уделяется особое внимание.

Развитие теплоэнергетики с каждым годом становится все более масштабным, большое внимание уделяется использованию традиционного топлива, а развитие в использовании альтернативных источников, такого как использование низкопотенциальной энергии в теплоэнергетике набирает обороты только сейчас. Поэтому обеспечение энергетической безопасности является одним из главных приоритетов практически для любого национального правительства и многих международных организаций. Для России это отражено в "Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года" [1].

Основу ТЭС составляет паросиловая установка (ПСУ) — это комплекс энергетического оборудования, в котором в качестве рабочего тела используется водяной пар. Известно, [2] что цикл Карно, имеет наибольший термический КПД из всех возможных циклов тепловых двигателей в заданном интервале температур, но недостаток цикла Карно на влажном паре заключается в необходимости использования громоздкого компрессора и больших затратах работы на сжатие пара в процессе. Поэтому, базовым циклом работы

ПСУ является цикл Ренкина [3], описывать который в силу его распространенности не имеет смысла.

Анализ практических данных работы ПСУ имеет следующую структуру распределения тепла [4]:

Вид	Количество, %
полезное тепло	32-35
потери в котлоагрегатах	8-12
потери на турбине	1-2
потери при конденсации	50-55

Поэтому основой эффективного использования выделенной при сжигании топлива энергии является работа конденсатора, которому нужно уделить особое внимание.

Внедрение теплового насоса в систему паросиловой установки является многообещающим решением в использовании низкопотенциальной энергии, эффект от которого приведет не только к увеличению КПД всей станции, но и к снижению потребляемого топлива, которому на сегодняшний день уделяется особое внимание, в связи с его огромным потреблением и истощаемостью.

Рассмотрим тепловую схему паротурбинной установки с тепловым насосом, представленную на рисунке 1.

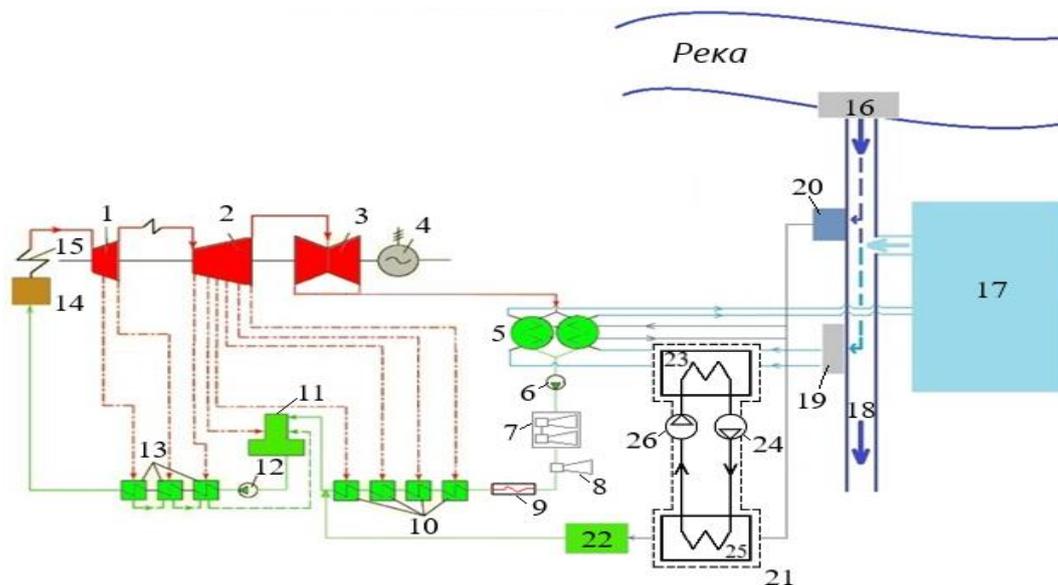


Рисунок 1 – Тепловая схема паротурбинной установки с тепловым насосом

В турбину паросиловой установки подается пар, который проходя последовательно через цилиндр высокого давления 1, среднего давления 2 и низкого давления 3 отдает свою энергию, которая используется для электро-

генератора 4. После этого пар проходит в конденсатор 5, где поддерживается пониженное давление (вакуум), что позволяет обеспечивать заданную температуру насыщения, около 28 °С, необходимую для превращения пара в конденсат. При этом температура охлаждающей воды должна быть 20 – 22 °С. Далее конденсат идет через систему устройств - конденсатный насос 6, паровые эжекторы 7, хозяйственный эжектор 8, подогреватель сальниковый 9, подогреватели низкого давления 10. Затем конденсат поступает в деаэра-тор 11, для удаления растворенных газов, питательным электронасосом 12, перекачивается через элементы подогревателей высокого давления 13 и по-сле подается в котел 14 с пароперегревателем 15.

Для создания системы охлаждения, отработанного пара устанавливается береговая насосная станция 16, пруд-охладитель 17, холодный канал 18, насосные станции 19 и 20. В летнее время данная компоновка не позволяет достичь заданного температурного режима, в результате чего предлагается установить тепловой насос 21.

На подводящей линии охлаждающей воды конденсатора 5 устанавливается испаритель 23 теплового насоса 21, доводящий температуру охлаждающей воды до уровня 20-22°С, за счет отбора тепла от воды при испаре-нии хладагента. После сжатия в компрессоре 24 теплового насоса 21 рабо-чий агент повышает свою температуру до 160-180°С и подается в конденса-тор-теплообменник 25, где при конденсации отдает тепло воде, идущей в цех химводоподготовки 22, подогревая воду до режимной температуры, которая ранее достигалась за счет продувочной воды котлов и отбора пара из турби-ны. В тепловом насосе 21 рабочее тело (хладон) после конденсации в кон-денсаторе-теплообменнике 25 проходит через дроссельный клапан 26, затем в испаритель 23 и цикл теплового насоса 21 повторяется.

Для расчетов возьмем тепловой насос Вода-вода Screw MWH 360CA имеющего следующие характеристики:

1. Мощность охлаждения составляет: 1088 Мкал/ч
2. Мощность нагрева составляет: 1142 Мкал/ч

Для нагрева воды в данный момент потребляется 1075 Мкал/ч, тогда для покрытия данных условий понадобится:

$$x = \frac{1075}{1142} = 0,94$$

Для полного восполнения теплоты понадобится 2 насоса.

#### *Выводы.*

Положительным эффектом при использовании теплового насоса явля-ется то, что достигается проектный температурный уровень охлаждающей воды, это означает, что термический КПД вырастет, и каждая единица затра-ченной энергии будет давать больший выход продукции, а также многократ-

но уменьшится потребность в покупке охлаждающей воды с реки у государства, в результате чего будет огромный экономический эффект. Полученное же тепло можно использовать для подогрева подпиточной воды цеха химводоподготовки вместе с тем создав определенный температурный режим для каждого этапа очистки воды, необходимость которой обусловлена успешностью ее выполнения. При этом исключается использование тепла продувочной воды котлов, а также промежуточный отбор пара из цилиндра среднего давления турбины, следовательно этот пар пройдет через остальные ступени турбины, совершая дополнительную работу и повышая выработку электрической энергии при том же расходе пара на турбину.

Таким образом, внедрение теплового насоса в цикл ПСУ благоприятно сказывается на термический КПД цикла, также внедрение теплового насоса позволяет подогревать воду в цехе химводоподготовки, что в конечном счете уменьшает количество отборов пара из турбины, в результате чего также уменьшается потребление топлива.

#### Библиографический список

1. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035г. Утверждена Постановлением Правительства РФ от 9 июня 2020г. № 1523-р.
2. Кирилин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергия, 1974. – 447 с.
3. Семенов, Ю. П, Левин А.Б. Теплотехника. – М.: НИЦ ИНФРА–М, 2015. – 400 с.
4. Фукс Г.И. Тепловой и энергетический балансы тепловой установки. // Известия Томского политехнического института, 1952. Т.69. С. 87 – 92.

УДК 669.162

## ПЕРЕРАБОТКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ

**Забродин И.С.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Павловец В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: kafedra-tee@yandex.ru*

Проведена оценка способа и технологий переработки шлаков металлургического производства. Показана классификация шлаков: черной и цветной металлургии.

Ключевые слова: шлаковые отходы, промышленное производство, строительные материалы, перспективы использования шлаковых отходов.

Утилизация отходов металлургического производства – важное направление совершенствования и развития отрасли. При выплавке из руды

металлов образуются отходы силикатного типа. Отправляя шлаки на переработку, предприятия получают более дешевый металл по сравнению с первоначальной добычей из руды. Кроме того, безотходное производство улучшает экологическую ситуацию в промышленных городах, состояние почвы и воздуха в отвалных зонах, освобождает земельные угодья.

