

*На правах рукописи*

**НГУЕН Кхак Линь**



**ОБОСНОВАНИЕ СХЕМНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ  
РЕШЕНИЙ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ  
УСТРОЙСТВ ШНЕКОВОГО ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

**Санкт-Петербург – 2020**

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор

*Габов Виктор Васильевич*

**Официальные оппоненты:**

*Воронова Элеонора Юрьевна*

доктор технических наук, доцент, Шахтинский автодорожный институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», кафедра «Фундаментальные инженерные дисциплины», заведующая кафедрой

*Бочков Владимир Сергеевич*

кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», кафедра горных машин и комплексов, доцент

**Ведущая организация** – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Защита диссертации состоится «03» сентября 2020 г. в 10 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.07 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21 линия, д. 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).

Автореферат разослан «03» июля 2020 г.

УЧЕНый СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета

ЗВОНАРЕВ  
Иван Евгеньевич

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Каменный уголь наряду с нефтью и газом является важнейшим сырьем для энергетической, металлургической и химической отраслей промышленности, определяющих обеспеченность, самостоятельность и безопасность существования государств. Планом развития народного хозяйства Вьетнама предусмотрено довести добычу угля к 2030 году до 75 млн. т в год, из них около 80 % подземным способом.

Отработка высокотехнологичных угольных пластов в промышленно развитых странах осуществляется преимущественно длинными комплексно-механизированными очистными забоями (МКЗ), оснащенными комплексами со шнековыми очистными комбайнами. Такие комбайны технологичны, высоко производительны, а их шнековые исполнительные органы отличаются простотой конструкции, надёжностью функционирования, совмещением операций отделения угля от массива, выгрузки его из зоны разрушения и погрузки на забойный конвейер. По эффективности процесса добычи на пластах средней мощности и мощных им в настоящее время нет альтернативы.

Однако шнековым исполнительным органам (ШИО) свойственны существенно значимые недостатки: при погрузке уголь попутно ими переизмельчается, повышается удельный расход энергии, а неудовлетворительная зачистка почвы в забое в процессе погрузки приводит к снижению производительности комбайна по добыче.

### **Степень разработанности темы исследования**

Совершенствованием процесса погрузки отбитого угля на конвейер, схемных и конструктивных технических решений комбайнов и их исполнительных органов занимались многие ученые и конструкторы. Признание и известность получили исследования К. Н. Беликова, Л. В. Больманта, Л. Д. Борисенко, К. Ф. Вороновского, З. З. Кальмановича, В. И. Кутова, В. В. Модина, И. Д. Пшеничного, М. Т. Тагирова, В. Н. Вернера. Ими были разработаны теоретические основы процессов функционирования очистных комбайнов (ОК) со шнековыми исполнительными органами, обоснована методология выбора их

конструктивных и режимных параметров, на основе которой разработаны государственные и отраслевые стандарты и другие нормативные материалы, действующие до настоящего времени.

Однако до настоящего времени не полностью решен вопрос выявления и теоретического обоснования оценочных зависимостей выполнения шнековыми исполнительными органами вспомогательных функций, таких как погрузка горной массы на забойный конвейер при сохранении сортности угля, что требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

### **Цель исследования**

Выявление зависимости показателей эффективности процесса погрузки отбитой массы угля на забойный конвейер от структуры и параметров основных и вспомогательных погрузочных устройств шнекового очистного комбайна в сопряжённых пространственных зонах погрузки для разработки научно-обоснованных схемных и конструктивных их технических решений, обеспечивающих повышение производительности, снижение сопротивления перемещению угольной массы, измельчения угля при снижении удельных энергозатрат.

**Идея исследования** заключается в повышении эффективности удаления разрушенной массы угля шнековыми исполнительными органами очистного комбайна из зоны разрушения на забойный конвейер путем согласования структуры, геометрических параметров основных и вспомогательных погрузочных устройств, и размеров канала погрузки на основе закономерностей движения грузопотоков в зоне погрузки.

### **Задачи исследований:**

1. Обобщение и анализ результатов производственного опыта, теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертации.

2. Установление закономерностей процесса погрузки угля на конвейер отстающим шнековым исполнительным комбайном.

3. Синтез базовых и вспомогательных схемных и конструктивных технических решений погрузочных устройств шнекового очистного комбайна.

4. Обоснование параметров и режимов работы погрузочных устройств шнекового очистного комбайна.

#### **Научная новизна исследований:**

1. Установлены зависимости показателей интенсивности процессов в каждой из сопряженных пространственных зон от геометрических и кинематических параметров погрузочных устройств, определяющих процесс в каждой отдельной зоне, при условии равенства значений параметров потоков на границах сопряженных зон общего процесса выгрузки угольной массы шнековым исполнительным органом комбайна на забойный конвейер.

2. Экспериментально установлены две стадии процесса внедрения в штабель угля фронтального лемеха конвейера при его перемещении к забою с постоянной скоростью:

– в первой стадии, форма сечения штабеля угля в которой соответствует призме оползня, усилие, действующее на конвейер, прямо пропорционально его перемещению;

– во второй стадии, форма сечения штабеля угля в которой соответствует призме выжима и образованию в нём уплотненного ядра, сопротивление перемещению конвейера к забою с постоянной скоростью нелинейно возрастают вследствие дополнительного сопротивления образуемого ядра уплотнения.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

1. Предложено оценивать влияние основных факторов на процесс погрузки угля шнековым исполнительным органом комбайна на конвейер дифференцированно, по пространственным зонам: в зоне отделения угля резцами от массива, в зонах активного и пассивного транспортирования, в зоне погрузки разрушенной горной массы на забойный конвейер, что повышает обоснованность и точность описания процессов и оценки степени их влияния на эффективность процесса погрузки угля в целом.

2. Обоснованы структура и параметры комплексного технического решения погрузочно-транспортирующих устройств шнекового очистного комбайна, обеспечивающих увеличение производительности, снижение интенсивности дробления угля и удельного расхода энергии.

3. Предложены технические решения структурных элементов

единого комплексного погрузочно-транспортирующего устройства очистного комбайна, сопряженных друг с другом в зоне погрузки, включающих щиток, лемех, линейный рештак скребкового забойного конвейера, обеспечивающих увеличение максимальной производительности ШИО по погрузке на забойный конвейер в 1,6-3,4 раза со снижением удельного расхода энергии в 1,5-3,4 раза в зависимости от используемого технического решения. Разработанные технические решения защищены как объекты интеллектуальной собственности в виде патентов на полезную модель.

