

На правах рукописи

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'В. Зубов', is written over a light blue rectangular stamp.

**ЗУБОВ Виктор Владимирович**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ПРОХОДЧЕСКИХ БУНКЕР - ПЕРЕГРУЖАТЕЛЕЙ  
ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**

**05.05.06 – Горные машины**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Екатеринбург - 2021**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова».

**Научный руководитель –**

Носенко Алексей Станиславович, доктор технических наук, профессор.

**Официальные оппоненты:**

**Лукиенко Леонид Викторович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого», заведующий кафедрой «Агроинженерии и техносферной безопасности».

**Пушкарев Александр Евгеньевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические машины»;

**Ведущая организация** - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет»

Защита состоится «\_01\_» \_марта\_ 2022\_ г. в \_13-30\_ часов на заседании диссертационного совета Д 212.280.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», в зале заседаний Ученого совета по адресу:

620144, г. Екатеринбург, ГСП, ул. Куйбышева, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» <http://www.ursmu.ru>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор



М.Л. Хазин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** При проведении горных выработок на предприятиях по добыче полезных ископаемых, строительстве транспортных и технологических тоннелей, других подземных объектах, широкое применение находят горнопроходческие комбайны избирательного действия в сочетании с автомобильным магистральным транспортом периодического действия.

С одной стороны, комбайновая технология, при прочих достоинствах, позволят непрерывно производить работы по разрушению забоя с достаточно высокими темпами. С другой, автомобильный транспорт обеспечивает перемещение разрушенной горной массы на различные расстояния, в зависимости от применяемой технологии. Следует отметить, что значительная часть строительства подземных сооружений, производится в условиях плотной городской застройки. Это накладывает определенные ограничения на применяемые технологии с точки зрения экологической безопасности, напрямую относится к способам вывоза горной массы, образовавшейся в процессе проведения горной выработки за пределы населенных пунктов. Данное ограничение обуславливает значительные расстояния перевозки, осуществляемые по дорогам общего пользования, и как следствие – невозможность применения специализированной техники. В связи с этим, возникает необходимость разработки и обоснования технологии загрузки автосамосвалов непосредственно в проходческом забое при помощи бункер – перегружателей, для обеспечения возможности дальнейшего выполнения технологических операций.

Таким образом, разработка принципиально новых конструктивных технических решений, исследование рабочих процессов и разработка методики выбора рациональных параметров бункер - перегружателей периодического действия, с целью эффективного использования их в технологической цепочке «горнопроходческая машина - магистральный транспорт», является **актуальной научной задачей** и соответствует потребностям развития производственной базы горных предприятий.

### **Степень разработанности темы исследования.**

Вопросами совершенствования горнопроходческой техники занимались ученые: докт. техн. наук Г. В. Родионов, А. Д. Костылев, Я. Б. Кальницкий, С. С. Музгин, А. А. Соловьев, С. А. Полуянский, Л. И. Кантович, Г. Ш. Хазанович, В. И. Гетопанов, А. А. Хорешок, Ю. В. Дмитрак, Н. И. Сысоев, Б. А. Верклов, В. А. Бреннер, А. Б. Жабин, М. Г. Рахутин, В. В. Габов, Д. А. Юнгмейстер, В. В. Сергеев, А. П. Комиссаров, Ю. А. Лагунова, А. Е. Пушкарев, Л. В. Лукиенко, Ю. М. Ляшенко, Э. Ю. Воронова; канд. техн. наук О. П. Иванов, В. Г. Сильня, Р. В. Каргин, А. А. Остановский, А. В. Отроков и др.

В результате проведенных ранее исследований, установлено, что одним из направлений повышения производительности и эффективности транспортирования крупнокусковых сыпучих материалов является разработка перегружателей на основе применения клинового тягово-транспортирующего органа с гидроприводом возвратно-поступательного действия и изменяемой высо-

той транспортирующих элементов. Разработаны методики выбора их параметров, на основе результатов исследований взаимодействия транспортирующих элементов с транспортируемым материалом. Однако, предложенные модели не учитывают ряд факторов, присущих разрабатываемым бункер-перегрузателям.

**Цели темы исследования.** Разработка конструкций и обоснование параметров бункер - перегружателя периодического действия, обеспечивающего повышение эффективности проведения горных выработок за счет согласования работы горнопроходческой машины и магистрального транспорта.

**Задачи темы исследования:**

- моделирование и теоретические исследования переходных процессов в гидроприводе бункер - перегружателей в различных режимах работы с целью обоснования максимально допустимых скоростей нагребующих и транспортирующих элементов;

- разработка технических решений бункер – перегружателей с учетом результатов исследований динамических процессов;

- математическое моделирование работы перегружателя на основе графо-аналитических исследований процессов взаимодействия сыпучего материала с транспортирующим элементом;

- разработка, создание и проведение комплекса экспериментальных исследований на физической модели перегружателя с целью подтверждения и уточнения математической модели;

- обоснование основных положений методики выбора рациональных параметров опытно-экспериментального образца бункер – перегружателя периодического действия.

**Научная новизна** заключается в том, что:

- вывод о возможности повышения эффективности функционирования горнопроходческой системы, за счет согласования технологических операций по разрушению забоя и транспортировки горной массы, путем использования промежуточного погрузочно-транспортного элемента в виде бункер - перегружателя периодического действия отличается тем, что он предусматривает обеспечение непрерывной работы горнопроходческой машины при реализации минимального времени загрузки транспортного средства;

- установленные закономерности, используемые для определения максимально допустимой длины транспортирования сыпучего материала, исходя из условия обеспечения непрерывности грузопотока, отличаются тем, что учитывают зависимость формирования зон деформации от гранулометрического состава транспортируемого материала коэффициентом вида груза  $k_{в.г.}$ , математическая интерпретация которого имеет вид  $k_{в.г.} = 1 + (d_{ср}/H_{сл})^2$ ;

- разработанная методика выбора параметров бункер - перегружателя отличается тем, что в качестве целевой функции при проведении оптимизации принят критерий достижения максимального однократного объема перемещения горной массы, достаточного для заполнения транспортного средства, при реализации минимального времени его загрузки, с ограниченной скоростью движения транс-

портирующих элементов.