Переработка шлаковых отходов и использование их в дорожном строительстве, в производстве строительных материалов, в огнеупорной промышленности, в сельском хозяйстве и в других отраслях техники позволяет расширить сырьевую базу этих технологий и решить экологические проблемы в промышленности [1, 2].

Переработка шлаков металлургического производства состоит из отделения металлических включений из отходов. Первоначальную утилизацию проводит само металлургическое предприятие. Процесс состоит из транспортировки побочных материалов в специальные ямы, где используются грузы для дробления. После этого методом магнитной сепарации выделяется металлическая составляющая, а остальное перерабатывается в щебень. Для нержавеющей, жаропрочных и подобных шлаков такая технология не подходит, так как металлическая составляющая немагнитна. Современная техника позволяет извлекать до 95% металлов, включая немагнитные. Технология комплексной переработки отходов состоит из этапов: Оценка отвалов по количеству и составу, в том числе по содержанию металла и неметаллической составляющей, отбор крупных фрагментов. Последовательное использование трех дробилок: две щековые (первая до размеров – 150 мм, затем вторая – до 60 мм), третья дробилка - конусная дробит на куски до 30 мм. По окончании каждого этапа дробления выбирается металлический скрап. Просеивание. Куски более 28 мм отправляются на дробление заново. Результат - получение шлаков 0-5 мм и 5-10 мм. Полученное сырье отправляется на сепарацию, где ведется отделение металлического сырья. Результаты комплексной переработки - получение оксидной составляющей (песок и щебень) и металлической (слитки до 1200 кг). Конечный продукт первого сырья - тротуарная плитка, стеновые блоки, бордюрный камень. Металлические сплавы идут на создание рафинированной шихтовой заготовки.

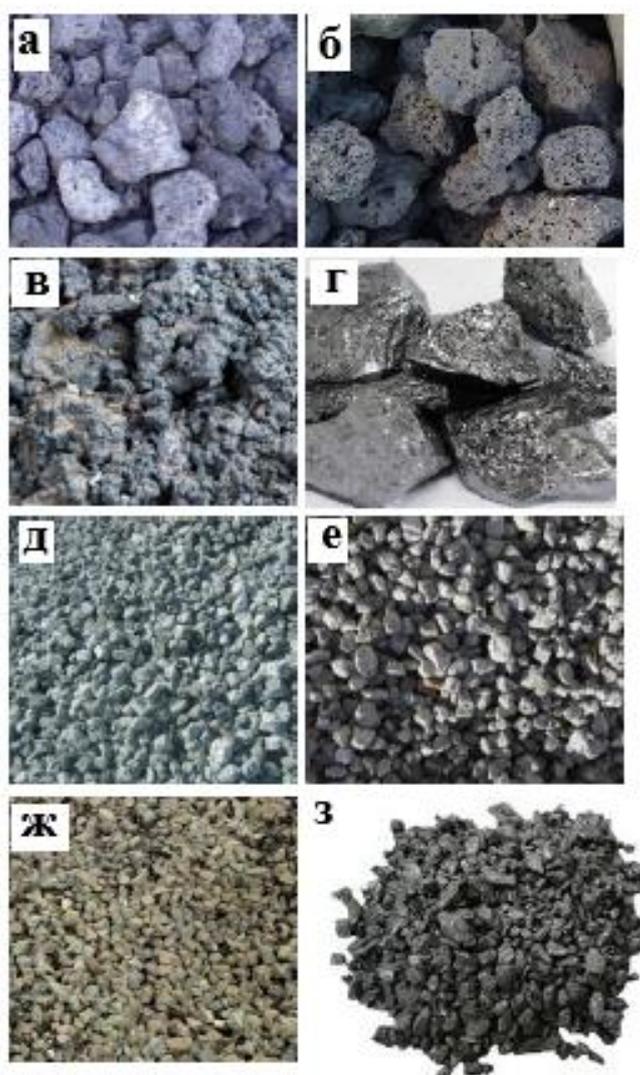
При квалификации отходов металлургического производства надо помнить о том, что при изготовлении металлов получают шлаки и золошлаковые отходы, которые состоят смеси золы и шлака, в результате сгорания угля и торфа. Классификация шлаков довольно тщательно проработана.

Существует две базовые группы: шлаки черной и цветной металлургии. К шлаку черной металлургии относятся доменные шлаки и сталеплавильные. Доменные шлаки - напрямую связаны с отходами, которые получают при плавке чугуна и состоят из нескольких подгрупп — литейного, специального и предельного. Сталеплавильные шлаки, образуются при выплавке стали и при обработке металла. К первым относят электроплавильные, мартеновские, и ваграночные. Ко второй группе относят тигельные и

сварочные.

К шлаку цветной металлургии относят: медные, цинковые, свинцовые и никелевые. Для них характерны: высокое содержание оксидов железа, пониженный состав оксидов магния и кальция. Свойства шлаков цветной металлургии зависят от их химического состава. Отличаются от шлаков чёрной металлургии большим удельным весом, разнообразием, дополнительным содержанием ценных редких металлов. Если при выплавке чёрных металлов выход шлаков на 1 т металла составляет 0,1 – 0,7 т, то в цветной металлургии при получении 1 т металла – 100 – 200 т шлаков.

В зависимости от химического состава, скорости охлаждения, вида металлургической технологии физические характеристики, прочностные свойства, структура и цвет шлаков существенно отличаются (рисунок 1).



Макроструктура шлаков: а – г – исходных; д – з гранулированных; а, д – доменных; б, е – конвертерных, ж, е – ферросплавных, г, з – электросталеплавильных

Рисунок 1 – Макроструктура шлаков и гранулированных продуктов

### *Способы переработки и применение*

Самый распространённый способ переработки – грануляция. Происходит путём охлаждения массы водой, воздухом, паром.

*Мокрый способ.* Обработка вытекающего из доменной печи раскалённого шлака сильной струёй воды, подаваемой через специальные насадки. Шлак дробится под напором воды и отправляется в бункер до окончательного охлаждения. Его продувают воздухом, в результате чего он остывает и обезвоживается.

*Полусухой способ.* Вытекающий из домны шлак попадает на лопасти вращающегося барабана. Небольшое количество воды, подаваемой в желоб, резко охлаждает и делает шлак твёрдым. Затем он попадает в барабан, где дробится и окончательно остывает, отлетая в сторону.

Гранулируются в основном доменные шлаки, которые в большинстве используются в цементной промышленности. Также в этой отрасли распространено применение шлаков ферросплавов, сталеплавильных, цветной металлургии. Из них производят обладающий высокой химической стойкостью цемент, который можно применять даже в агрессивных средах. Получают путём совместного помола металлургического шлака, гипса и извести. Шлаки также используют в качестве активных добавок к портландцементному клинкеру или вместо глины. В зависимости от взятых пропорций, получают обычный цемент или с повышенной стойкостью.

Широко используется в строительстве шлаковый щебень, который успешно заменяет натуральный. Получают его путём дробления отвалных шлаков или литья по специальной технологии. Перед применением он проверяется на устойчивость к распаду.

Материал прочный на истирание, выдерживает высокие и низкие сезонные температуры. Используется в качестве наполнителя для различных видов бетонов.

Для тяжёлых изделий из бетона крупным наполнителем служит отвалный или литой щебень, а для мелкого – гранулированный шлак. Для лёгких изделий предназначен щебень из шлаковой пемзы, которую получают путём вспучивания с применением минеральных газообразователей при быстром охлаждении шлаковой массы. Затем она дробится на фракционный щебень.

Этот материал нашёл широкое применение и в дорожном строительстве как надёжный и при этом дешёвый материал. Используется для подготовки оснований, а также в производстве шлаковых вяжущих для дорожных покрытий, приготовления асфальтобетона.

Способом шлакового литья получают плитки и камни для мощения тротуаров, изготовления бордюров, напольные покрытия для внутренних помещений, трубы, фасадные плиты и другие изделия. Они по многим качествам не уступают железобетонным и стальным аналогам. Их получают при разливе в формы расплавленных металлургических шлаков, поступаемых

прямо из доменных печей. Такой производственный процесс очень экономичен – не требуются дополнительные ресурсы на расплавку сырья, его транспортировку и хранение. Технология изготовления проста, литьё таких изделий экономически выгоднее, чем изготовление искусственного камня, а механические свойства мало чем отличаются.

Из металлургических шлаков получают превосходные материалы – шлакоситаллы. Они состоят из стекловидной аморфной массы и мельчайших стеклянных кристаллов. Бывают разных видов и цвета. Свойства зависят от исходного сырья и технологии изготовления. Процесс происходит в стекловаренной печи. Сырьём служат металлургические шлаки, песок и другие добавки. Шлакоситаллы отличаются высокой прочностью, близкой к чугуну и стали, но при этом они в 3 раза легче. Эти материалы легко обрабатываются и очень востребованы в строительстве. Они хорошо сверлятся, шлифуются, режутся. Широко используются для изготовления прочных изделий и в качестве отделочных материалов: труб, подшипников, оптических приборов, электроизоляторов, мелющих деталей механизмов, химического оборудования, облицовочных плит для фасадов и внутренних стен, напольных покрытий, подоконников, кровли, ограждений балконов и др.