### **Методология и методы исследования**

Принят комплексный метод исследований, включающий научный анализ и обобщение результатов исследований, теоретические исследования, компьютерное моделирование и синтез эффективных схемных и конструктивных технических решений погрузочных устройств шнековых очистных комбайнов.

### **Соответствие паспорту специальности**

Тема исследования соответствует п.3 «Обоснование и оптимизация параметров и режимов работы машин и оборудования и их элементов», п.4 «Обоснование и выбор конструктивных и схемных решений машин и оборудования во взаимосвязи с горнотехническими условиями, эргономическими и экологическими требованиями» области исследований паспорта специальности 05.05.06 - Горные машины.

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено наличие в общем процессе погрузки отбитого угля на конвейер составляющих его процессов в сопряженных пространственных зонах: в зоне взаимодействия резцов с массивом, в зоне транспортирования угля в межлопастном пространстве шнека, в зоне пассивного перемещения разрушенной массы от шнека до конвейера и в зоне формирования потока груза на конвейере, в каждой из которых процессы описываются соответствующими их физико-механической сущности уравнениями, при этом структуру и параметры погрузочных устройств шнековых очистных комбайнов следует определять, дифференцированно, с учетом закономерностей протекания процессов в сопряженных пространственных зонах.

2. Результаты моделирования процесса погрузки с учетом параметров очистного комбайна, угольной массы, предлагаемых схемных и конструктивных технических решений погрузочных устройств и забойного конвейера, подтверждают повышение производительности по погрузке угля в диапазоне от 1,6 до 3,4 раза и снижение удельного расхода при процессе погрузки угля комбайном в диапазоне от 1,5 до 3,4 раза в зависимости от используемых технических решений в сопряженных пространственных зонах процесса погрузки.

### **Степень достоверности и апробация результатов работы**

Степень достоверности полученных результатов определяется корректно поставленной задачей данной научной работы, значительным количеством статистических данных, обработанных на базе апробированного математического инструментария, наличием теоретического обоснования, базирующегося на достоверных и проверяемых фактах, и хорошо согласующегося с экспериментальными данными, полученными в ходе производственных наблюдений, а также подтверждается удовлетворительной сходимостью результатов моделирования с результатами реальных процессов, описанных в научной литературе и наблюдаемых в производстве.

Основные положения работы, результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались и получили положительную оценку на следующих международных конференциях: Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики» (г. Санкт-Петербург, 2017 г.); Международная конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018» (г. Санкт-Петербург, 2018 г.); Earth sciences and natural resources for sustainable development: ERSO-2018 (г. Ha Noi, Viet Nam 2018 г.); XVII Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В. Р. Кубачека» (г. Екатеринбург, 2019 г.).

**Личный вклад соискателя** состоит в анализе основных факторов, влияющих на процесс погрузки угля на забойный конвейер; в установлении зависимости показателей эффективности процесса

погрузки угля от геометрических, конструктивных и режимных параметров погрузочных устройств очистного комбайна; в обосновании методики выбора параметров исполнительного органа очистного комбайна для длинных очистных забоев при разработке пологих пластов средней мощности подземным способом; в разработке схемных и конструктивных решений вспомогательных погрузочных устройств очистных комбайнов; в создании интеллектуального продукта в виде опубликованных патентов и статей.

### **Данные о публикациях автора**

По результатам исследования опубликовано 11 работ, в том числе 2 статьи в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее - Перечня ВАК), 9 - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования; получены 6 патентов на изобретения.

### **Структура и содержание**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и шести приложений. Материалы работы изложены на 167 страницах машинописного текста, в том числе содержат 6 таблиц, 49 рисунков. Список цитируемой литературы включает 108 источников.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** представлены: актуальность и степень разработанности темы исследования, цель, идея, задачи и научная новизна исследования, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, соответствие паспорту специальности, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов работы, личный вклад соискателя, данные о публикациях автора.

**В первой главе** проведен обзор состояния и изученности рассматриваемой научной задачи и сформулированы цель и задачи исследований. Анализ приведенных материалов показывает, что в настоящее время для добычи угля подземным способом из пластов средней мощности преобладающее распространение получили очистные узкозахватные комбайны со шнековыми исполнительными

органами. Шнековые исполнительные органы отличаются простотой конструкции и надёжностью функционирования, совмещённостью операций разрушения массива угля, выгрузки его из зоны разрушения и погрузки на конвейер. Однако, в последние годы возникли существенные противоречия в развитии процессов подземной добычи угля в комплексно-механизированных очистных забоях шахт: быстрый рост производительности комбайнов и объемов добычи – с одной стороны, и чрезмерный рост объемов добычи мелких классов угля и летучей взрывоопасной пыли, до 40 % от объёма добычи, в получаемом продукте – с другой стороны.

Такое положение связано с недостаточной погрузочной способностью отстающих по ходу движения комбайна исполнительных органов вследствие малой площади погрузочного окна, что ограничивает максимальную производительность комбайна и приводит к дополнительному измельчению угля и пылеобразованию при погрузке его на конвейер в стеснённых условиях.

**Во второй главе** рассмотрены объект и предмет исследований, определены факторы, влияющие на процесс погрузки, который следует рассматривать в двух аспектах:

**Первый аспект** связан с оценкой активной транспортирующей способности шнека с учетом пассивного перемещения угля в зазоре между шнеком и бортом конвейера, а второй связан с самонавалкой угля на конвейер при фронтальной его передвижке на забой. Процессы активного транспортирования и погрузки угля шнеком по количеству и характеру влияния внешних факторов и физической сущности процессов следует рассматривать как весьма сложные и многофакторные. В разных пространственных зонах осуществляются по сути разные процессы (рисунок 1 а, б): в зоне I – отделение резцами угля от массива; в зоне II – транспортирование разрушенной массы в межлопастном пространстве шнека от зоны I; в зоне III – пассивное перемещение разрушенной массы между шнеком и бортом конвейера и в зоне IV – формирование потока груза на конвейере. Поэтому целесообразно рассматривать эти процессы сначала в каждой зоне отдельно, с оценкой значений входных и выходных параметров, выяснением сущности процессов, установлением уравнения связи между входными и выходными параметрами, а затем и зависимостей между процессами в последовательно сопряжённых зонах.

