

На правах рукописи

Нгуен Ван Суан



**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВЫХ
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ОЧИСТНОГО
КОМБАЙНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА КРУПНЫХ
ФРАКЦИЙ УГЛЯ**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

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

Санкт-Петербург – 2021

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;

Шишлянников Дмитрий Игоревич

кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра «Горная электромеханика», доцент.

Ведущая организация - федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва.

Защита диссертации состоится 30 августа 2021 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.07 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2, ауд. № 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 30 июня 2021 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ЗВОНАРЕВ
Иван Евгеньевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Объёмы подземной добычи угля в развитых угледобывающих странах постоянно растут. В процесс добычи вовлекаются низко технологичные пласты, в связи с чем удельные затраты на добычу растут, а повышение эффективности подземной добычи сдерживается.

Наиболее ценными являются крупные фракции каменного угля. Мелкие фракции увеличивают выход летучей пыли повышают взрывоопасность и ухудшают состояние воздушной среды. В процессе добычи угля современными горными машинами в извлекаемой массе содержится более 40 % мелких классов и пыли, что существенно увеличивает потери угля, энергозатраты, увеличивает трудозатраты на осаждение, связывание и удаление пыли, снижает безопасность горных работ.

Подземная добыча угля в настоящее время обеспечивается преимущественно очистными комбайнами со шнековыми исполнительными органами с отработкой пластов средней мощности и мощных. Известно, что выход крупных фракций не может быть обеспечен без увеличения площади сечений срезов резцами исполнительных органов выемочных машин. Однако в настоящее время нет научно обоснованных методик определения значений параметров шнековых исполнительных органов (ШИО) очистных комбайнов, обеспечивающих заданное повышение выхода крупных фракций (более 60 %), снижения удельного расхода энергии (H_w) и уменьшения выхода пыли в процессе добычи в конкретных условиях эксплуатации.

Поэтому тема исследований «Обоснование параметров шнековых исполнительных органов очистного комбайна для повышения выхода крупных фракций угля» является актуальной научной задачей.

Степень разработанности темы исследования. Обоснованию и совершенствованию шнековых исполнительных органов очистных комбайнов посвящены работы ряда организаций и предприятий, конструкторов и учёных, среди которых следует отметить ИГД им. А.А. Скочинского, Гипроуглемаш, Донгипроуглемаш, ПНИУИ, ДонУГИ, Горловский машзавод им. С.М. Кирова, МГГУ, ТулГУ, КузПИ. Значительный вклад в развитие очистных комбайнов и их исполнительных органов

внесли: Гетопанов В.Н., Горбатов П.А., Докукин А.В., Козлов С.В., Линник В.Ю., Позин Е.З., Рязанцев С.Н., Солод В.И., Солод С.В., Ушаков Л.С., Хорин В.Н. и др. Однако до настоящего времени не разработаны научно обоснованные методики определения параметров шнековых исполнительных органов очистных комбайнов, обеспечивающих заданное повышение выхода крупных фракций угля, снижение энергоёмкости добычи в конкретных условиях эксплуатации. Поэтому тема исследований, посвящённая обоснованию параметров шнековых исполнительных органов очистного комбайна для повышения выхода крупных фракций угля, является актуальной научной задачей.

Цель работы. Повышение эффективности процесса отделения угля от массива резцами шнековых исполнительных органов очистного комбайна на основе энергоэффективных парных, подрезных и групповых типов срезов и последовательно-групповой схемы расстановки резцов, создающих совмещенные зоны напряжений в подрезцовой части угольного массива.

Идея работы заключается в установлении таких значений глубины, шага и формы сечений «подрезных», «парных» и «групповых» срезов, которые обеспечивают увеличение выхода крупных фракций, снижение удельной энергоёмкости и степени измельчения угля, что особенно актуально для условий шахт Вьетнама при добыче угля современными шнековыми высокопроизводительными комбайнами.