Из металлургических шлаков изготавливают шлаковую вату, которая идёт на производство теплоизоляционных изделий. Из доменных шлаков получают около 80 % минеральной ваты. Используются для этого также шлаки цветной металлургии, мартеновские, ваграночные. Выбирается сырьё с оптимальной вязкостью для получения минерального волокна методом вытягивания. В ваннах печей или вагранках получают шлаковый расплав, который затем перерабатывается в волокно. Вату изготавливают 3-х типов: для плит повышенной жёсткости, для полусухого прессования изделий, для горячего прессования. На основе минваты получают различные изделия (плиты, цилиндры), где в качестве связующих применяют битумы, эмульсии, синтетические полимеры.

#### Библиографический список

1. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.
2. Павловец В.М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы / В.М. Павловец. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – 334 с.

## **АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ПОДСТАНЦИИ**

**Романова В.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Поползин И.Ю.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: romanovaviktoria2908@gmail.com*

Рассмотрен анализ электромагнитной обстановки подстанций и иных факторов, влияющих на вторичное оборудование, а также приведена модель заземляющего устройства и её оценка параметров вызванным ударами молний молнии, модель для анализа электромагнитной обстановки по импульсным помехам. Результаты исследовательской работы позволит рассмотреть проблемы электромагнитной обстановки, а также условия электромагнитной совместимости.

Ключевые слова: электромагнитная обстановка, электромагнитная совместимость, импульсные помехи, заземляющее устройство (ЗУ), магнитные поля промышленной частоты, подстанция, импульсные магнитные поля, статические разряды электричества, микропроцессорные устройства, молниезащита.

Одними из важнейших электроэнергетических объектов являются высоковольтные распределительные и магистральные подстанции. В последние годы в России осуществляется масштабное техническое перевооружение электрических подстанций: вводятся в работу системы релейной защиты и автоматики, управления технологическим процессом, коммерческого учета электроэнергии, диспетчерского управления, сбора и передачи информации, связи, видеонаблюдения и охранной сигнализации, выполненные с использованием микропроцессорной элементной базы и т.д.

Вторичное оборудование на протяжении всего срока службы подвергается электромагнитным воздействиям разного вида, возникающим при коротких замыканиях (КЗ), переключениях первичного оборудования, ударах молнии, коммутациях во вторичных цепях, работе высокочастотной связи различного назначения и т.п. Устойчивая и надежная работа современного электроэнергетического объекта возможна только при обеспечении условий электромагнитной совместимости (ЭМС).

В настоящее время проблема молниезащиты и защиты от перенапряжений имеет существенную актуальность в связи с тем, что в электрических сетях возрастает количество потребителей, чувствительных к импульсам перенапряжений и электромагнитным помехам. Надежная работа молниезащиты достигается при детальной проработке и правильной реализации систем

внешней и внутренней защиты. Даже небольшие отклонения в координации работы этих систем может стать причиной возникновения опасных электромагнитных помех и перенапряжений, что может привести к сбою в работе оборудования или выходу его из строя.

В настоящей работе рассматривается подстанция 110 кВ, в которой организуется система защиты от прямых попаданий молнии. Защита осуществляется при помощи как молниеотводов, находящихся на порталах открытого распределительного устройства (ОРУ), так и отдельно стоящих молниеотводов на территории подстанции. Недостаточно развитая инфраструктура и расстановка зданий и сооружений относительно ошиновки 110 кВ позволяет ожидать невысоких уровней магнитных полей промышленной частоты при КЗ и в нормальном режиме работы подстанции.

Ввиду низких значений удельных значений сопротивлений верхних слоев грунтов на площадке размещения подстанции наблюдается низкое сопротивление растеканию токов заземляющего устройства (ЗУ), что благоприятно сказывается на работе изоляции и защитных проводников аппаратуры на подстанции.

Для модели ЗУ был проведен следующий расчет при однофазном КЗ и разряде молнии максимального сопротивления растеканию на подстанции; токов, возникающих на ЗУ. Схема ЗУ была реализована на основании расчетной модели в программе «ОРУ – Проект» версия 2.4.66. Расчетная модель в программе приведена на рисунке 1.

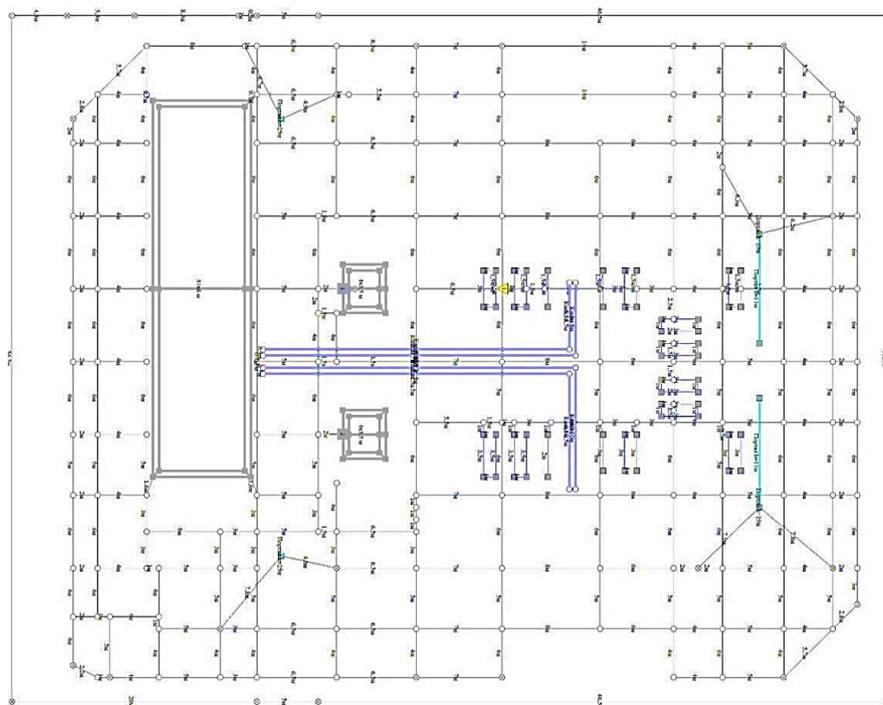


Рисунок 1 – Модель заземляющего устройства ПС

Для подстанции принимается III категория молниезащиты [1] с надежностью более 0,9 в связи с этим выбраны расчетные параметры молнии [2 - табл. 4]:

– для 1-го импульса тока (расчет импульсных потенциалов на ЗУ): амплитуда – 100 кА, длительность фронта – 10 мкс, длительность импульса – 350 мкс;

– для 2-го импульса тока (расчет токов и потенциалов): амплитуда – 25 кА, длительность фронта – 0,25 мкс, длительность импульса – 100 мкс.

Расчеты импульсных помех проводятся совместно в двух программах: ОРУ-Проект и EMI Analyzer.

Согласно [3] распределение потенциала на ЗУ рассчитываются при 1-ом импульсе тока молнии, наведенные напряжения в кабелях (растекание тока в ЗУ) – при последующем импульсе тока молнии.

1-й импульс, расчет для прямого удара молнии в отдельно стоящий молниеотвод на ОРУ - 110 кВ:

– импульсное сопротивление ЗУ – 0,71 Ом;  
– вблизи исследуемого молниеотвода расчетное напряжение прикосновения с учётом высокоомной подсыпки территории подстанции составит 3,1 кВ, что ниже 6 кВ, энергия прикосновения – 1,3 Дж [МЭК 1662]. Напряжение шага – 138 В. На остальной территории подстанции в местах присутствия персонала значения напряжения прикосновения и энергии прикосновения значительно ниже нормируемых 6 кВ и 6 Дж, соответственно. При отсутствии подсыпки территории подстанции напряжение прикосновения, шаговое напряжение и энергия прикосновения повышаются до недопустимых значений, значительно превышающие (на 1–2 порядка) допустимые. Поэтому выполнение высокоомной подсыпки территории подстанции является строго обязательным требованием.