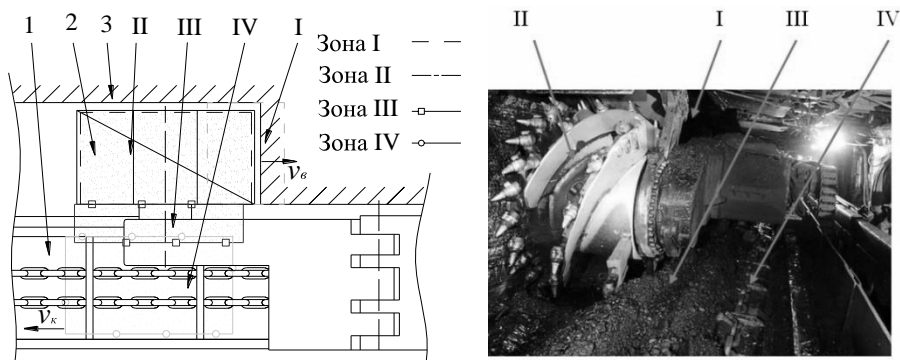


Рисунок 1 – Пространственные зоны процесса погрузки.

1 – конвейер; 2 – шнек; 3 – угольный пласт

Исходя из вышеизложенного и рисунка 2, можно сделать следующие выводы: каждый из процессов отличается от других по физико-механической сущности и относится к сложным и многофакторным. Наиболее слабо исследованы процессы пассивного перемещения разрушенной массы между шнеком и конвейером и формирования потока груза на конвейере.

**Второй аспект** – процесс пассивной погрузки. Недостатки статических лемехов связаны непосредственно с физическими процессами, происходящими при внедрении лемеха конвейера в штабель материала. В целом пассивная погрузка конвейером угля относится к многофакторным, сложным процессам по физико-механической сущности слагающих его операций. Существенное влияние на исследуемый процесс оказывают внутренние и внешние факторы, к которым относятся горно-геологические, технологические, а так же геометрические параметры и режимы работы конвейера.

**В третьей главе** представлена оценка эффективности процессов погрузки угля в зонах разрушения, транспортирования и погрузки на конвейер.

### 1. Значение коэффициента окна погрузки

Значительное влияние на качество процесса выгрузки угля из зоны разрушения оказывает неравномерность поступления материала в погрузочное окно, которая обусловлена малым числом лопастей шнека. Влияние этой особенности на процесс погрузки угля в целом

недостаточно исследовано, а её системный анализ вообще отсутствует.

Пропускная способность погрузочного окна при постоянной частоте вращения шнека может быть оценена значением коэффициента окна погрузки, который равен отношению:

$$K_o = \frac{S'_o}{S_h}, \quad (1)$$

где  $S'_o$  – фактическая площадь сечения погрузочного окна, м<sup>2</sup>;  $S_h$  – площадь сечения шнека (2), м<sup>2</sup>.

$$S_h = \frac{\pi}{4} (D_{ш}^2 - d_c^2) - \frac{(D_{ш} - d_c) \cdot \delta_{ш} \cdot N_3}{2 \sin \alpha_{ш}}, \quad (2)$$

где  $D_{ш}$  – приведенный диаметр исполнительного органа, м;  $d_c$  – диаметр ступицы шнека, м;  $\delta_{ш}$  – толщина лопасти шнека, м;  $N_3$  – число заходов шнека;  $S$  – шаг винта шнека, м;  $\alpha_{ш}$  – угол навивки лопастей шнека в градусах  $\alpha_{ш} = \arctg \frac{S}{\pi \cdot D_{ш}}$ .

Фактическая площадь сечения погрузочного окна равна (3):

$$S'_{o1} = \Delta S_{o1} + S_{o1} \text{ или } S'_{o2} = \Delta S_{o2} + S_{o2} \quad (3)$$

Площадь сечения  $S_{o2}$  может быть определена через параметры шнекового исполнительного органа (4):

$$S_{o2} = \left[ \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi \cdot \varphi}{360} (D_{ш} + d_c) - \frac{(h_t + h_k)}{2} \right] \cdot (D_{ш} - d_c) - \frac{1}{8} D_{ш}^2 \arcsin \frac{D_{ш} - 2h_k}{D_{ш}} + \frac{1}{8} D_{ш} (D_{ш} - 4h_k) \quad (4)$$

где  $h_t$  – высота сечения корпуса редуктора шнека, м;  $h_k$  – высота сечения штанги щитка, м;  $h_k$  – высота борта конвейера, м.

Приращение площади сечения погрузочного окна шнека со щитком может быть определено по формуле (5):

$$\Delta S_o = \frac{1}{2} \left( \frac{D_{ш}}{2} + \delta - h_k \right) \sqrt{(D_{ш} + 2\delta - h_k) h_k} - \frac{1}{4} \left[ \sqrt{\frac{(D_{ш} + 2\delta)^2 - h_t^2}{4}} - \sqrt{\frac{D_{ш}^2 - h_t^2}{4}} \right] - \frac{1}{2} \left( \frac{D_{ш}}{2} - h_k \right) \sqrt{(D_{ш} - h_k) h_k} + \frac{(D_{ш} + 2\delta)^2}{8} \left[ \arcsin \frac{h_k}{D_{ш} + 2\delta} - \arcsin \frac{h_t}{2(D_{ш} + 2\delta)} \right] + \frac{D_{ш}}{8} \left[ \arcsin \frac{h_k}{D_{ш}} - \arcsin \frac{h_t}{2D_{ш}} \right] \quad (5)$$

где  $b$  – размер зазора между шнеком и щитком, м.