Задачи исследований:

Для достижения цели исследований необходимо выполнить следующие задачи:

1. Провести анализ развития очистных комбайнов и их исполнительных органов.
2. Исследовать закономерности формирования в угольном массиве подрезных, парных и групповых срезов резцами шнековых исполнительных органов очистных комбайнов.
3. Обосновать схему расстановки резцов шнековых исполнительных органов, обеспечивающую повышение выхода крупных фракций при добыче угля и снижение удельных затрат энергии.
4. Исследовать моделированием процесс формирования

парных, подрезных и групповых срезов в массиве.

5. Обосновать методику выбора параметров схем расстановки резцов исполнительных органов для крупного скола.

6. Разработать схемные и конструктивные технические решения шнековых исполнительных органов и оценить их эффективность.

Научная новизна работы заключается:

- в установлении рациональных соотношений типов срезов, их форм и площади сечений, обеспечивающих эффект «парности» и «групповых» срезов со снижением удельных энергозатрат и степени измельчения в процессе отделения угля от массива исполнительными органами очистных комбайнов в стационарных режимах работы;

- в обосновании рациональной структуры и параметров схем расстановки резцов на исполнительных органах очистных комбайнов, обеспечивающих увеличение сечений срезов на основе эффектов совмещения зон напряжений в массиве при формировании подрезных, парных и групповых срезов.

Практическая и теоретическая значимость работы заключается в следующем:

1. В разработанных схемных и конструктивных технических решениях, которые защищены как объекты интеллектуальной собственности в виде патентов на модель: шнековый исполнительный орган (патент на полезную модель №190549).

2. В рекомендациях и в методике выбора параметров схем расстановки резцов шнековых исполнительных органов, обеспечивающих:

- повышение качества добываемого угля по гранулометрическому составу;

- снижение удельного расхода энергии на отделение угля от массива;

- снижение интенсивности пылеобразования и затрат на подавление и нейтрализацию пыли, обеспечивающими повышение безопасности работ.

Методология и методы исследования. Используется совокупность методов, применяемых при анализах сложных процессов, включающих детерминированную и случайную составляющие, и характеризующих реальную нагруженность

рабочего инструмента и исполнительных органов очистных комбайнов, включающих:

- анализ развития теории резания углей и закономерностей развития резцов очистных комбайнов;
- выявления закономерностей процесса формирования парных, подрезных и групповых срезов;
- моделирование и экспериментальные стендовые исследования процесса отделения резцами угля от массива;
- спектральный анализ результатов экспериментальных исследований;
- синтез схемных и конструктивных технических решений.

Положения, выносимые на защиту:

1. Моделированием и экспериментально установлено, что повышение эффективности процесса резания пород резцами шнековых исполнительных органов очистного комбайна достигается комплексным техническим решением, включающим формирование парных срезов и совмещённых зон напряжений в массиве, в результате чего увеличивается выход крупных фрагментов при резании парными резцами в 1,3-1,8 раза по сравнению с резанием одиночным резцом, и уменьшается объём мелких классов на 8,7-11,3 % в добываемой массе.

2. Установлено, что ширина парного среза прямо пропорциональна произведению суммы толщины среза и ширины режущей кромки резца на коэффициент хрупкости пласта и на коэффициент ширины парного среза, а ширина группового среза при толщине большей 0,01 м будет прямо пропорциональна произведению суммы толщины среза, ширины режущей кромки резца и удвоенной ширины развала среза на коэффициент хрупкости пласта и на коэффициент ширины группового среза.

Степень достоверности и апробация результатов работы.

Научные положения, выводы и рекомендации, разработанные в диссертации, соответствуют известным положениям теории резания, построенной на известных фактах, и удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований. Основные положения и результаты работы докладывались и получили положительную оценку на Международной конференции «IPDME-2018» (Санкт-Петербург, 2018); XVII Международной научно-технической конференции

«Чтения памяти В.Р. Кубачека» (Екатеринбург, 2019); Международном семинаре «Круглый стол молодых ученых «IPDME-2019» (Санкт-Петербург, 2019); XXIX Международном научном симпозиуме Неделя Горняка-2021 (Москва, 2021); IV Международной научно-практической конференции «Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация» (Санкт-Петербург, 2021).

Личный вклад автора: заключается в постановке цели и формулировании задач исследований; в анализе тенденций развития рабочего инструмента; в разработке структуры и параметров парных, подрезных и групповых срезов, осуществляемых резцами шнековых исполнительных органов очистных комбайнов; в разработке новых технических решений, в формулировании положений, выносимых на защиту.

Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 10 печатных работах, в том числе в 3 статьях – 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 – Перечень ВАК), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и в систему цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Предполагаемые внедрения:

1. В виде патента в фонде ФИПС, предложенного к использованию без ограничения заинтересованными организациями и предприятиями;
2. В виде методики и технических решений, предложенных проектным, исследовательским и производственным организациями России и Вьетнама.

Объем и структура диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений. Материалы работы изложены на 132 страницах машинописного текста, содержат 21 таблицу, 61 рисунок. Список цитируемой литературы включает 108 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлены: актуальность и степень разработанности темы исследования, цель, задачи, идея и научная

новизна исследования, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов работы, личный вклад соискателя и данные о публикациях.

В первой главе приведен анализ современных конструкций и перспектив развития очистных комбайнов (ОК). Показано, что наиболее рациональной компоновкой являются двух шнековые комбайны с расположением шнеков с индивидуальным электрическим приводом по его концам и электрической бесцепной системой подачи с частотным регулированием скорости.

Во второй главе приведен анализ закономерностей развития рабочего инструмента выемочных машин, обоснованы структуры и параметры срезов, осуществляемых резцами, схемы расстановки резцов на ШИО, обеспечивающие улучшение гранулометрического состава добываемого угля, снижение удельного расхода энергии и времени на замену резцов.

В третьей главе рассмотрены результаты экспериментальных исследований (рисунок 1) процесса эталонного резания идеального по распределению прочностных свойств материала – органического стекла, с постоянными значениями параметров резцов и режима резания. Получены срезы устойчивые по значениям параметров, которые должны проявляться в процессах резания материалов разных видов, как изотропных, так и анизотропных.

В процессе резания при непрерывном движении резца в подрезцовом пространстве модельного массива (органического стекла) зоны упругой деформации, зоны остаточной деформации и разрушений существуют одновременно, занимая смежные пространства, смещаясь и последовательно замещая друг друга. В массиве возникают зоны напряжений двух типов, разделяемые контурными изолиниями равных напряжений, замыкающимися сами на себя при прохождении по границам сферических зон с одинаковым напряжением, а также не замкнутые линии зон напряжений, постепенно ослабевающих в исследуемом материале.

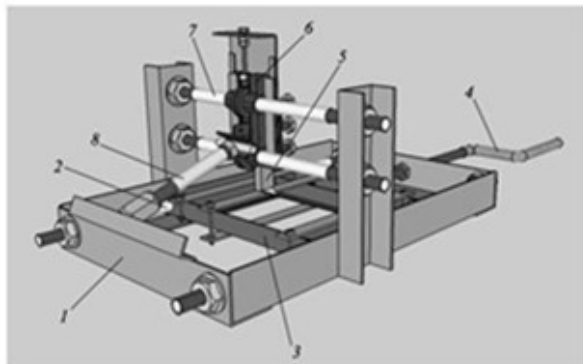
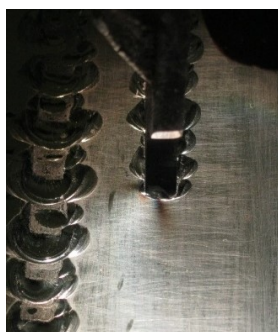


Рисунок 1 – Стендовая установка для резания органического стекла:
 1 – рама; 2 – направляющие перемещения рамки; 3 – передвижная рамка;
 4 – винт; 5 – резец; 6 – резцедержатель; 7 – направляющие
 перемещения резцедержателя; 8 – съёмный упор

Характер и смещение полей напряжений зависит от скорости движения резца. При одной плоскости обнажения имеет место двусторонний симметричный развал борозды резания (рисунок 2а).



а



б

Рисунок 2 – Следы срезов по органическому стеклу: толщина среза $h = 2$ мм; а – одиночные; б – парные

На рисунке 2б представлен парный срез толщиной $h = 2$ мм по пластине органического стекла. Форма элементарных сколов напоминает форму морской ракушки с характерными линиями замкнутых дуг. Часть из этих дуг отличается по высоте от остальных. На границах этих дуг в массиве наблюдаются

микротрещины в направлении образования скола. Внутренняя поверхность сколов формируется в виде зон с замкнутыми контурными линиями.