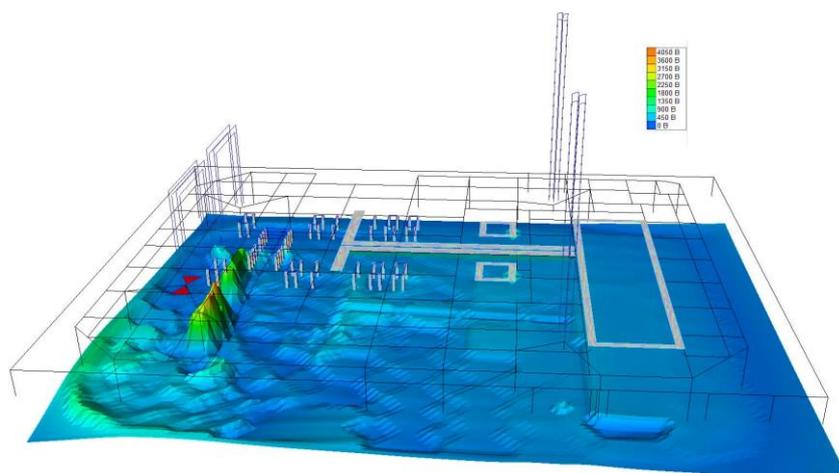


Рисунок 2 – Распределение напряжения прикосновения по заземляющему устройству при 1 импульсе тока молнии с учётом подсыпки территории подстанции

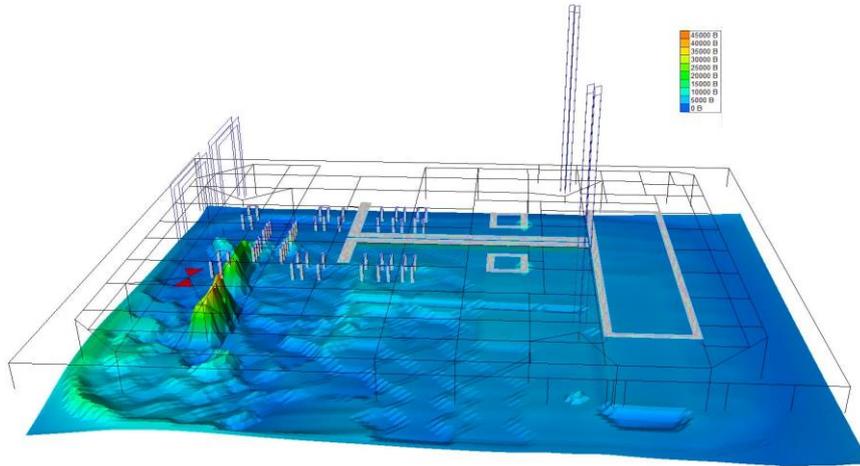


Рисунок 3 – Распределение напряжения прикосновения по заземляющему устройству при 1 импульсе тока молнии без учёта подсыпки территории подстанции

2-й импульс, расчет для прямого удара молнии в отдельно стоящий молниеотвод ОРУ-110 кВ:

- импульсное сопротивление ЗУ составит 24,6 Ом;
- вероятность обратного перекрытия изоляции вторичных кабелей из-за подъема импульсного потенциала ЗУ оценивается по напряжению между проводниками ЗУ и экранами кабелей, равному 210 кВ – пробивное напряжение участка грунта между заземлителем и дном кабельного лотка, равным 0,7 м, при пробивной напряженности грунта 300 кВ/м; вероятность перекрытия изоляции между соседними вторичными кабелями, определяется как пробивное напряжение участка изоляции толщиной 6 мм при пробивной напряженности ПВХ-изоляции - 15 кВ/мм, и равно 90 кВ;

– для кабельных линий, проходящих на расстоянии 17 м от рассматриваемого молниеотвода, экраны которых заземлены с двух сторон расчетный ток составит порядка 536 А, что не удовлетворяет условиям термической стойкости, напряжение на изоляции оборудования 4,4 кВ удовлетворяет условию устойчивости к перекрытию изоляции вторичных кабелей. Для прочих кабельных линий (экран заземлен с двух сторон), удаленных на большее расстояние и более от молниеотвода, токи в экранах будут порядка 90 А, напряжение на изоляции - порядка 2 кВ, что удовлетворяет условиям.

Для снижения токов в двухсторонне заземленных экранах кабелей необходимо проложить вторичные цепи в заземленных металлорукавах, а также проложить дополнительные полосы в кабельных лотках для снижения токовой нагрузки экранов кабелей. Заземление металлорукава следует выполнить в клеммном шкафу и у электроаппарата, а дополнительные полосы связать с ЗУ в ОРУ.

В зданиях кабели и оборудование релейной защиты и автоматики дополнительно экранированы металлическими кабельными лотками и стенками шкафов соответственно; при этом также учитываются прочие параллель-

ные соединения экранов кабелей. Это значительно снижает токи в экранах и улучшает работу изоляции.

Ввиду наличия оборудования освещения, установленного на мачтах, на конструкциях в ОРУ 110 кВ, подверженном непосредственному влиянию молниевых разрядов, необходимо применение устройств защиты от импульсных перенапряжений на щит собственных нужд 0,4 кВ.

Для оценки уровня импульсных помех, возникающих из-за местного подъема потенциала на ЗУ собрана однофазная модель ОРУ-110 кВ в программе EMI analyzer, v. 3.0.42, представленная на рисунке 4.

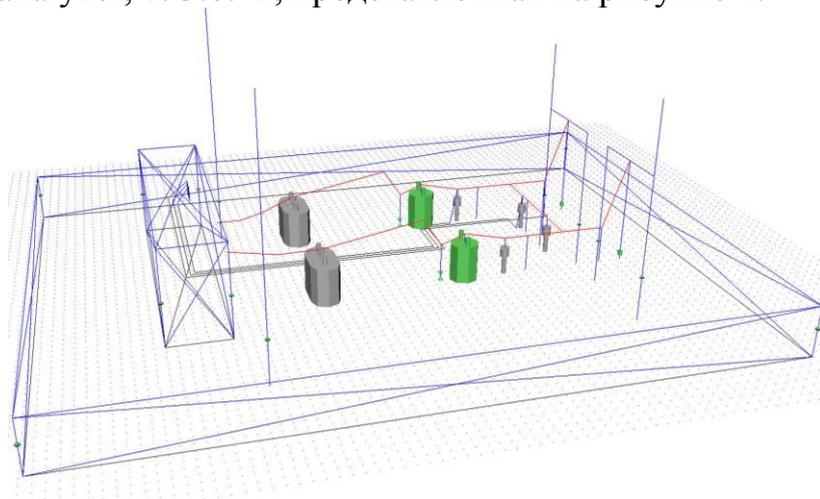


Рисунок 4 – Расчетная модель ОРУ-110 кВ для программы EMI analyzer (3D)

Для приведенной расчетной модели были выполнены расчеты помех и перенапряжений в кабельных сетях при:

- ударах молнии в землю и систему молниезащиты;
- коммутациях и КЗ в силовых цепях;
- импульсном увеличении потенциала заземлителя.

Выполнен расчет высокочастотной связи, импульсных и низкочастотных электромагнитных помехам на территории объекта. Расчет импульсных сопротивлений ЗУ производился в программе ОРУ – Проект, v. 2.4.66.

*Выводы.* На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Заземляющее устройство подстанции удовлетворяет требованиям при соблюдении проектных решений: выполнение подсыпки территории ОРУ 110 кВ щебнем с сопротивлением не ниже 5000 Ом и толщиной слоя 0,2 м; присоединение корпусов высоковольтного оборудования и конструкций к элементам ЗУ на ОРУ 110 кВ по кратчайшим путям; все соединения между прокладываемыми заземлителями было выполнено сваркой и заложение горизонтальных заземляющих полос на расстоянии 1 м, глубина полос 0,7 м.

2. Для каждой конструкции с молниеприемниками должно быть предусмотрено растекание тока в двух направлениях, в каждом направлении

был установлен вертикальный заземлитель.

3. По стенам помещений должна быть выполнена стальная шина уравнения потенциалов (ШУП), представляющая внутренний контур заземления. К внутреннему контуру заземления следует подсоединить все корпуса оборудования и металлические части.

4. Для соответствия требованиям к ЭМС вторичного оборудования при монтаже все цепи, подключаемые к МПУ, должны быть проложены экранированным кабелем типа КВВГЭнг(А)-LS, заземление выполнено в соответствии с [3], корпуса оборудования и шкафов в закрытой распределительной устройстве (ЗРУ) заземлены гибким медным проводом.

5. Должно быть установлено устройство от импульсных перенапряжений УЗИП на ЩСН 0,4 кВ, а также дополнительно защищены цепи управления постоянного тока 220 В от коммутационных перенапряжений и импульсных помех лавинными диодами.

6. Должна быть выполнена гальваническая развязка по цепям оперативной блокировки разъединителей, подключаемых к цепям выпрямленного тока – 220 В через блоки питания ~380/-220 В.

7. Следует предусмотреть разделение силовых и контрольных кабелей по разным кабельным лоткам, прокладка должна быть выполнена в железобетонных лотках с заземлением экранов с двух сторон и заложением дополнительных стальных полос, которые выполняют функцию токовой разгрузки экранов кабелей.