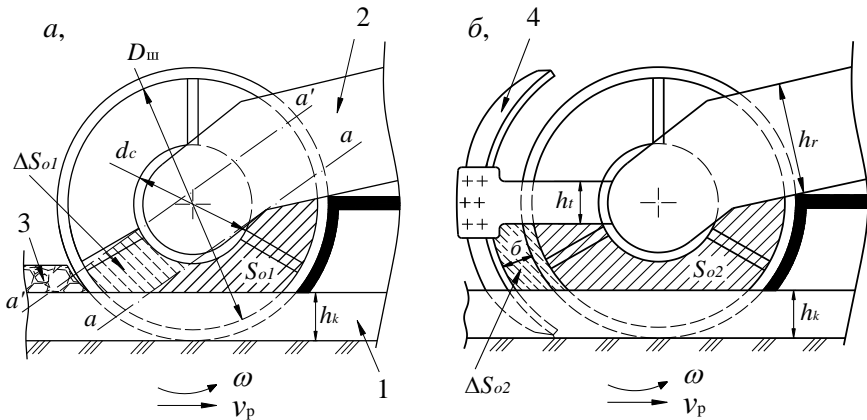


Рисунок 3 – Схемы погрузочных окон:  $a$  – без щитка,  $b$  – со щитком.

1 – конвейер; 2 – редуктор; 3 – угольный откос; 4 – щиток

## 2. Коэффициент заполнения желоба конвейера

На рисунке 4 представлена схема общего случая процесса погрузки материала при наличии бокового крена става конвейера. После прохода очередной лопастью шнека зоны погрузки верхняя теоретическая граница разрушенного материала определяется углом его естественного откоса  $\rho$  и высотой  $h$  бункеризации материала в зоне между шнеком и конвейером. Материал, оказавшийся в процессе погрузки выше линии скольжения  $n-n$ , уносится конвейером из зоны погрузки, что приводит к снижению коэффициента заполнения желоба конвейера по его сечению.

Эффективность процесса погрузки зависит от расстояния  $L_m$  (см. рисунок 4), которое может быть определено по формуле (6):

$$L_m = (h_z + h_d) \cdot \cos \rho - L, \quad (6)$$

где  $\rho$  – угол естественного откоса, рад;  $h_z$  – превышение верхним уровнем потока груза забойного борта конвейера, мм;  $L$  – расстояние по почве между шнеком и конвейером, мм.

Значение коэффициента заполнения желоба конвейера может быть определено по формуле (7):

$$K_k = \frac{S_1}{S_2} = \frac{\frac{1}{4} \left( L_m + \frac{h_d}{\operatorname{tg} \rho} \right)^2 \cdot \operatorname{tg} \rho - \frac{h_d^2}{\operatorname{tg} \rho}}{\frac{1}{4} L_k^2 \cdot \operatorname{tg} \rho + h_d \cdot L_k}. \quad (7)$$

где  $S_1$  – фактическая площадь сечения потока погрузки на конвейер,  $\text{м}^2$ ;  $S_2$  – максимальная площадь сечения потока угля на конвейере,  $\text{м}^2$ .

Из формулы (7) видно: чем большую часть ширины желоба конвейера покрывает поток груза, тем больше коэффициент заполнения желоба  $K_k$ .

### 3. Способ расчета производительности по погрузке и удельного расхода энергии отстающим шнеком

На рисунке 5 представлены схема движения потоков материала в зоне работы комбайна и роль погрузочных щитов в улучшении погрузочных способностей отстающего шнека.

В процессе погрузки отстающий шнек лопастями вытесняет (рисунок 5) разрушенную массу угля последовательно из зоны разрушения массива через переходную зону  $B$  на конвейер (зону  $D$ ). Поток преодолевает линии скольжения  $a$ -а и поступает в зону  $C$  (на конвейер) под давлением в потоке, создаваемым вращающимся шнеком, часть объёма угля остается на почве (зоне  $A$ ) за очистным комбайном.

Производительность отстающего шнека по погрузке угля на конвейер с учетом формируемых потоков и характера выгрузки угля лопастями шнека (рисунок 6), определится по формуле (8):

$$Q_k = Q_{\text{ш}} - Q_{\text{п}} - Q_{\text{ос}}, \quad (8)$$

где  $Q_{\text{ш}}$  – расчетная производительность шнека,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $Q_k$  – производительность погрузки на конвейер шнеком,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $Q_{\text{ос}}$  – интенсивность формирования слоя непогруженного угля,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $Q_{\text{п}}$  – объем угля под конвейером (потери),  $\text{м}^3/\text{мин}$ .

Анализируя выражение (8), следует отметить, что каждое значение  $Q_{\text{п}}$  меньше, чем значение производительности  $Q_{\text{ос}}$ . Интенсивность образования слоя непогруженного угля может быть определена по выражению (9):

$$Q_{\text{ос}} = v_{\text{п}} \cdot L \cdot h, \quad (9)$$

где  $v_{\text{п}}$  – скорость подачи очистного комбайна,  $\text{м}/\text{мин}$ ;  $L$  – расстояние между шнеком и конвейером,  $\text{м}$ ;  $h$  – высота слоя угля в зазоре между

шнеком и конвейером, м.

Из формулы (9) следует, что чем короче путь перемещения ( $L$ ) разрушенной массы от шнекового исполнительного органа до конвейера, тем меньше объём не погруженного угля и эффективнее процесс погрузки, что обусловлено особенностями компоновки узлов сопрягаемого оборудования.

Энергоемкость транспортирования угольной массы винтовым шнеком может быть определена по формуле (10):

$$H_w = \frac{P}{Q_k} = \frac{M_{cp} \cdot n}{9550 \cdot Q_k}, \quad (10)$$

где  $M_{cp}$  – средний крутящий момент на шнеке, Н·м;  $Q_k$  – производительность погрузки на конвейер шнеком, т/час;  $n_{об}$  – частота вращения шнека, об/мин. Средний крутящий момент на шнеке определяется по формуле (11):

$$M_{cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n M_i, \quad (11)$$

где:  $M_i$  – текущий крутящий момент на шнеке, Н·м.

Производительность по погрузке угля на конвейер отстающим шнековым исполнительным органом (12):

$$Q_k = 3,6 \cdot \frac{m}{t}, \quad (12)$$

где:  $m$  – масса погруженного угля на конвейер, кг;  $t$  – время моделирования, с.

#### 4. Усилие передвижки конвейера

Процесс самопогрузки угля на конвейер (рисунок 6) при фронтальной передвижке става конвейера к забюю следует разделить на две стадии (рисунок 7). На стадии I, соответствующей призме оползня, усилие, действующее на конвейер, можно принять прямо пропорциональным перемещению става конвейера по горизонтали к поверхности забоя. На стадии II, соответствующей призме выжима и образованию уплотненного ядра, сопротивление перемещению конвейера нелинейно возрастает. При некотором минимальном расстоянии до забоя уплотнённое ядро можно рассматривать как твердое тело из-за значительного увеличения сопротивления передвижению конвейера.