**Теоретическая значимость работы** состоит в установлении закономерностей формирования грузопотока в бункер - перегружателе периодического действия.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что разработанная методика выбора основных параметров бункера - перегружателя позволяет обоснованно выбирать его параметры на стадии проектирования по критерию достижения максимального однократного объема перемещения горной массы, достаточного для заполнения транспортного средства.

**Методология и методы исследований.** При выполнении теоретических исследований использовались современные методики сбора и обработки исходной информации, основные положения и методы математического и имитационного моделирования. Использован достаточный объем статистической информации, применены статистические методы планирования и обработки экспериментов.

**Положения, выносимые на защиту:**

- повышение эффективности функционирования горнопроходческой системы, за счет согласования технологических операций по разрушению забоя и транспортировки горной массы, возможно путем использования промежуточного погрузочно-транспортного элемента в виде бункер - перегружателя периодического действия;

- максимально допустимая длина транспортирования сыпучего материала определяется исходя из условия обеспечения непрерывности грузопотока, функционально зависит от гранулометрического состава и имеет локальный оптимум при соотношении диаметра транспортируемого куска к высоте слоя перемещаемого материала в пределах 1 - 1,5;

- методика выбора параметров бункер - перегружателя, согласующего работу подсистемы «горнопроходческая машина - магистральный транспорт» по критерию достижения максимального однократного объема перемещения горной массы, достаточного для заполнения транспортного средства.

**Степень достоверности:** подтверждается использованием современного вычислительного оборудования и компьютерного программного обеспечения для выполнения расчетов и обработки экспериментальных данных; оценками адекватности результатов теоретических и экспериментальных исследований (расхождение расчетных и опытных данных в большинстве точек исследованной области не превышает 20 %, что удовлетворяет данному типу исследований); достаточным объемом экспериментальных данных, полученных с достоверной вероятностью не менее 0,9 и величиной относительной ошибки не более 10 %.

**Апробация результатов.** Основные результаты диссертационной работы доложены и одобрены на научных конференциях: симпозиум «Неделя Горняка 2017-2020», г. Москва; Международная научно-техническая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики» IPDME-2017, 23-24 марта 2017 года, г. Санкт-Петербург, на базе Санкт-Петербургского горного университета; научно-практические конференции Шахтинского автодорожного института (филиала) ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова.

**Личный вклад соискателя:**

- разработка конструктивно-кинематических схем проходческих бункер-перегрузателей периодического действия нового технического уровня;
- установление и экспериментальное подтверждение закономерностей формирования зон деформации крупнокускового сыпучего материала в бункер-перегрузателе периодического действия;
- разработка и научное обоснование методики выбора оптимальных параметров бункер-перегрузателя, согласующего работу подсистемы «горнопроходческая машина - магистральный транспорт»;

**Реализация результатов работы:**

- получен акт о внедрении результатов исследований в ООО «ШУ Садкинское», при разработке перспективных технологических схем для строительства подготовительных выработок комбайновым и буровзрывным способами с применением бункер - перегружателя и автомобильного транспорта;
- получен патент на изобретение № 2664616 Рос. Федерация. Конвейер для транспортирования сыпучих и кусковых материалов;
- получен патент на изобретение № 2702211 Рос. Федерация. Конвейер для транспортирования сыпучих и кусковых материалов;
- получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020610066. Выбор оптимальных параметров бункер-перегрузателя;
- получен патент на изобретение № 2724041 Рос. Федерация. Конвейер для транспортирования сыпучих и кусковых материалов.

**Публикации.** По материалам диссертационной работы опубликовано 10 научных работ, из них работ, опубликованных в рецензируемых научных журналах по группе научных специальностей 05.05.00 - транспортное, горное и строительное машиностроение – 3; в рецензируемых научных журналах – 1; в изданиях, включенных в наукометрическую базу данных Scopus – 1, патентов на изобретение РФ – 3; свидетельств на программы для ЭВМ – 1.

**Структура и объём.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 115 наименований, и двух приложений. Работа изложена на 92 страницах текста содержащих 36 рисунков и 9 таблиц.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** приведена общая характеристика работы, сформулированы цель и задачи работы, изложены защищаемые научные положения, научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов исследований.

**Первая глава** посвящена изучению состояния вопроса и постановке задач исследований.

Анализ литературных источников в области научных исследований, посвященных механизации горнопроходческих работ, позволил сделать ряд выводов, наметить цели и задачи работы.

Так, для разработки бункер – перегружателя в составе проходческой машины и автомобильный транспорт, необходимо выполнить следующие работы.

1. Моделирование и теоретические исследования переходных процессов в

гидроприводе бункер - перегружателей в различных режимах работы с целью обоснования максимально допустимых скоростей нагребавших и транспортирующих элементов.

2. Разработка технических решений бункер – перегружателей с учетом результатов исследований динамических процессов.

3. Математическое моделирование работы перегружателя на основе графо-аналитических исследований процессов взаимодействия сыпучего материала с транспортирующим элементом.

4. Разработка, создание и проведение комплекса экспериментальных исследований на физической модели перегружателя с целью подтверждения и уточнения математической модели.

5. Обоснование основных положений методики выбора рациональных параметров опытно-экспериментального образца бункер – перегружателя периодического действия.

**Вторая глава** посвящена теоретическим исследованиям гидропривода поступательного действия бункер - перегружателя периодического действия.

Цель расчетов – установление допустимых скоростей транспортирующих элементов для обоснования функций - ограничений при моделировании работы, проектируемых бункер - перегружателей с гидроприводом.

Приведена универсальная математическая модель, учитывающая динамические особенности работы бункер - перегружателя с гидроприводом поступательного действия. Для расчетов принята многомассовая динамическая схема. По результатам расчетов сделаны следующие выводы.