8. Цепи различных классов по уровню испытательного напряжения, цепи управления, измерения и сигнализация, должны быть проложены отдельными кабелями, силовые и контрольные кабели вторичного оборудования проложены на расстоянии не менее 0,25 м, согласно с ПУЭ [4].

Все вышеизложенные мероприятия позволят снизить электромагнитные помехи, наводимые во вторичных цепях и на входах МПУ, до допустимых пределов.

#### Библиографический список

1. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. СО-153-34.21.122-2003. Москва. Издательство МЭИ, 2004 г;

2. РД 50-723-93. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от воздушных линий электропередачи и высоковольтного оборудования. Описание физических явлений (Публикации СИСПР 18-1);

3. СТО 56947007-29.240.044-2010 Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства»

4. Правила устройства электроустановок. Шестое и седьмое издания. 2008 г.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД, ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ ОТРАБОТКИ УЧАСТКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ**

**Климкин М.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк*

Объектом исследования выступило горнодобывающее предприятие АО «Разрез Степановский», находящееся на юге Кузбасса в 20 км от г. Новокузнецка, вблизи пос. Гавриловка. Отработка угольного месторождения «Разведчик» ведется открытым способом.

Ключевые слова: экология, снижение негативного воздействия, массовые взрывы, воздействие, устойчивость бортов, анализ пород.

Добыча угля на разрезе АО «Разрез Степановский» ведется при помощи буровзрывного рыхления вмещающих пород с применением массовых взрывов.

Буровзрывные работы на АО «Разрез «Степановский» были сконцентрированы на четырех участках в следующих периодах:

- 2011-2019г. на Южном блоке;
- 2014-2019гг. на Центральном блоке;
- 2017-2020гг. на вост. крыле Красинской антиклинали Северного блока;
- 2019г. - по н.в. на западном крыле Красинской антиклинали Северного блока.

В 2011 году ООО «Шушталепская ГРП» был выполнен геологический отчет «Участки «Степановский» и «Степановский Глубокий 1» в Кондомском геолого-экономическом районе Кузбасса (Геологическое строение, качество и запасы каменного угля по результатам разведки месторождения по состоянию на 01.01.2011 г)». Подсчитанные запасы в границах участков «Степановский» и «Степановский Глубокий 1» утверждены протоколом ТКЗ № 1087 от 22.11.2011 г.

Основная часть пород участка представлена переслаиванием алевролитов с песчаником. Алевролиты обычно темно-серые, часто неслоистые, иногда с мелкой неясно выраженной слоистостью. Песчаники чаще светло-серые мелко- и среднезернистые, крепкие, с мелкой неясно выраженной слоистостью.

В качестве объекта для анализа физико-механических свойств пород, под долгосрочным воздействием массовых взрывов, был определен массив

песчаника, проходящий по кровле VI пласта, который на основе данных геологоразведки является наиболее однородным и имеет однотипную структуру на всем простирании. На основании вышеуказанных результатов геологоразведочных работ а также данных эксплуатации с 2011г. по 2021г., была построена схема простирания плиты песчаника вдоль кровли VI пласта через границу участка (рисунок 1).

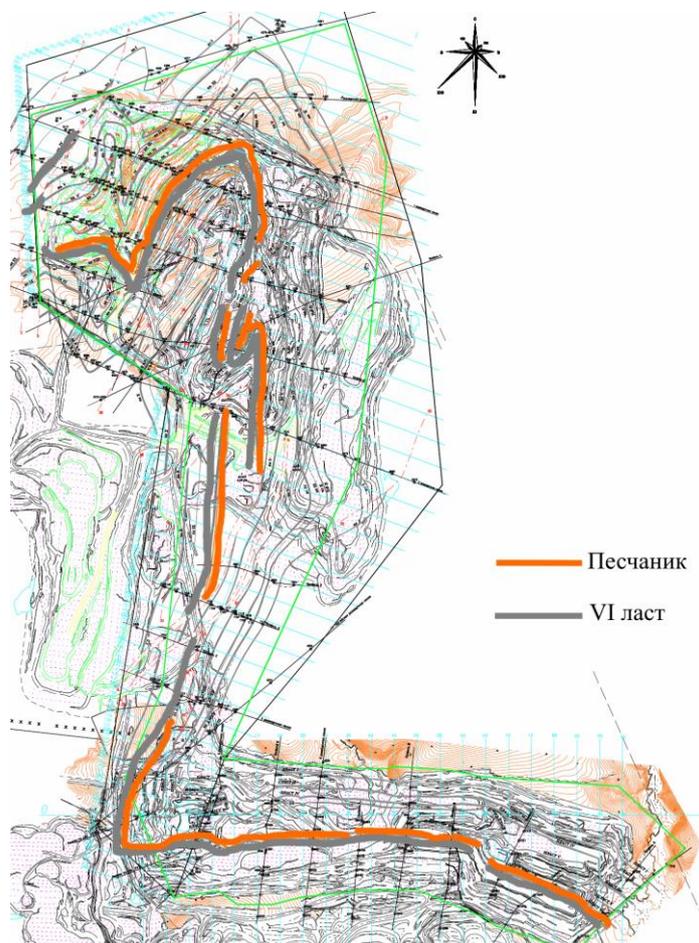


Рисунок 1 – Схема простирания песчаника по кровле VI пласта

Как мы видим на схеме, через все месторождение проходит основной пласт, вдоль которого по кровле параллельно накладывается плита песчаника, мощностью от 1,5 до 4,5 метра, имеющая на схожих горизонтах однородную структуру на всех участках месторождения. На рисунке 2-3 приведены профили разведочных линий.

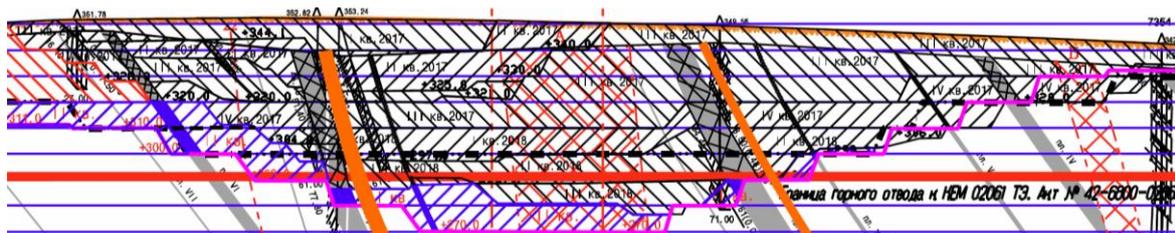


Рисунок 2 – Профиль Д



Рисунок 3 – Профиль Ш

За период 2011-2021 года на предприятии было взорвано 979 блоков. Взрывные работы на Южном блоке велись на протяжении девяти лет, за это время на данном участке было взорвано 293 блока, на Центральном блоке за шесть лет отработки были проведены взрывные работы на 347 блоках. Суммарно на Центральном и Южном блоках, за весь период отработки было взорвано более 18 тыс. тонн взрывчатых веществ.

На основе данных буровзрывных работ за все время разработки, построим график зависимости удельного расхода ВВ на блоках в соответствии с продвижением фронта работ. Для анализа были взяты по 36 блоков на каждом из участков, расположенных на схожих горизонтах и находящиеся в однотипных горно-геологических условиях, по кровле VI пласта пересекающих плиту песчаника на Южном, Центральном и Северном блоках. График представлен на рисунке 4.

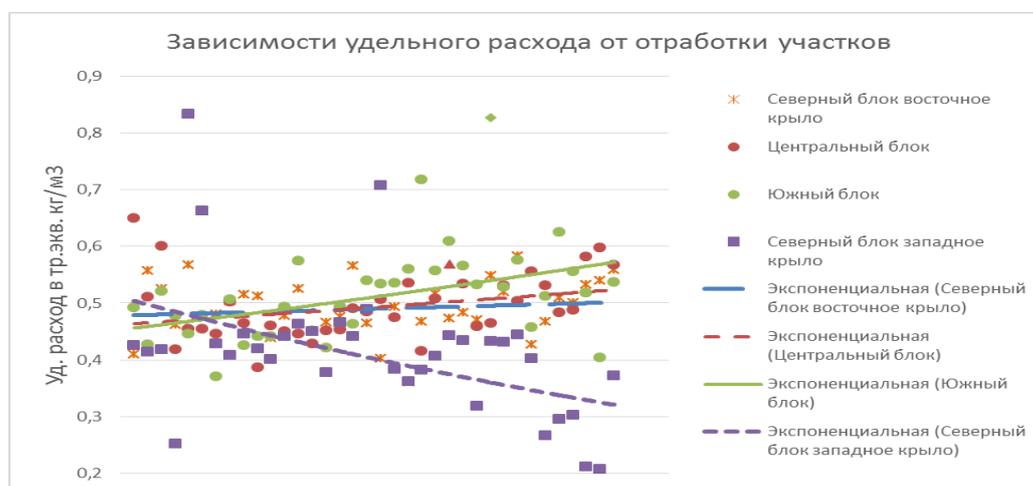


Рисунок 4 – График зависимости удельного расхода ВВ

Анализ полученных зависимостей показал, что в результате периодического проведения взрывных работ на участках, обрабатываемых в более поздние периоды, изменилась структура пород: повысилась трещиноватость массива, снизилась его устойчивость к нагрузкам, что подтверждает снижение удельного расхода взрывчатых веществ на  $m^3$  без изменения качества дробления. Данное проявление говорит о непосредственном влиянии массовых взрывов на устойчивость горного массива, что может привести к пере-

счета устойчивости горных выработок и изменении результирующего угла откоса в меньшую сторону, что повлечет за собой увеличение коэффициента вскрыши и корректировку балансовых запасов угля.