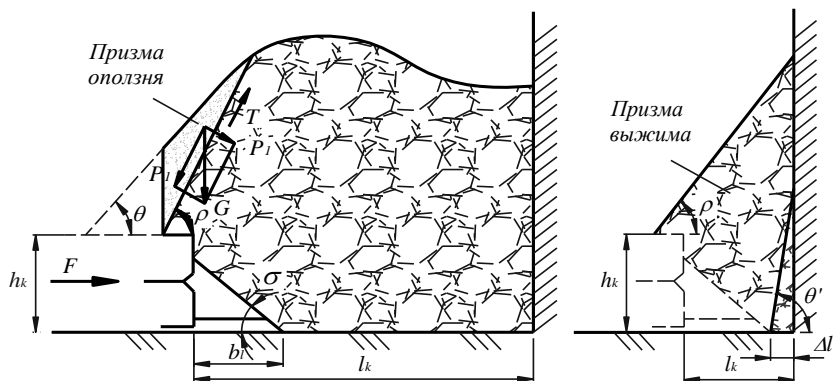


Рисунок 6 – Схема процесса пассивной погрузки угля на конвейер

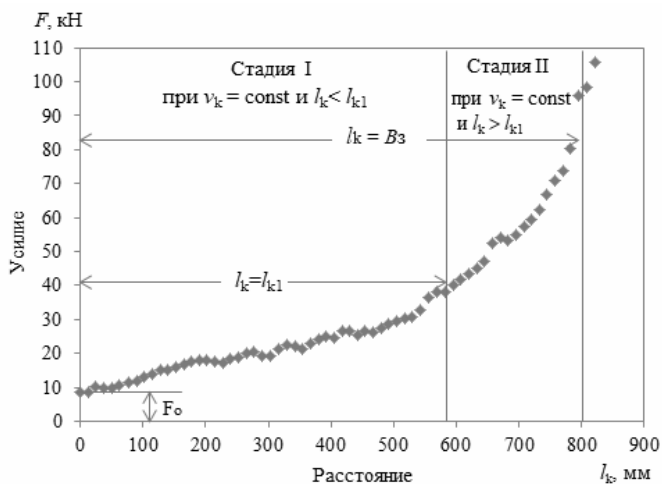


Рисунок 7 – Зависимость усилий в гидроцилиндрах от перемещения конвейера на забой

## 5. Моделирование и оценка эффективности процесса погрузки угля очистным комбайном

Моделирование проводится с целью оценки эффективности процесса погрузки угля на конвейер очистным комбайном с изменением следующих параметров: размеров площади сечения погрузочного окна, зазора между шнеком и конвейером, скорости подачи очистного комбайна и углов навивки лопастей шнека. При моделировании использована программа EDEM 3D (рисунок 8). В

качестве показателей эффективности процесса принята производительность ( $Q_k$ ) шнека по погрузке угля.

**При моделировании были приняты:** средний диаметр частицы – 30 мм; коэффициент трения частиц в дисперсной массе – 0,8; коэффициент трения частиц по металлу – 0,3; жесткость частиц равна  $c_ч = 1 \times 10^4$  Н·м; угол естественного откоса материала в насыпке  $\rho = 35^\circ$ .

Результаты моделирования процесса погрузки угля на конвейер приведены на рисунках 9-12.

Увеличение площади сечения погрузочного окна  $S_0$  приводит к пропорциональному увеличению производительности шнека по погрузке угля (рисунок 9). Чем короче путь перемещения ( $L$ ) разрушенной массы до конвейера, тем выше эффективность процесса погрузки (рисунок 10). С увеличением скорости подачи очистного комбайна интенсивность процесса погрузки повышается (рисунок 11).

Процесс погрузки угля на конвейер может быть представлен параболической зависимостью интенсивности погрузки от угла навивки лопастей шнека в диапазоне реально используемых его значений  $16^\circ \div 24^\circ$  (рисунок 12). При этом максимальная производительность шнека соответствует углу  $19^\circ$ .

**В четвертой главе** представлена методика определения рациональных параметров погрузочных устройств шнековых очистных комбайнов. В результате моделирования получено, что при использовании предлагаемых конструктивных изменений узла сопряжения производительность погрузки угля шнековым исполнительным органом на забойный конвейер может быть увеличена в 1,6-3,4 раза, при этом удельный расход энергии в процессе погрузки угля комбайном уменьшится в 1,5-3,4 раза в зависимости от используемого технического решения.

Таким образом изложенные в главе материалы являются результатом теоретических и экспериментальных исследований по созданию погрузочных устройств очистных комбайнов в части установления рациональных параметров их погрузочного органа. Результаты исследований опубликованы в открытой печати и могут быть использованы при разработке новых технических решений в области процессов добычи угля из угольных пластов с усложненными горно-геологическими условиями.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. На основе анализа исследований процесса и технических средств погрузки угля отстающим ШИО очистных комбайнов на конвейер установлено, что выбор параметров погрузочных устройств необходимо осуществлять с учетом зонной структуры процесса в четырёх сопряженных пространственных зонах: в зоне отделения угля резами от массива, в зонах активного и пассивного транспортирования, в зоне погрузки разрушенной горной массы на забойный конвейер, что обеспечивает обоснованность и повышает точность описания процессов и оценки степени их влияния на эффективность процесса погрузки угля в целом.

2. Установлено, что значения показателей эффективности процесса выгрузки угольной массы из зоны разрушения и погрузки её на конвейер можно с достаточной для инженерных расчетов точностью определять с учетом площади сечения канала погрузки, расстояния между шнеком и конвейером и угла подъема винта шнека.

3. Синтез базовых схемных и конструктивных технических решений погрузочных устройств шнекового очистного комбайна и их режимов работы с использованием при моделировании программы EDEM 3D подтверждено следующее: увеличение сечения площади погрузочного окна от 0,55 до 1,00 м<sup>2</sup> повышает производительность погрузки в 1,7 раза; увеличение расстояния от шнека до борта конвейера с 0,25 до 0,45 м снижает производительность по погрузке в 2,3 раза; увеличение скорости подачи от 2 до 6 м/мин повышает производительность по погрузке в 1,5 раза; максимальная производительность погрузки угля шнеком на конвейер соответствует углу навивки винта шнека 19°.