1. Переходные процессы в гидроприводе проходческих бункер - перегружателей сохраняют устойчивый характер, являются затухающими, с коэффициентом динамичности и постоянной переходного процесса, напрямую зависящими от скорости перемещения транспортирующих элементов, от их масс и моментов инерции.

2. Исследования по изучению влияния скоростных характеристик гидропривода, проведенные с помощью разработанных моделей, позволили определить их допустимые пределы изменения.

**Третья глава** посвящена разработке и математическому моделированию работы проходческого бункер - перегружателя периодического действия.

Цель - повышение производительности и эффективности транспортирования сыпучих и кусковых материалов за счет выбора рациональной схемы и параметров бункер - перегружателя.

Поставленная цель достигается тем, что в конвейере, содержащем продольные борта, днище, установленное неподвижно относительно бортов, приводные силовые цилиндры, транспортирующие элементы выполнены в виде двух пластин, шарнирно соединенных друг с другом, при этом, одна из пластин шарнирно соединена с приводными гидроцилиндрами, а вторая пластина кинематически связана с бортами конвейера.

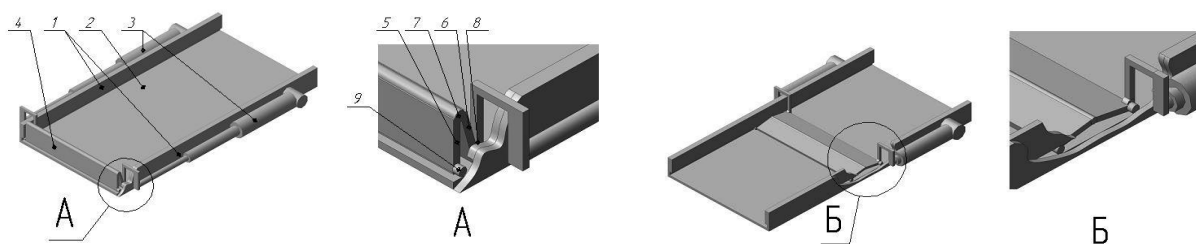


Рис.1. Конвейер для транспортирования сыпучих и кусковых материалов периодического действия

Разработана математическая модель работы бункер – перегружателя. Расчетная схема для моделирования представлена на рис. 2.

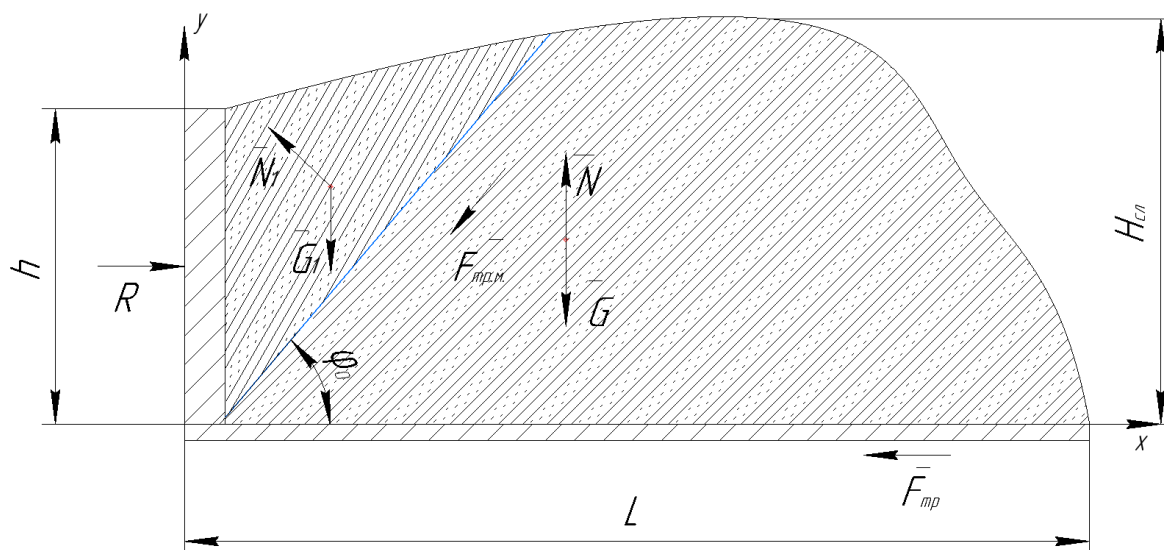


Рис. 2. Расчетная схема для определения параметров бункер - перегружателя периодического действия:

$N, N_1$  – реакции опоры,  $G, G_1$  – сила тяжести,  $F_{тр}$  – сила трения материала по днищу,  $F_{тр.м.}$  – сила, соответствующая предельному напряженному состоянию штабеля,  $\varphi_0$  – угол естественного откоса,  $L$  – длина бункер - перегружателя,  $h$  – высота транспортирующего элемента,  $H_{сл}$  – высота слоя материала,  $R$  – сила перемещения материала.

Производительность бункер – перегружателя:

$$Q = B_{п} \cdot H_{сл} \cdot v, \quad (1)$$

где  $B_{п}$  – ширина бункер - перегружателя, м;  $v$  – скорость транспортирующего элемента, м/с.

Максимальный объем материала в бункер – перегружателе:

$$V_{max} = B_{п} \cdot H_{сл} \cdot L. \quad (2)$$

Максимальная длина перегружателя, обеспечивающая неразрывность грузопотока, определяется из соотношения  $R = F_{тр} \leq F_{тр.м.}$

Данное выражение подразумевает состояние исследуемой системы, при котором, погружаемый материал перемещается по перегружателю непрерывным потоком. Т.е. состояние, когда сила на перемещение материала  $R$ , равная силе трения  $F_{тр}$ , не превышает силу, соответствующую предельному напряженному состоянию штабеля  $F_{тр.м.}$ , которая в свою очередь зависит от физико-механических свойств транспортируемого материала, в том числе от угла



внутреннего трения  $\rho_0$ , коэффициента трения погружаемого материала по желобу перегружателя  $\mu_{\text{тр}}$  и коэффициента внутреннего трения транспортируемого материала  $\mu_{\text{тр.м}}$ .