Для подтверждения данной гипотезы были отобраны для анализа и испытаний 24 образца с точек залегания песчаника по кровле VI пласта, на горизонтах +260-+280 м (рисунки 5 и 6).

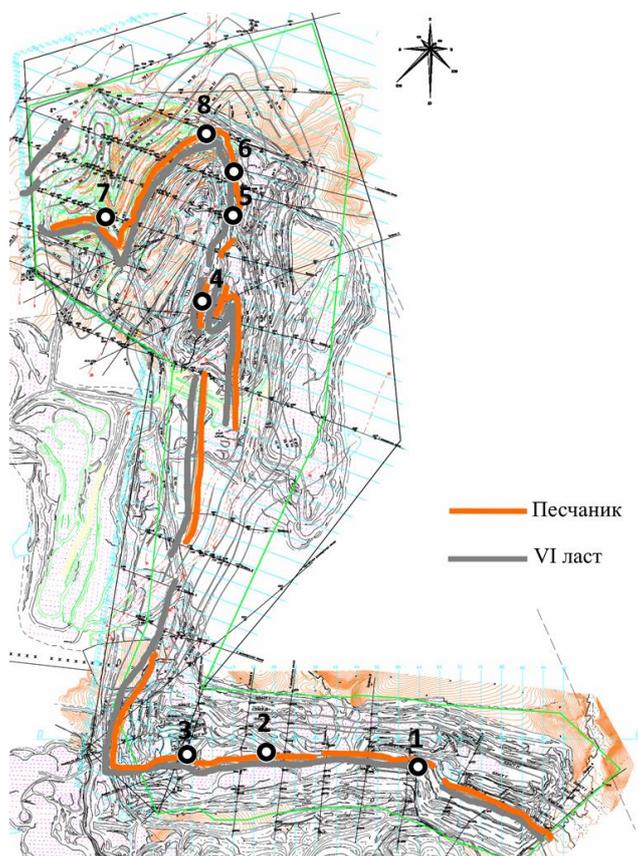


Рисунок 5 – Схема отбора образцов песчаника по кровле VI пласта



Рисунок 6 – Место отбора образцов песчаника по кровле VI пласта

Определяющими факторами для процесса проектирования, являются физико-технические свойства пород, к наиболее важным из которых, помимо прочностных характеристик, относятся хрупкость, вязкость, трещиноватость, пластичность, абразивность, плотность и внутреннее напряжение массива.

Наиболее часто встречающиеся методы испытания прочности пород, являются соотношение между прочностью породы на сжатие и на растяжение, которые в свою очередь отражают хрупко-вязкостные ее свойства и трещиноватость, что позволяет оценить угол бокового скола материала при резании.

Испытанием на срез определяется коэзия и угол внутреннего трения, как правило, мягких (непрочных) пород. Испытания клином и точечной нагрузкой относятся к полевым методам определения прочностных свойств пород и дают возможность быстрого анализа образцов породы непосредственно на месте ведения открытой разработки. При этом, для более прочных пород рекомендуется применение метода испытаний точечной нагрузкой, при котором нет необходимости в предварительной подготовке образцов (рисунок 7).

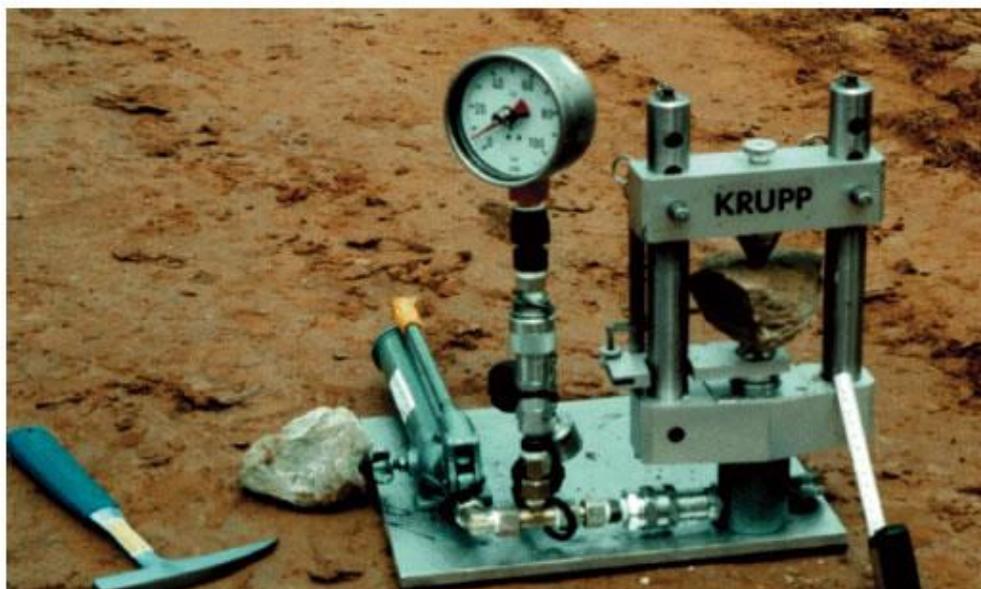


Рисунок 7 – Прибор для испытания пород точечной нагрузкой (Поинт-Лoad-Тест)

Образец может иметь практически произвольную форму. Важнейшее преимущество точечного метода испытаний состоит в возможности проведения значительно большего их числа в определённый промежуток времени и, соответственно, в более высокой точности и низкой себестоимости измерений. Результаты измерения разрушающего усилия и площади минимального поперечного сечения образца целесообразно представить в виде точек на диаграмме с логарифмическим скалированием обеих осей, исходя из полученных расчетов данных проб (рисунок 8).

Modified Point Load Test (MPLT)																			
(modified by ThyssenKrupp Fördertechnik)																			
Клиент:											Дата:	26.10.2021		Zyl.Fl.	1 450	mm <sup>2</sup>			
												Zyl.Hub	0,62	mm/Hub					
Измерения											k <sub>2</sub> =					1,3035	13		
№г.	Название материала	Проба		n	n <sub>in</sub>	ρ	D	e	W	+ΔW	P	D <sub>e</sub> <sup>2</sup>	D <sub>e</sub>	l <sub>s</sub>	F	l <sub>s(60)</sub>	σ <sub>D</sub>	σ <sub>Z</sub>	E <sub>BFS</sub>
		Форма	Ориент.																
1	Проба 1	i	?	11,0	9,0	50,0	45		50		7 250	2 865	53,52	2,53	1,09	2,77	49,38	5,24	2,50
2	Проба 2	i	?	10,0	9,0	80,0	40		60		11 600	3 056	55,28	3,80	1,14	4,33	86,84	8,20	3,75
3	Проба 3	i	?	16,0	13,0	60,0	40		70		8 700	3 565	59,71	2,44	1,26	3,08	56,81	5,83	3,48
4	Проба 3	i	?	11,0	9,0	30,0	30		60		4 350	2 292	47,87	1,90	0,94	1,79	27,28	3,40	1,88
5	Проба 4	i	?	4,0	3,0	40,0	50		60		5 800	3 820	61,80	1,52	1,32	2,00	31,04	3,79	0,50
6	Проба 4	i	?	9,0	8,0	80,0	30		40		11 600	1 528	39,09	7,59	0,73	5,51	115,19	10,44	6,67
7	Проба 4	i	?	8,0	6,0	55,0	60		70		7 975	5 348	73,13	1,49	1,64	2,45	41,75	4,64	0,98
8	Проба 4	i	?	15,0	13,0	160,0	50		80		23 200	5 093	71,36	4,56	1,59	7,24	156,84	13,73	6,50
9	Проба 5	i	?	4,0	3,0	40,0	20		40		5 800	1 019	31,92	5,69	0,56	3,17	59,12	6,01	1,88
10	Проба 5	i	?	5,0	3,0	25,0	20		40		3 625	1 019	31,92	3,56	0,56	1,98	30,68	3,76	1,17
11	Проба 5	i	?	6,0	5,0	50,0	30		70		7 250	2 674	51,71	2,71	1,04	2,83	50,99	5,37	1,49
12	Проба 6	i	?	11,0	9,0	100,0	20		40		14 500	1 019	31,92	14,24	0,56	7,93	173,30	15,03	14,06
13	Проба 6	i	?	18,0	15,0	120,0	60		80		17 400	6 112	78,18	2,85	1,79	5,10	105,36	9,66	4,69

Рисунок 8 – Расчет полученных значений в Поинт-Лоад-Тест

В случае однородности породы точки измерения образуют, как правило, линейно вытянутую полосу разброса определённой ширины. Высота, наклон и ширина этой полосы характеризуют изменение прочности породы в зависимости от величины образца, а ее наклон отражает природную трещиноватость массива.