4. Разработано и запатентовано пять взаимосвязанных технических решений оборудования в зоне погрузки, включающих дополнительные щиток, лемех, линейный рештак скребкового забойного конвейера, которые обеспечивают снижение сопротивления движению потока угля, снижение циркуляции угля в потоке, достижение полноты зачистки почвы, формирование рационального сечения потока угля на конвейере и снижение усилий фронтального перемещения конвейера к забою, при этом результатами

моделирования подтверждается увеличение производительности шнекового исполнительного органа по погрузке на конвейер в 1,6-3,4 раза и снижение удельного расхода энергии в 1,5-3,4 раза в зависимости от используемого технического решения.

5. Предложенные технические решения, приведённые в диссертации, могут быть использованы при проектировании новых погрузочно-транспортных устройств, забойных конвейеров и выемочных машин, вводимых в производство в России и во Вьетнаме. Кроме того, они также могут быть использованы в образовательном процессе при подготовке специалистов в Санкт-Петербургском горном университете России и Ханойском горно-геологическом университете Вьетнама.

## **ОСНОВНЫЕ ОПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в изданиях из Перечня ВАК**

1. Нгуен, К. Л. Определение площади окна погрузки угля на конвейер шнековым исполнительным органом очистного комбайна [Текст] / К. Л. Нгуен, В. В. Габов, В. С. Нгуен // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 11 (специальный выпуск 48). – С. 321-328.

2. Габов, В. В. Особенности формирования элементарных сколов в процессе резания углей и изотропных материалов эталонным резцом горных машин [Текст] / В. В. Габов, Д. А. Задков, К. Л. Нгуен // Записки горного института. – 2019. – Т. 236. – С. 153-161.

### **Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования**

3. Габов, В. В. Обоснование геометрических и режимных параметров шнековых исполнительных органов, обеспечивающих эффективность погрузки угля на забойный конвейер [Текст] / В. В. Габов, К. Л. Нгуен, В. С. Нгуен, Т. Б. Ле, Д. А. Задков // Уголь. – 2018. – № 2. – С 32-35 (Scopus).

4. **Nguyen, K. L.** Justification of process of loading coal onto face conveyors by auger heads of shearer-loader machines / K. L. Nguyen, V. V. Gabov, D. A. Zadkov, T. B. Le. – DOI:10.1088/1757-899X/327/4/042132. – Текст: электронный // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. 327 042132. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/327/4/042132/pdf>

(data of issue: 12 April 2018) (Scopus, Wos).

5. **Nguyen, K. L.** Improvement of drum shearer coal loading performance [Текст] / K. L. Nguyen, V. V. Gabov, D. A. Zadkov // Eurasian mining. – 2018. – No. 2. – P. 22-25 (Scopus).

6. **Nguyen, K. L.** Substantiation of the parameters of coal unloading process onto the conveyor using shearer drums / K. L. Nguyen, V. V. Gabov, Y. V. Lykov. – DOI:10.1088/1755-1315/194/4/042019. – Текст: электронный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. 194 042019. – URL:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/194/4/042019/pdf>  
(data of issue: 15 November 2018) (Scopus).

7. **Nguyen, K. L.** Improving efficiency of cleanup and coal flow formation on conveyor by shearer loader with accessorial blade [Текст] / K. L. Nguyen, V. V. Gabov, D. A. Zadkov // Eurasian mining. – 2019. – No.1. – P. 37-39 (Scopus).

8. Nguyen, V. X. Increasing the coarse coal fractions yield during coal mining using shearer cutting drums / V. X. Nguyen, **K. L. Nguyen**, Y. V. Lykov. – DOI:10.1088/1755-1315/378/1/012095. – Текст: электронный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. 378 012095. – URL:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/378/1/012095/pdf>  
(data of issue: 14 November 2019) (Scopus).

9. Nguyen, V. X. Relocation schemes of picks with cutting, coupling and group cuts on shearer cutting drums / V. X. Nguyen, **K. L. Nguyen**, V. V. Gabov, Y. V. Lykov. – DOI:10.1088/1755-1315/378/1/012022. – Текст: электронный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. 378 012025. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/378/1/012022/pdf>  
(data of issue: 14 November 2019) (Scopus).

10. **Nguyen, K. L.** Study of the influence of structure and parameters of loading and transporting devices of a cleaning combine on the efficiency of coal loading / K. L. Nguyen, V. V. Gabov, V. G. Doan, V. T. Pham. – DOI: 10.1088/1742-6596/1384/1/012036. – Текст: электронный // Journal of Physics: Conference Series (JPCS). – 2019. 1384 012036. – URL:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1384/1/012036/pdf>  
(data of issue: 29 November 2019) (Scopus).

11. Динь, В. Ч. Влияние угла подъема винта шнекового

исполнительного органа комбайна на эффективности погрузки угля на забойный конвейер [Текст] / В. Ч. Динь, **К. Л. Nguyen**, В. С. Нгуен, Т. Б. Ле // Уголь. – 2020. – № 1. – С. 46-50 (Scopus).

### Патенты

12. Патент № 175 449 Российская Федерация, МПК E21C 27/00, E21C 35/00. Исполнительный орган очистного комбайна / **К. Л. Нгуен**, Габов В. В., Д. А. Задков, заявитель и патентообладатель: Санкт-Петербургский горный университет. – № 2017126413; заявл. 21.07.2017, опубл. 05.12.2017, Бюл. № 34.

13. Патент № 179911 Российская Федерация, МПК E21D 9/12. Погрузочный щиток с лемехом выемочного комбайна со шнековым исполнительным органом / **К. Л. Нгуен**, Габов В. В., заявитель и патентообладатель: Санкт-Петербургский горный университет. – № 2018104748; заявл. 07.02.2018, опубл. 29.05.2018, Бюл. № 16.

14. Патент № 184290 Российская Федерация, МПК E21C 27/00, E21C 35/00. Погрузочное устройство выемочного комбайна со шнековым исполнительным органом / В. В. Габов, **К. Л. Нгуен**, Ю. В. Люков, заявитель и патентообладатель: Санкт-Петербургский горный университет. – № 2018142497; заявл. 03.07.2018, опубл. 22.10.2018, Бюл. № 30.