Со стороны транспортирующего элемента, на призму выпирания материала, находящегося в предельном напряженном состоянии, в поверхности скольжения возникают кулоновские силы: сила трения грунта по грунту  $F_1$ , сила сцепления грунта  $F_{\text{сц}}$  и нормальная сила  $N$ . Силы сцепления обусловлены слипанием частиц материала, именно эти силы превращают глину и грунт в камнеподобное тело при уменьшении влаги.

Таким образом, физическое свойство сцепления присуще материалам, в составе которых имеется соответствующее количество мельчайших частиц, которые при увлажнении превращаются в цементобразное тело, придающее связность более крупным частицам. Таким свойством не обладают: щебень, галька, кусковые полезные ископаемые в горной промышленности и другие материалы. Кроме того, сыпучие материалы при малой влажности обладают незначительным сцеплением, поэтому в расчетах, силы сцепления не учитываются. Основными параметрами кусковых сыпучих материалов являются: средний размер куска, коэффициент трения скольжения материала по стальному днищу, коэффициент трения материала по неподвижному материалу, насыпная объемная плотность материала в штабеле и др. Относительная кусковатость материала характеризуется отношением размера (диаметра) куска  $d_{\text{ср}}$  к высоте транспортирующего элемента  $h$ , которая может изменяться в пределах  $0,25 \div 0,30$ .

Коэффициент трения скольжения материала по стали  $\mu_{\text{тр}}$  равен тангенсу угла скольжения материалов по стальной поверхности, значение которого обычно не превышает  $40^\circ$ . Поэтому коэффициент  $\mu_{\text{тр}}$  в реальных условиях изменяется в пределах  $\mu_{\text{тр}} = 0,30 \div 0,84$ . Коэффициент внутреннего трения транспортируемого материала  $\mu_{\text{тр.м}} = \text{tg} \rho_0$ .

После ряда преобразований согласно расчетной схеме, представленной на рис. 1, получим следующее исходную систему уравнений

$$F_{\text{тр}} = B_{\text{п}} \cdot H_{\text{сл}} \cdot L \cdot \rho \cdot g \cdot \mu_{\text{тр}}, \quad F_{\text{тр.м}} = S_{\text{пр}} \cdot B_{\text{п}} \cdot \rho \cdot g \cdot \mu_{\text{тр.м}}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность материала,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

Исходное уравнение имеет вид

$$B_{\text{п}} \cdot H_{\text{сл}} \cdot L \cdot \rho \cdot g \cdot \mu_{\text{тр}} \leq S_{\text{пр}} (\cos \varphi_0 \cdot \mu_{\text{тр.м}} + \sin \varphi_0) \cdot B_{\text{п}} \cdot \rho \cdot g / \cos \varphi_0, \quad (4)$$

где  $S_{\text{пр}}$  – площадь призмы выпирания материала.

После сокращения равных параметров, входящих в обе части уравнения, получим следующее выражение для определения допустимой длины бункер - перегружателя периодического действия

$$L \leq S_{\text{пр}} (\cos \varphi_0 \cdot \mu_{\text{тр.м}} + \sin \varphi_0) / \cos \varphi_0 \cdot H_{\text{сл}} \cdot \mu_{\text{тр}}. \quad (5)$$

Объем погружаемого материала перемещается по желобу непрерывным потоком, при неизменной высоте слоя, совпадающим по величине с высотой транспортирующего элемента. В этом случае площадь призмы выпирания можно определить по формуле

$$S_{\text{пр}} = h^2 \cdot \text{ctg} \varphi_0 / 2. \quad (6)$$

Тогда допустимая длина бункер - перегружателя периодического действия

определяется как

$$L \leq H_{\text{сл}} \cdot \text{ctg} \varphi_0 \cdot (\mu_{\text{тр.м.}} + \text{tg} \varphi_0) / 2\mu_{\text{тр.}} \quad (7)$$

В случае равенства углов естественного откоса и угла внутреннего трения, т.е. когда  $\mu_{\text{тр.м.}} = \text{tg} \rho_0 = \text{tg} \varphi_0$  выражение принимает вид

$$L \leq H_{\text{сл}} / \mu_{\text{тр.}} \quad (8)$$

Искомая функциональная система

$$\begin{aligned} Q &= f(B_{\text{п}}, H_{\text{сл}}, v), \\ L &= f(\mu_{\text{тр.}}, \mu_{\text{тр.м.}}, B_{\text{п}}, h, H_{\text{сл}}, \rho, \varphi_0) \\ R &= f(\mu_{\text{тр.}}, \mu_{\text{тр.м.}}, B_{\text{п}}, h, H_{\text{сл}}, \rho, \varphi_0). \end{aligned} \quad (9)$$

Разработана методика проведения эксперимента по изучению влияния переменных факторов на искомые функции, с последующим подтверждением адекватности математических моделей реальному процессу погрузки. В частности, зависимость допустимой длины бункер - перегружателя периодического действия от высоты слоя материала, высоты толкающего элемента, коэффициента трения материала по желобу.

$$L = f(\mu_{\text{тр.}}, \mu_{\text{тр.м.}}, B_{\text{п}}, h, H_{\text{сл}}, \rho, \varphi_0). \quad (10)$$

В эксперименте использован метод исследования влияния одного из параметров, при постоянных значениях остальных, так называемых базовых параметрах. При этом значения угла естественного откоса принимается в зависимости от вида транспортируемого материала, характеризуемого значением плотности. Скорость перемещения транспортирующего элемента, не варьируется, а принимается по результатам исследований, приведенных во второй главе, равной 0,1 м/с.

При принятой системе допущений, такие переменные параметры, как  $\mu_{\text{тр.м.}}$ ,  $B_{\text{п}}$ ,  $\rho$ ,  $\varphi_0$  на допустимую длину бункер - перегружателя периодического действия не оказывают существенного влияния. Поэтому, фактически, проведены исследования по изучению влияния высоты слоя материала и коэффициента его трения на допустимую длину бункер - перегружателя периодического действия при значениях базовых параметров, приведенных в таблице 1.