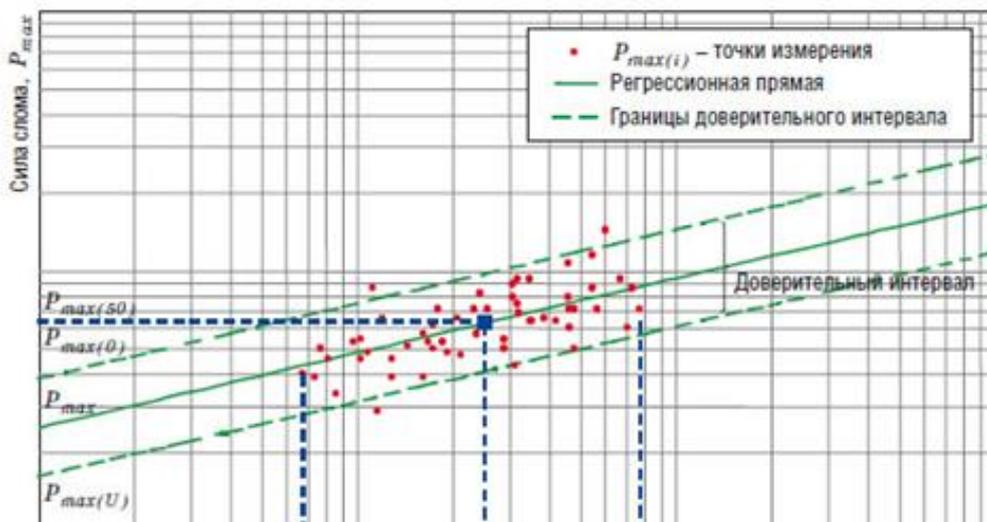


Рисунок 9 – Диаграмма логарифмического скалирования

Основным условием обеспечения устойчивости рабочих бортов и уступов, в том числе и находящихся в стадии постановки их в предельное положение, является соблюдение превышения удерживающих сил над сдвигающими, действующими по наиболее напряженной поверхности в прибортовом массиве.

Геомеханическая оценка устойчивости бортов и уступов и определение параметров, обеспечивающих устойчивость откосов, производилась путем выполнения расчетов по методикам, и расчетным схемам, учитывающим геологические условия участка и напряженное состояние массива (рисунок 10).

При расчетах параметров устойчивости откосов бортов и их элементов

используются расчетные прочностные свойства пород прибортовых массивов (таблицы 1 и 2), определенные с учетом значений физико-механических свойств, полученных при ведении геологоразведочных работ.

$$H = \frac{\kappa^1 \cos \rho^1}{\gamma \cos \beta \sin(\beta - \phi^1) (1 - \sqrt{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta})}$$

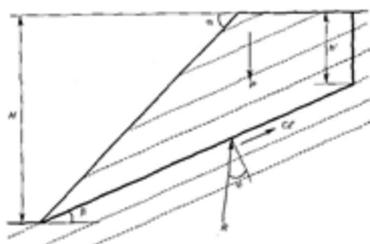


Рисунок 10 – Схема расчета устойчивости участка борта и формула высоты откоса

Таблица 1 – Прочностные свойства пород участка в массиве принятые к расчетам устойчивости

Литотип пород	Объемный вес, т/м <sup>3</sup>	Сцепление, т/м <sup>2</sup>			Угол внутреннего трения, градус		
		коэффициент запаса устойчивости					
		1,0	1,2	1,3	1,0	1,2	1,3
<b>Коренные породы</b>							
Переслаивание алевролитов	2,46	23,18	19,32	17,83	30	25,6	23,9
Переслаивание алевролитов и песчаников	2,49	23,92	19,93	18,40	33	28,4	26,5

Таблица 2 – Параметры откосов бортов и их элементов, обеспечивающие их устойчивость на предельном контуре

Высота откоса элемента борта, м	Угол откоса элемента борта (градус)							
	При падении слоев пород							В зоне нарушений
	В массив	30°	40°	50°	60°	70°		
5	77/72	65	45/40	50/44	57/52	65/60	75/73	65
10	70/68	63	36/33	46/41	52/50	60/56	70/67	63
15	68/66	58	34/32	44/40	51/49	57/55	67/65	58
20	67/64	53	32/31	40/39	50/48	56/54	65/63	53

### Заключение

Анализ полученных зависимостей показал, что в результате периодического проведения взрывных работ на расстоянии от 1,2 до 2,8 км изменилась структура пород; повысилась трещиноватость массива, снизилась его

устойчивость к нагрузкам, что подтверждает снижение удельного расхода взрывчатых веществ на м<sup>3</sup>, по средствам отслеживания динамики на протяжении более 4 лет, совместно со специалистами АО «Разрез «Степановский». Данное проявление говорит о непосредственном взаимодействии массовых взрывов на устойчивость горного массива на расстоянии более 2 километров. Данное проявление подтверждает анализ проб, по средствам расчета полученных значений в Поинт-Лoad-Тест.

По результатам геомеханической оценки устойчивости параметров бортов, откосов уступов, выявлено, что рабочие борта обеспечены нормативным коэффициентом запаса устойчивости, не смотря на отличие от проектных параметров.

Изменение физико-механических свойств пород, в результате проведения массовых взрывов, может привести к пересчету устойчивости горных выработок и изменению результирующего угла откоса в меньшую сторону, что повлечет за собой корректировку балансовых запасов угля.

Взрывные работы рекомендовано осуществлять с применением универсальных запирающих устройств и придонных компенсаторов, которые позволяют снизить негативное влияние от производства взрывных работ, повысить интенсивность дробления, и снизить расход взрывчатых веществ на один взрыв. Не допускать превышения максимальных проектных параметров по расходу взрывчатых веществ и объема блока за один взрыв. Взрывные работы проводить с привлечением специализированной лабораторией, отслеживающей колебания земной поверхности при производстве массовых взрывов, для оперативной корректировки параметров взрывных работ. Специалистам предприятия продолжить вести анализ проведения массовых взрывов, а также научную работу по анализу геомеханических свойств пород, совместно с СибГИУ.

Полученные результаты имеют практическое применение и актуальность исследований для оптимальной отработки месторождения и прогнозирования воздействия отработки интегрированных участков на параметры устойчивости грунтов.

#### Библиографический список

1. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом: Учебник для вузов. – М.: Изд. «Горная книга», 2007. – 471 с.
2. Данные проектной документации «Отработка запасов месторождения «Разведчик» участков недр «Степановский», «Степановский глубокий 1» АО «Разрез «Степановский».
3. Методическое пособие по изучению инженерно - геологических условий угольных месторождений, подлежащих к разработке открытым способом. – Л., Недр, ВНИМИ, 1965г.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>I ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ .....</b>	<b>2</b>
ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ	
<i>Новиков Р.В.</i> .....	3
К ВОПРОСУ О НАХОЖДЕНИИ МНОГООБРАЗИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ СТРОИТЕЛЬНЫХ АРОК	
<i>Устименко А.Е.</i> .....	6
К ВОПРОСУ СИНТЕЗА РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ ПЛОСКИХ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	
<i>Худаев К.А., Соколов А.А., Катан В.И.</i> .....	12
К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕНИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВОГО ПРОФИЛЯ	
<i>Санжаровский А.В.</i> .....	15
СПОСОБ СБОРКИ БЕЗВОДИЛЬНЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ	
<i>Торушпанов К.В.</i> .....	20
МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ МЕХАНИЗМОВ БЕЗ ИЗБЫТОЧНЫХ СВЯЗЕЙ	
<i>Шуберт А.П.</i> .....	25
КОНСТРУКЦИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ДРОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ, РАБОТАЮЩЕЙ НА СДВИГ	
<i>Лубин В.А.</i> .....	28
АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ И ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УДАРНО-ТЯГОВЫХ УСТРОЙСТВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ	
<i>Абдирахманов Ж.А., Джаббаров Ш.Б.</i> .....	32
СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОЗДУХА В КАЧЕСТВЕ ХЛАДАГЕНТА	
<i>Абдирахманов Ж.А., Инояттов К.Х., Жумабеков Б.Ш.</i> .....	37
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СТРАТЕГИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	
<i>Новиков Р. В.</i> .....	40
НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП УСТРОЙСТВА СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ	
<i>Суджаян А.А.</i> .....	43
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ УДАРНЫХ ПРОЦЕССОВ ГИДРОМОЛОТОВ	
<i>Корчуганов В.А.</i> .....	47
К ВОПРОСУ ОБ УСТРАНЕНИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУРАВНОВЕШЕННОСТИ ВОДИЛА В ПЛАНЕТАРНОМ РЕДУКТОРЕ	
<i>Серебряков И.А.</i> .....	52
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСЧЕТОВ КОРРИГИРОВАННЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС	
<i>Дубровская С., Ващенко Е.</i> .....	56
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА	
<i>Соседов Г.Ю., Хромовских В.А.</i> .....	59