Результаты экспериментальных исследований (рисунок 3) представлены распределением фрагментов сколов, полученных при резании одиночным резцом и при резании парными резцами с различными шагами установки резцов. Из результатов эксперимента следует, что при резании парными резцами процент фрагментов с шириной сколов до 27 мм больше, чем при резании одиночным резцом (ширина фрагментов сколов до 15 мм, рисунок 4).

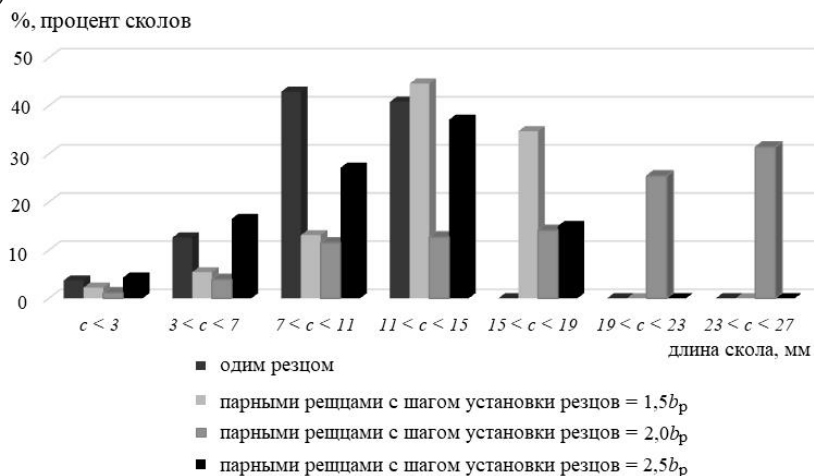


Рисунок 3 – Распределение фрагментов сколов по их ширине

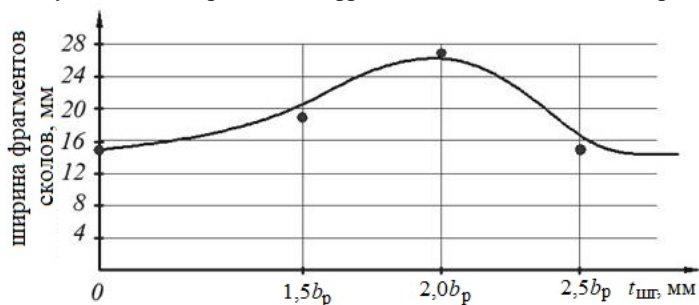


Рисунок 4 – Зависимость ширины (c) фрагментов скола от шага установки резцов ($t_{шп}$)

Таким образом, из результатов эксперимента (рисунки 3, 4) следует:

- при увеличении шага установки резцов до $1,5b_p$ получен выход мелких классов меньше на 8,7 %, чем при резании одним резцом;
- при резании парными резцами с шагом установки резцов равным $2b_p$ получен выход мелких классов меньше на 11,3 %, чем при резании одним резцом;
- при резании парными резцами с шагом установки резцов равным $2,5b_p$ получен выход мелких классов больше 3,5 %, чем при резании одним резцом.

Для исследования особенностей процесса формирования сопряженных полей напряжений при парных срезах угольного массива был применён метод моделирования, позволяющий определять максимальные напряжения, как состояние «предразрушения», при различных режимах резания. Теория напряжений предполагает, что для упруго-пластичных материалов предел текучести начинается, когда напряжение достигает предельного значения. При моделировании процессов был применён метод конечных элементов с программным пакетом (ABAQUS/Explicit). Массив был представлен плитой угля с размерами 80x50x20 мм, при этом ширина резца $b_p = 3$ мм и толщина среза $h = 2$ мм.

На рисунке 5а представлено распределение напряжений в массиве угля, полученное численным расчётом. Напряжение распределяется в соответствии с замкнутыми кривыми вокруг резца. Чем ближе к резцу, тем больше напряжение в массиве.