Таблица 1

Значения базовых параметров исследуемой системы

$\mu_{\text{тр}}$	$\mu_{\text{тр.м.}}$	$B_{\text{п}}$	$h$	$H_{\text{сл}}$	$\rho$ ( $\varphi_0$ )
0,3	0,85	2	0,5	0,5	2200 (40)

Однако, как свидетельствуют проведенные ранее исследования, гранулометрический состав транспортируемого материала, характеризуемый средним диаметром куска, оказывает существенное влияние на формирование зон деформации и, как следствие, на допустимую длину бункер - перегружателя периодического действия. Влияние указанного параметра планируется учесть коэффициентом вида груза  $k_{\text{в.г.}}$ , полученным в результате проведения экспериментальных исследований. Тогда, выражение для допустимой длины бункер - перегружателя периодического действия принимает вид  $L \leq k_{\text{в.г.}} \cdot H_{\text{сл}} / \mu_{\text{тр.}}$ .

Результаты эксперимента графически представлены на рис. 3.

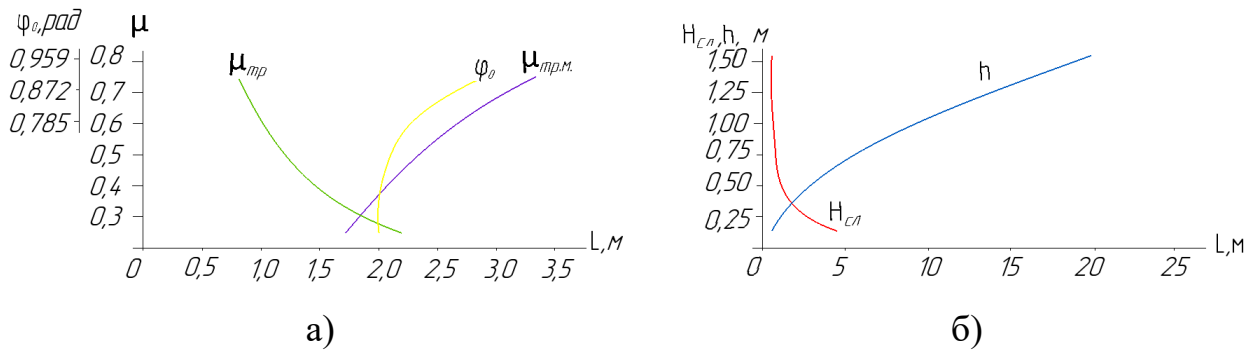


Рис. 3. Зависимость длины перегружателя:

а) от коэффициентов трения и угла естественного откоса; б) от высоты слоя материала и высоты толкателя

**Четвертая глава** посвящена экспериментальным исследованиям и разработке инженерной методики выбора параметров бункер - перегружателя. Для проверки результатов, полученных при математическом моделировании процесса работы бункер - перегружателя периодического действия разработана и создана экспериментальная установка, которая представляет собой действующую модель, выполненную в масштабе 1:10 (рис. 4).

Установка состоит из рамы маслостанции 1, выполненной из металлического уголка 50x50x3, емкости для масла (бак) 2, емкости с материалом 11, электродвигателя асинхронного 3, работающего от сети 380В, масляного насоса шестеренного Г11-22А 4, гидрораспределителя 5 моноблочного типа Badestnost 01P40-A1GKz1, рамы 7, на которую установлен гидроцилиндр 8 и желоба 10, в котором расположен толкающий элемент 9, шарнирно соединенный с гидроцилиндром 8.

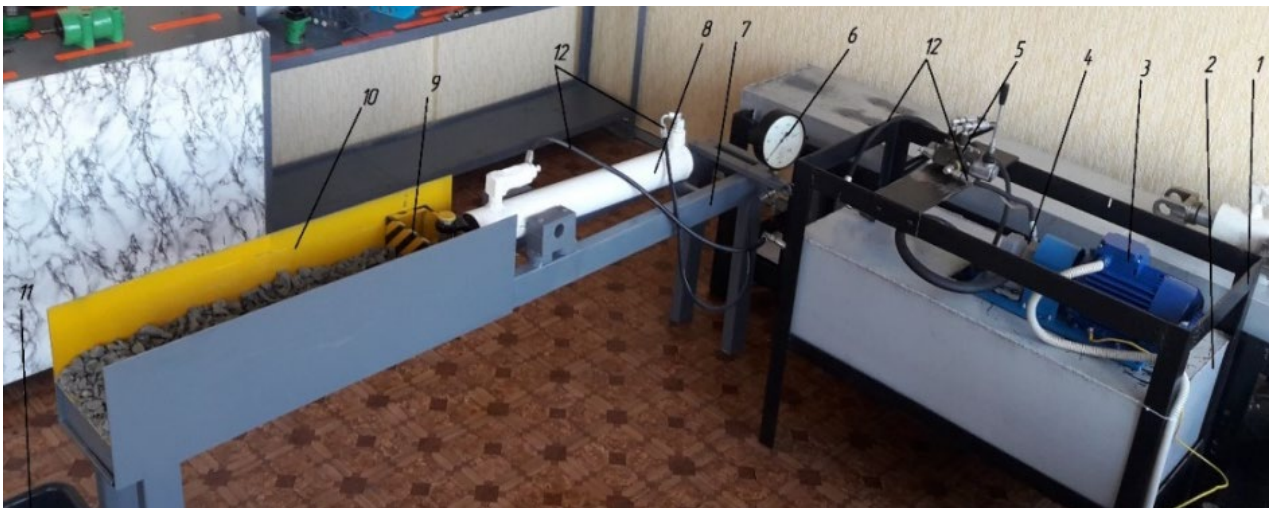


Рис. 4. Экспериментальная установка

1 - рама маслостанции, 2 - бак, 3 - электродвигатель, 4 - насос, 5 - гидрораспределитель, 6 - манометр, 7 - рама, 8 - гидроцилиндр, 9 - толкающий элемент, 10 - желоб, 11 - емкость с материалом, 12 - рукав высокого давления (РВД).