15. Патент № 2692392 Российская Федерация, МПК E21F 13/08, B65G 19/10. Забойный скребковый конвейер / В. В. Габов, **К. Л. Нгуен**, Д. А. Задков, заявитель и патентообладатель: Санкт-Петербургский горный университет. – № 2018142497; заявл. 30.11.2018, опубл. 24.06.2019, Бюл. № 18.

16. Патент № 191484 Российская Федерация, МПК E21D 9/12, E21D 9/126. Погрузочный лемех / В. В. Габов, **К. Л. Нгуен**, Ю. В. Люков, заявитель и патентообладатель: Санкт-Петербургский горный университет. – № 2019113831; заявл. 06.05.2019, опубл. 07.08.2019, Бюл. № 22.

17. Патент № 190549 Российская Федерация, МПК E21C 25/04. Исполнительный орган очистного комбайна / В. В. Габов, В. С. Нгуен, **К. Л. Нгуен**, Ю. В. Люков, заявитель и патентообладатель: Санкт-Петербургский горный университет. – № 2019112220; заявл. 22.04.2019, опубл. 03.07.2019, Бюл. № 19.

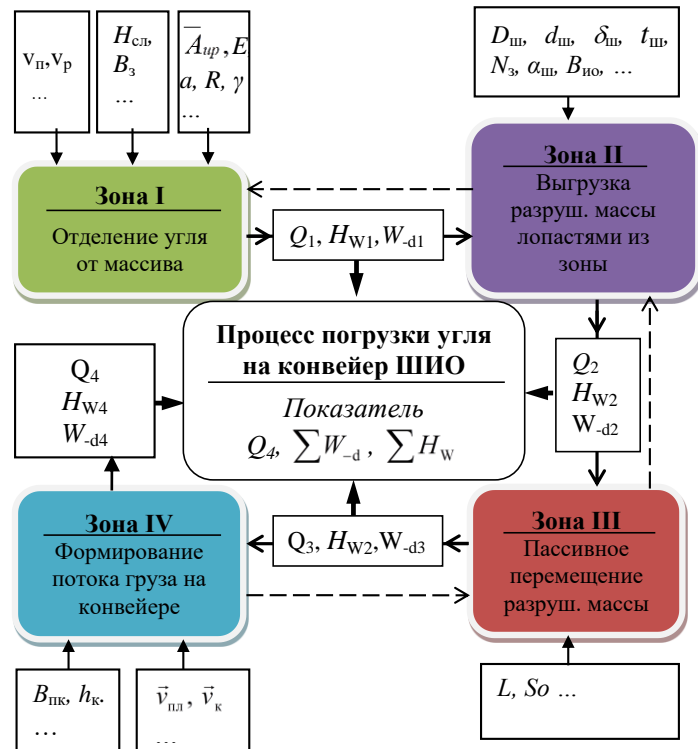


Рисунок 2 – Схема взаимодействия процессов смежных зон

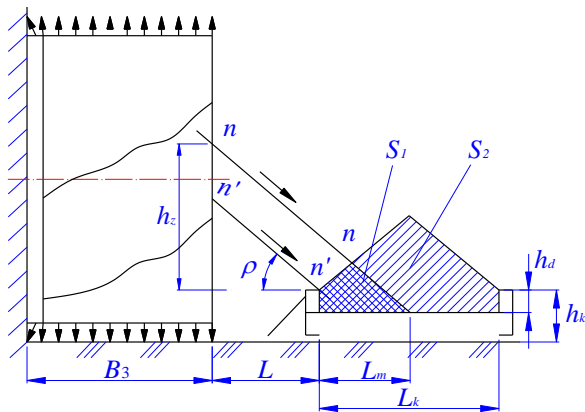


Рисунок 4 – Схема формирования потока груза на конвейере

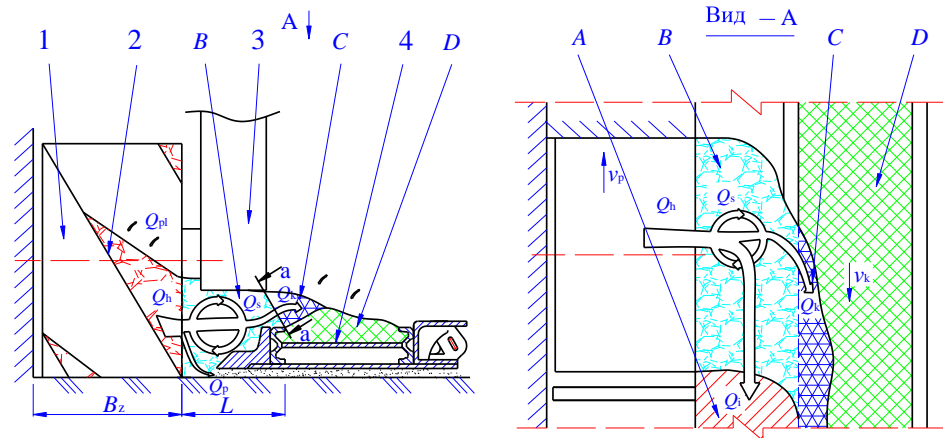


Рисунок 5 – Схема процесса формирования потоков угля в процессе погрузки его на забойный конвейер: зона A – слой угля, оставшегося в зазоре между шнеком и конвейером; зона B – поток в зазоре между конвейером и шнеком; зона C – поток угля, поступающий на конвейер; зона D – поток угля на конвейере; 1 – шнек; 2 – лопасть шнека; 3 – редуктор; 4 – конвейер

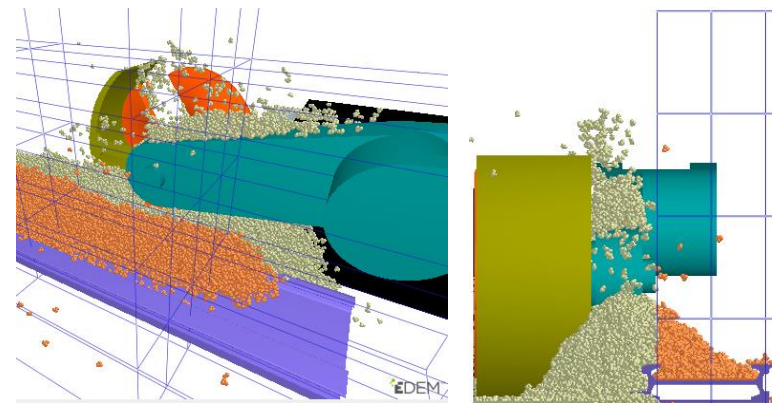


Рисунок 8 – Моделирование процесса погрузки угля шнековым исполнительным органом очистного комбайна