СОЗДАНИЕ СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ И ПРИВОДОВ <i>Хромовских В.А., Соседов Г.Ю.</i> .....	63
АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ВЫТЯЖКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА <i>Камко К.Д.</i> .....	65
<b>II ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ</b> .....	72
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ОТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ РАЙОННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ <i>Семичева И.Р.</i> .....	72
АНАЛИЗ РАСЧЕТА РАССЕЙВАНИЯ ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ОТ ЮЖНО-КУЗБАССКОЙ ГРЭС <i>Семичева И.Р.</i> .....	75
ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЮ <i>Гашикова А.О.</i> .....	80
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В КУЗБАССЕ <i>Гашикова А.О., Волченкова О.А.</i> .....	84
МОТИВАЦИЯ РАБОТНИКОВ НА БЕЗОПАСНЫЙ ТРУД <i>Гашикова А.О.</i> .....	89
РЕНТАБИЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК В РОССИИ <i>Беляев К.В., Гассман А.А.</i> .....	95
ПЕРЕРАБОТКА АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО СЫРЬЯ <i>Гашикова А.О.</i> .....	99
ПЛАТЕЖИ ЗА ВРЕДНЫЕ ВЫБРОСЫ И СБРОСЫ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ КАК МЕХАНИЗМ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ <i>Гашикова А.О.</i> .....	104
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ КОНЕВОДСТВА В ФИНЛЯНДИИ <i>Кириляк М.В.</i> .....	107
КУЗБАСС В СВЕТЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ПАРИЖСКОГО СОГЛАШЕНИЯ <i>Кириляк М.В.</i> .....	111
УГЛЕРОДНЫЙ СБОР В СИСТЕМЕ НАЛОГОВЫХ ПЛАТЕЖЕЙ <i>Кириляк М.В.</i> .....	114
ПРОБЛЕМА ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ И ХАРАКТЕРИСТИКА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ НА ИХ ОСНОВЕ <i>Александрова М.Ю.</i> .....	120

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ РАСПЛАВЛЕННЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ <i>Александрова М.Ю.</i> .....	124
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН НА РЕЗИНОВУЮ КРОШКУ <i>Вдовченко А.С.</i> .....	130
ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИИ ПИРОЛИЗА ОТХОДОВ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ И ОТРАБОТАННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН <i>Вдовченко А.С.</i> .....	136
МЕТОДЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕШЛАМОВ И ПОЛУЧЕНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ <i>Жерлицин О.П., Упоров А.А.</i> .....	141
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ <i>Упоров А.А., Жерлицин О.П.</i> .....	146
РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Зотов Д.К.</i> .....	152
ВОЗМОЖНОСТИ ТЕПЛОСИЛОВОГО НАПЫЛЕНИЯ ВЛАЖНОЙ ШИХТЫ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРИСТОСТИ ОКУСКОВАННЫХ ПРОДУКТОВ <i>Зотов Д.К.</i> .....	157
АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ НАПЫЛЕННОГО СЛОЯ ШИХТЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ <i>Капралов С.И.</i> .....	163
ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ ОКОМКОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОКУСКОВАННОГО СЫРЬЯ <i>Капралов С. И.</i> .....	169
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛОМА ОГНЕУПОРНЫХ ФУТЕРОВОК <i>Радиковская Е.С., Суржик Н.Е.</i> .....	175
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРНЫХ ПОКРЫТИЙ <i>Суржик Н.Е.</i> .....	180
ПРОБЛЕМА ПЕРЕРАБОТКИ БЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ <i>Третьяченко О.А.</i> .....	186
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ БЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ <i>Третьяченко О.А.</i> .....	189

ОЦЕНОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННОГО МИНЕРАЛЬНОГО МАСЛА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ <i>Трифонов И.М.</i> .....	195
ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННОГО МИНЕРАЛЬНОГО МАСЛА <i>Трифонов И.М.</i> .....	199
ЗАМЕНА ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТХОДАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ И КАРТОНА <i>Наумов Ф.П.</i> .....	204
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ БУМАГИ И КАРТОНА <i>Наумов Ф.П.</i> .....	209
ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ПЕРЕРАБОТАННЫХ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ И МЕБЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ <i>Омаров Р.А.</i> .....	215
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ <i>Омаров Р.А.</i> .....	220
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ В КАЧЕСТВЕ НЕТРАДИЦИОННОГО ВОССТАНОВИТЕЛЯ ОТРАБОТАННОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ МАСЛО <i>Домнин К.И.</i> .....	225
ПОЛУЧЕНИЕ ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ НА ОСНОВЕ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ <i>Лопатина А.О.</i> .....	231
РОЛЬ ПОВЕДЕНЧЕСКОГО АУДИТА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА <i>Евсейкина М.Г.</i> .....	235
ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЦЕЛЯХ ОБСЛЕДОВАНИЯ ВОДОЕМОВ НА ПРЕДМЕТ ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ ЗАБОРА ВОДЫ АВИАЦИЕЙ МЧС РОССИИ <i>Амосов В.А.</i> .....	238
АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ ПОСТУ ОРЛОВО РЕКА УПА ТУЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЮ <i>Есоян Х.Т.</i> .....	243
МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ МОРСКИХ И РЕЧНЫХ СУДОВ <i>Афанасьева В.И.</i> .....	247
УЧАСТИЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ И САПРОФАГОВ В ПЕРЕРАБОТКЕ ПРОМЫШЛЕННО-БЫТОВЫХ ОТХОДОВ <i>Захарова М.А., Домнин К.И.</i> .....	251

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ <i>Зубков И.Д.</i> .....	256
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБРОВОЛЬНЫХ ПОЖАРНЫХ ДРУЖИН, ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИСПОСОБЛЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ <i>Огуцов Д.А., Теплых М.Ю.</i> .....	261
ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ УСТАНОВКИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ШЛАМА НА УМЕНЬШЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ <i>Синило А.В.</i> .....	265
ВАРИАНТ УТИЛИЗАЦИИ ШЛАМА ГАЗООЧИСТОК КИСЛОРОДНО- КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ <i>Синило А.В.</i> .....	269
ТЕХНОЛОГИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО ОБОГАЩЕНИЯ НА АБАГУРСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ <i>Захарова М.А., Костин К.В., Шаньшина Е.В., Нелена Н.Ю.</i> .....	273
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ОТ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ КОТЕЛЬНЫХ НА РАЗЛИЧНОМ ТОПЛИВЕ <i>Уколова А.Н.</i> .....	278
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В ОКРУГАХ МОСКВЫ <i>Хайретдинова З.З.</i> .....	282
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЦИОНАЛЬНОМУ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЮ: ТВЕРДОФАЗНАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ КУЛЬТУРОЙ <i>PLEUROTUS OSTREATUS</i> <i>Ягудина Г.З., Садаева А.К.</i> .....	285
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ <i>Дробышев В.К., Романова В.А., Алюханов А.А.</i> .....	290
ПЕРЕРАБОТКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ <i>Забродин И.С.</i> .....	293
АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ПОДСТАНЦИИ <i>Романова В.А.</i> .....	298
ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД, ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ ОТРАБОТКИ УЧАСТКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ <i>Климкин М.А.</i> .....	304

Научное издание

# **НАУКА И МОЛОДЕЖЬ: ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Выпуск 26**

*Труды Всероссийской научной конференции студентов,  
аспирантов и молодых ученых*

**Часть II**

Под общей редакцией  
Технический редактор  
Компьютерная верстка

С.В. Коновалова  
Г.А. Морина  
Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 11.05.2022 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 18,41 Уч.-изд. л. 20,56 Тираж 300 экз. Заказ № 128

Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42  
Издательский центр СибГИУ