Исходя из принятого масштаба установки в качестве сыпучего материала, выбран щебень двух фракций: 15 – 30 мм и 50 – 70 мм (рис. 5. а - фракция 15 - 30 мм, б - фракция 50 - 70 мм).



Рис. 5. Исследуемый сыпучий материал

Сыпучий материал загружается в желоб перегружателя вручную, выгрузка происходит в специальную емкость выталкиванием массы материала транспортирующим элементом при помощи гидроцилиндра.

В качестве главного исследуемого параметра принята фактическая максимально допустимая длина перегружателя, обеспечивающая в заданных условиях реализацию одного из режимов работы. Методика определения фактической допустимой длины перегружателя  $L_{\text{ф}}$ , заключается в следующем. В соответствии с таблицей 1 формируется исследуемый погружаемый материал в желобе конвейера длиной, равной расчетному значению, и производится его перемещение посредством толкающего элемента с фиксацией выполнения или невыполнения требуемого режима движения. Каждый опыт выполняется не менее 7 раз.

Затем, определяется вероятность достижения положительного результата, и если она оказывается выше заданного значения, то длина увеличивается на величину, пропорциональную среднему диаметру погружаемого куска, и опыт повторяется.

В случае, если вероятность – меньше заданной, то длина соответственно уменьшается. Фактической допустимой длиной перегружателя считается математическое ожидание зафиксированных длин, при которых полученная вероятность соответствует заданной.

После выполнения всех опытов, соответствующих одному режиму, определяется математическое ожидание значений фактической допустимой длины и вычисляется коэффициент корреляции полученных результатов, с результатами расчетов.

В результате проведенных экспериментов и обработки результатов, уточняются теоретически разработанные модели, за счет получения численных значений коэффициента  $k_{\text{в.г.}}$ , учитывающего влияния гранулометрического состава транспортируемого материала.

Задавшись доверительной вероятностью равной 0,8, получим значение фактической допустимой длины перегружателя  $L_{\text{ф}} = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^n L_i$  при  $p \geq p_{\text{доп}}$

$$L_{\text{ф}} = 1/4(0,4 + 0,385 + 0,415 + 0,43).$$

Расчетное значение допустимой длины перегружателя для данных условий составляет  $L \leq H_{\text{сл}} / \mu_{\text{тр}}$ ,

$$L \leq 0,1/0,25 = 0,4.$$

Таким образом, эксперимент практически полностью подтверждает теоретические выкладки для данных условий.

Задавшись доверительной вероятностью равной 0,8, получим значение фактической допустимой длины перегружателя  $L_{\phi} = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^n L_i$  при  $p \geq p_{\text{доп}}$

$$L_{\phi} = 1/7(0,4 + 0,35 + 0,45 + 0,5 + 0,55 + 0,6 + 0,65) = 0,5.$$

Расчетное значение допустимой длины перегружателя для данных условий составляет

$$L \leq 0,1/0,25 = 0,4.$$

В данном случае, экспериментальное значение допустимой длины перегружателя значительно превышает расчетное. При построении гипотезы, было сделано предположение, что гранулометрический состав погружаемого материала будет влиять на физическую картину взаимодействия транспортирующего элемента с сыпучей средой, что предложено учитывать коэффициентом, зависящим от среднего размера погружаемого куска. Более точно коэффициентом, функционально зависящим от отношения размера куска к высоте слоя материала.

Результаты эксперимента для соотношения названных параметров равному 1, показали наибольшее отклонение фактической длины перегружателя по отношению к расчетной в сторону увеличения. Объяснение данному факту можно найти в том, что при приближении размера среднего погружаемого куска к высоте слоя материала, значение  $\text{tg} \rho_0$  превышает  $\text{tg} \phi_0$ , теоретически стремясь к бесконечно большому числу. В нашем случае, можно считать, что математическая интерпретация коэффициента имеет вид

$$k_{\text{в.г.}} = 1 + (d_{\text{ср}}/H_{\text{сл}})^2. \quad (11)$$

Формула справедлива в диапазоне проведенных экспериментальных исследований  $0 \leq d_{\text{ср}}/H_{\text{сл}} \leq 1$ .

Таким образом, формула для определения допустимой длины перегружателя, принимает вид

$$L = (1 + (d_{\text{ср}}/H_{\text{сл}})^2) H_{\text{сл}} / \mu_{\text{тр.}} \quad (12)$$

Проведенные экспериментальные исследования позволили уточнить математическую модель определения допустимой длины бункер - перегружателя с гидравлическим приводом транспортирующего элемента периодического действия и подтвердили ее адекватность.

Далее, приведены основные положения инженерной методики выбора параметров бункер - перегружателя.

Принципиальным, при формулировании целевой функции и системы ограничений, является вопрос о технологии работы бункер - перегружателя в составе горнопроходческого оборудования.

Необходимо стремиться к такому сочетанию параметров бункер - перегружателя, при котором загрузка последующего транспортного средства производилась бы с минимальным количеством циклов, желательно за один проход транспортирующего элемента по желобу перегружателя. Математически это условие можно записать в виде неравенства, которое будет главным ограни-

чением при выборе параметров бункер - перегружателя периодического действия

$$V_{\max} \geq V_{\text{тр.с.}}$$

где  $V_{\max}$  – максимальный объем материала в бункер - перегружателя, м<sup>3</sup>;  $V_{\text{тр.с.}}$  – объем кузова транспортного средства (самоходного вагона), м<sup>3</sup>.

Следует отметить, что критерием эффективности эксплуатации объекта может выступать функция ограничения одного из параметров системы с заданной областью допустимых значений в зависимости от постановки задач и цели создания объекта. Тогда, следуя данному утверждению, в качестве целевой функции, при дальнейшем проектировании, могут выступать как производительность, энергоемкость процесса, так и любые другие параметры, обоснованно включенные в систему ограничений. В качестве критерия оптимальности выбираемых параметров бункер - перегружателя, в данном случае, принята производительность за чистое время погрузки  $Q$ , которая связана корреляционной зависимостью с себестоимостью работ проходческого цикла.