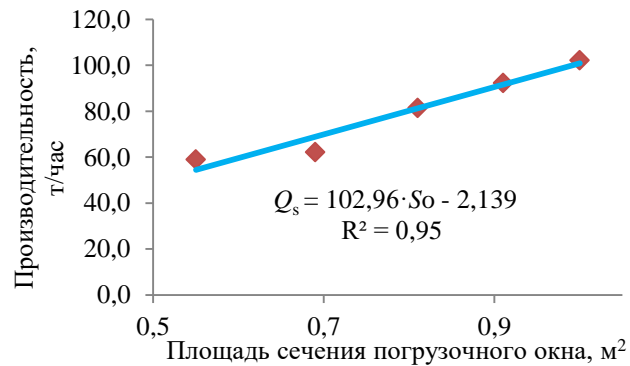


Рисунок 9 – Зависимость производительности отстающего шнека по погрузке от площади сечения погрузочного окна. (Приняты значения параметров: диаметр шнека – 1,8 м; диаметр ступицы – 0,6 м; углы подъема винта шнека –  $\alpha = 20^\circ$ ; количество лопастей – 3; толщина лопасти – 0,05 м; ширина захвата – 0,8 м; высота борта конвейера  $h_k = 0,35$  м; ширина рештака конвейера – 0,8 м; длины погрузочного окна – 0,35 м; частота вращения –  $50 \text{ мин}^{-1}$ ; скорость подачи – 4 м/мин)

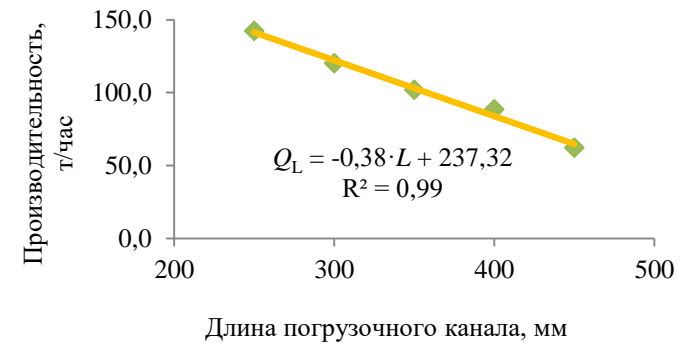


Рисунок 10 – Зависимость производительности отстающего шнека по погрузке от длины погрузочного окна. (Приняты значения параметров: диаметр шнека – 1,8 м; диаметр ступицы – 0,6 м; углы подъема винта шнека –  $\alpha = 20^\circ$ ; количество лопастей – 3; толщина лопасти – 0,05 м; ширина захвата – 0,8 м; высота борта конвейера  $h_k = 0,35$  м; ширина рештака конвейера 0,8 м; частота вращения –  $50 \text{ мин}^{-1}$ ; скорость подачи 4 м/мин; площадь сечения погрузочного окна –  $0,69 \text{ м}^2$ )

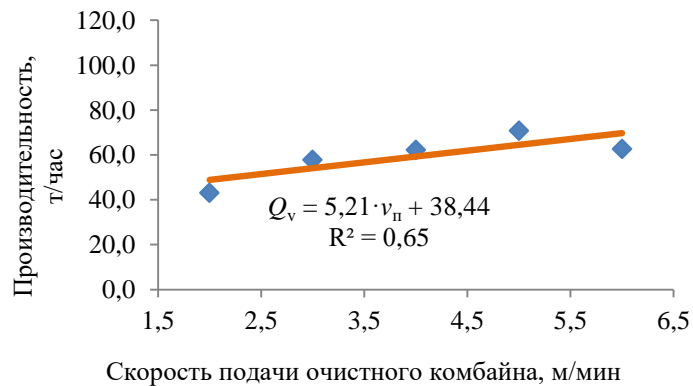


Рисунок 11 – Зависимость производительности отстающего шнека по погрузке от скорости подачи. (Приняты значения параметров: диаметр шнека – 1,8 м; диаметр ступицы – 0,6 м; углы подъема винта шнека –  $\alpha = 20^\circ$ ; количество лопастей – 3; толщина лопасти – 0,05 м; ширина захвата – 0,8 м; высота борта конвейера  $h_k = 0,35$  м; ширина рештака конвейера 0,8 м; длины погрузочного окна – 0,35 м; частота вращения –  $50 \text{ мин}^{-1}$ ; площадь сечения погрузочного окна –  $0,69 \text{ м}^2$ )

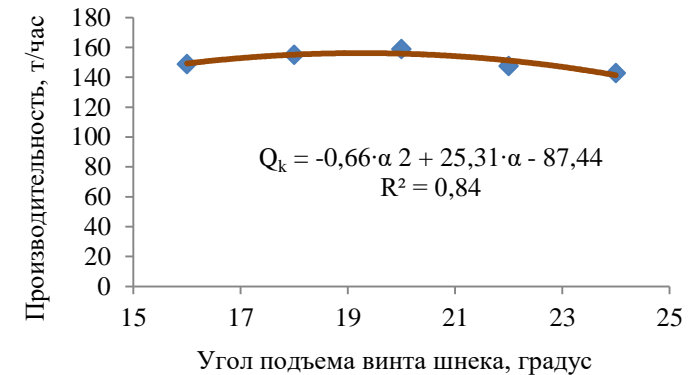


Рисунок 12 – Зависимость производительности отстающего шнека по погрузке от угла навивки лопастей. (Приняты значения параметров: диаметр шнека – 1,8 м; диаметр ступицы – 0,6 м; углы навивки лопастей шнека –  $\alpha: 16^\circ, 18^\circ, 20^\circ, 22^\circ$  и  $24^\circ$ ; количество лопастей – 3; толщина лопастей – 0,05 м; ширина захвата – 0,8 м; высота борта конвейера  $h_k = 0,35$  м; ширина желоба рештака конвейера – 0,8 м; частота вращения –  $50 \text{ мин}^{-1}$ ; скорость подачи комбайна – 4 м/мин; площадь сечения погрузочного окна –  $0,69 \text{ м}^2$ )