В качестве критерия оптимальности выбираемых параметров бункер - перегружателя периодического действия, в данном случае, принята производительность за чистое время погрузки  $Q$ .

Целевая функция

$$Q = B_{\text{п}} \cdot H_{\text{сл}} \cdot v \rightarrow \max \quad (13)$$

где  $B_{\text{п}}$  – ширина бункер - перегружателя, м;  $v$  – скорость транспортирующего элемента, м/с.

Система ограничений представляет собой математически формализованные условия работы и требования, предъявляемые к проектируемому бункер - перегружателю. К ним относятся следующие.

1. Ограничения по размещению перегружателя в забое, взаимодействию его с горнопроходческой машиной и автосамосвалом с точки зрения геометрических размеров:

- ширина желоба бункер - перегружателя  $B_n$  должна, с одной стороны, обеспечивать возможность принятия горной массы от горнопроходческой машины и формирование грузопотока по длине става перегружателя; с другой
- обеспечивать загрузку кузова автосамосвала с наилучшими показателями заполнения без просыпания, и, в то же время - обеспечивать размещение перегружателя в забое по условию его вписывания в выработку определенного сечения

$$B_{\text{пр.ком}} \leq B_{\text{п}} \leq B_{\text{тс}}; \quad (14)$$

- длина бункер - перегружателя должна быть не меньше диаметра среднего куска породы, а максимальная длина должна обеспечивать перемещение перегружаемого материала по желобу непрерывным потоком, при неизменной высоте слоя, совпадающим по величине с высотой транспортирующего элемента

$$L_{\min} \leq L_{\text{бунк}} \leq L_{\max}, L_{\min} \geq d_{\text{ср}}; L_{\max} = L \leq k_{\text{в.г.}} \cdot H_{\text{сл}} / \mu_{\text{тр}}; \quad (15)$$

- высота бортов бункера должна совпадать с высотой толкающего элемента  $H_6 = h$ ;

- бункер должен вписываться в выработку с учетом высоты транспортного

средства и проложенных коммуникаций  $H_6 \leq H_{\max}$ ;

- высота бункера должна быть не меньше диаметра среднего куска перегружаемой породы, чтобы предотвратить пересыпание породы через борта и толкающий элемент  $d_{\text{ср}} \leq H_6 \leq H_{\max}$ ;  $H_{\max} = H_{\text{выр}} - H_{\text{тс}} - H_{\text{ком}}$ .

Для равномерного заполнения бункера необходимо выполнение условия наклона бункера на угол равный или больший угла естественного откоса перегружаемой породы  $\beta \geq \varphi$ , где  $\beta$  - угол наклона бункера во время заполнения,  $\varphi$  - угол скольжения породы по желобу.

2. Ограничения по кинематическим, силовым и энергетическим показателям, в частности ограничения по скорости перемещения  $v$ , с которой связана номинальная подача насоса  $Q_n$  максимальному усилию на штоках приводных гидроцилиндров, определяемому давлением в гидросистеме  $P$  и диаметром поршня  $d_{\text{п}}$ , потребляемой мощности маслостанции  $N_{\text{эф}}$ .

На рис. 6 приведена технологическая схема и общий вид бункер – перегружателя с параметрами, выбранными по приведенной методике, применительно к техническому решению, защищенному патентом РФ на изобретение.

В результате расчетов по предложенной методике получены параметры бункер - перегружателя для заданных условий. Согласно расчетам, следует, что при высоте толкающей плиты и слоя материала 1,5 м и ширине 2 м, длина бункер - перегружателя периодического действия может достигать 4,9 м, т.е. объем материала составляет  $14,7 \text{ м}^3$ .

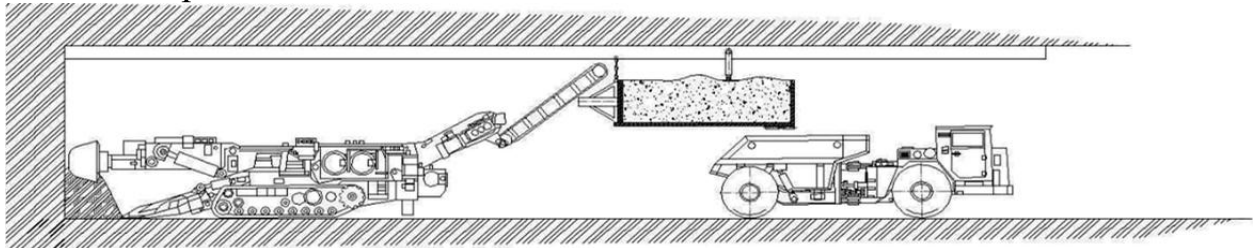


Рис.6. Технологическая схема и общий вид бункер – перегружателя:

Бункер-перегрузатель такого объема за один проход толкающей плиты может, например, целиком загрузить самосвал примерно за 50 сек, что соответствует производительности  $18 \text{ м}^3/\text{мин}$ . При этом, усилие на штоке приводного гидроцилиндра составит 95 кН, что, при скорости движения поршня 0,1 м/сек, соответствует мощности 10,5 кВт.

Экономический эффект от применения бункер-перегрузателя в условиях строительства транспортных тоннелей сечением  $50-70 \text{ м}^2$ , в сочетании с приведенным в работе горнопроходческим оборудованием составляет 170 тыс. руб. на 1 м проводимой выработки.

При использовании бункер - перегружателя совместно с комбайном 1ГПКС и шахтным самоходным вагоном 10ВС-15 в условиях ООО «ШУ Садкинское» ожидается увеличение темпов проведения выработок на 10%.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача, заключающаяся в разработке, обосновании и выборе параметров бункер - перегружателя, на основе применения гидропривода поступательного действия, обеспечивающего повышение эффективности проведения горных выработок за счет согласования работы горнопроходческой машины и магистрального транспорта.

Основные научные выводы и практические результаты исследований заключаются в следующем.

1. В результате проведенных исследований, сделан вывод о возможности повышения эффективности горнопроходческих работ, за счет согласования технологических операций по разрушению забоя и транспортировки горной массы, путем использования промежуточного погрузочно-транспортного элемента в виде бункер - перегружателя периодического действия, обеспечивающего непрерывную работу горнопроходческой машины при реализации минимального времени загрузки транспортного средства.

2. Моделирование и анализ переходных процессов в гидроприводе бункер - перегружателя, позволили установить значения максимально допустимых скоростей транспортирующих элементов в пределах 0,1–0,2 м/с, и использовать их для обоснования функций-ограничений при моделировании работы исследуемых бункер - перегружателей периодического действия.

3. Разработаны и защищены патентами РФ на изобретения, технические решения бункер - перегружателей, обеспечивающих максимальный однократный объем горной массы, достаточный для заполнения транспортного средства, при допустимых скоростях транспортирующих элементов в пределах 0,1–0,2 м/с.

4. Проведенные графоаналитические исследования формирования зон деформации при перемещении слоя крупнокускового сыпучего материала установили основные закономерности, присущие данному процессу, в виде зависимости допустимой длины перегружателя от гранулометрического состава при прочих равных условиях  $L \leq k_{в.г.} \cdot H_{сл} / \mu_{тр}$ .

5. Математическая интерпретация предложенного автором коэффициента вида груза, устанавливающего зависимость формирования зон деформации от гранулометрического состава  $k_{в.г.} = 1 + (d_{ср} / H_{сл})^2$  получена в результате экспериментальных исследований, проведенных на модельной установке перегружателя, выполненной в масштабе 1:10, подтвердивших адекватность теоретических расчетов реальному процессу работы. Максимальное расхождение расчетных и экспериментальных данных не превышает 12 %, ошибка в определении средних опытных значений составляет не более 10 % при уровне доверительной вероятности 0,9.

6. По разработанной методике, выбраны параметры опытно-экспериментального образца бункер-перегружателя для применения его совместно с горнопроходческим комбайном КП220 и самосвалом МоА3-7529. Габариты перегружателя: высота – 1,5 м, ширина – 2 м, длина – 4,9 м; уста-



новленная мощность – 10,5 кВт.

7. Ожидаемый экономический эффект от применения бункер-перегрузателя в условиях строительства транспортных тоннелей сечением 50-70 м<sup>2</sup>, в сочетании с приведенным горнопроходческим оборудованием составляет 170 тыс. руб. на 1 м проводимой выработки. При использовании бункер-перегрузателя в составе комплекта горнопроходческого оборудования в условиях ООО «ШУ Садкинское», состоящего из проходческого комбайна серии ГПКС и шахтного самоходного вагона 10ВС - 15, ожидается увеличение темпов проходки до 10% на 1 м проводимой выработки, за счет снижения времени простоя транспортных средств.

### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

- *в рецензируемых научных журналах по группе научных специальностей 05.05.0 - транспортное, горное и строительное машиностроение:*

1. Носенко А. С., Домницкий А. А., Хазанович В. Г., Зубов В. В. Совершенствование погрузочно-транспортных модулей горнопроходческого оборудования // Горное оборудование и электромеханика. - 2018. - № 3. - С. 29-32.

2. Носенко А. С., Исаков В. С., Домницкий А. А., Зубов В. В. Разработка погрузочно-транспортных модулей в составе тоннелепроходческого оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2018. - № 4. - С. 189-196.

3. Носенко А. С., Домницкий А. А., Алтунина М. С., Зубов В. В. Результаты теоретических и экспериментальных исследований бункер - перегружателя с гидравлическим приводом транспортирующего элемента периодического действия // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2019. - № 11. - С. 119-130.

- *в рецензируемых научных журналах:*

4. Носенко А. С., Домницкий А. А., Исаков В. С., Зубов В. В. Моделирование переходных процессов в гидроприводе погрузочно-транспортных модулей // Интернет-журнал «Науковедение». - 2017. Т.9. №2. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/94TVN217.pdf> (дата обращения: 19.05.2017).

5. Nosenko A. S., Isakov V. S., Domnitskiy A. A., Shemshura E. A., Zubov V. V. Improvement of loading and transport bodies of tunneling machines // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2017. Vol. 87. P. 062012.

- *в прочих журналах и изданиях:*

6. Носенко А. С., Домницкий А. А., Носенко В. В., Зубов В. В. Конструктивный синтез шахтных погрузочных машин с унифицированными сборочными единицами // Перспективы развития Восточного Донбасса: материалы VII-й Международной и 65-й Всероссийской научно-практической конференции. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), - 2016. - С. 154-157.

- *патенты:*

7. Хазанович Г. Ш., Носенко А. С., Домницкий А. А., Носенко В. В., Зубов

В. В. Конвейер для транспортирования сыпучих и кусковых материалов // Патент России № 2664616. 2018. Бюл. № 24.

8. Носенко А. С., Домницкий А. А., Хазанович В. Г., Носенко В. В., Зубов В. В., Кирсанов И. А. Конвейер для транспортирования сыпучих и кусковых материалов // Патент России № 2702211. 2019. Бюл. № 28.

9. Носенко А. С., Зубов В. В., Алтунина М. С., Домницкий А. А. Выбор оптимальных параметров бункер-перегрузателя // св-во о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020610066. 2020.

10. Носенко А. С., Домницкий А. А., Носенко В. В., Алтунина М. С., Зубов В. В. Конвейер для транспортирования сыпучих и кусковых материалов // Патент России № 2724041. 2020, Бюл. № 17.

Зубов Виктор Владимирович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ПРОХОДЧЕСКИХ БУНКЕР - ПЕРЕГРУЖАТЕЛЕЙ  
ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**

Автореферат

Подписано в печать  
Печать на ризографе. Бумага писчая.  
Формат 60×84 1/16 Печ. л. 1,0  
Тираж 100 экз. Заказ №

---

Отпечатано с оригинал – макета