Из результатов моделирования процесса резания угля следует, что в зоне $\sigma_i = 11,52$ МПа значение напряжения больше, чем значение главного напряжения разрушения угля $\sigma_{\max} = 10$ МПа. При этом ширина зоны напряжения больше ширины режущей кромки резца b_p в 2,8 раза.

На рисунке 5б представлено распределение напряжений в массиве при резании угля парными резцами, полученное расчетом. Напряжение распределено по зонам с замкнутыми кривыми вокруг резца. Чем ближе к резцу, тем больше напряжение в массиве. В зоне $\sigma_i = 11,52$ МПа напряжение больше, чем значение главного

напряжения разрушения угля $\sigma_{\max} = 10$ МПа. При этом ширина зоны напряжения больше ширины режущей кромки резца b_p в 3,0 раза, а при резании одним резцом только в 2,8 раза.

Из рисунка 5в результатов моделирования процесса резания угля следует: в зоне $\sigma_i = 11,74$ МПа значение напряжения больше, чем значение главного напряжения разрушения угля $\sigma_{\max} = 10$ МПа. При этом ширина зоны напряжения больше ширины режущей кромки резца b_p в 4,6 раза. Линия границы зоны распределения напряжений представляет собой бесшовную кривую. Напряжения в этих местах все ещё превышают максимальный предел текучести материала. Если посмотреть на распределение напряжений, то процесс резания с шагом установки резцов $t_{\text{шр}} = 2b_p$ более эффективный, чем процесс резания с шагом установки резцов $t_{\text{шр}} = 1,5b_p$.

В зоне $\sigma_i = 11,53$ МПа (рисунок 5д) значение напряжения больше, чем значение главного напряжения разрушения угля $\sigma_{\max} = 10$ МПа. При этом ширина зоны напряжения больше ширины режущей кромки резца b_p в 2,6 раза и меньше, чем при резании одиночным резцом (2,8 раза). Зоны напряжений разделены промежуточной зоной с трещинами. Напряжения в этой зоне меньше максимального напряжения разрушения угля. Таким образом видно, что при расположении режущих парных резцов с большим шагом установки $t_{\text{шр}} = 2,5b_p$ зоны напряжений не совмещаются и не поддерживают друг друга. Размер фрагментов сколов значительно уменьшается при резании парными резцами с шагом резания, равным $(1,5 \text{ и } 2,0)b_p$. В небольшой зоне напряжений между двумя резцами возможно образование мелких сколов, что снижает эффективность.

На рисунке 6 представлено изменение силы резания на резце во времени за один срез.

Зона I – начало процесса резания. Сила резания устойчиво увеличивается и достигает максимального значения $Z = 16,6$ кН.

Зона II – стационарный режим резания. Силы резания изменяется с 16,6 кН до 11,5 кН при неизменном значении оценки его математического ожидания.

Зона III – процесс резания заканчивается. Силы устойчиво снижается от $Z = 16,5$ кН до нуля.

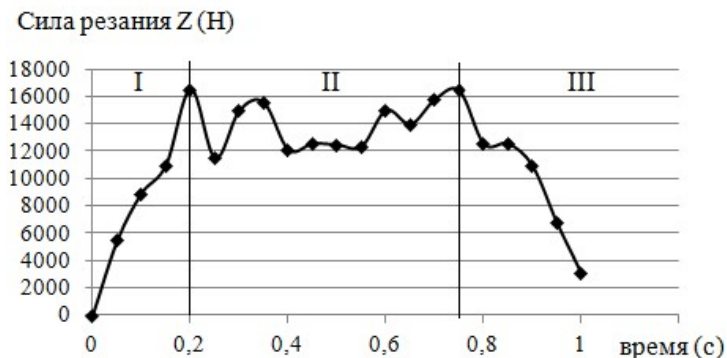


Рисунок 6 – Изменение силы резания за одиночный срез

На рисунке 7 представлены силы резания парными резцами с разными шагами резания. Сила резания парными резцами с шагом установки резцов, равным $(1,5 \text{ и } 2,0)b_p$, меньше, чем при резании с шагом установки резцов $2,5b_p$.

Зона I – начало процесса резания. Силы резания устойчиво увеличиваются и достигают максимальных значений. При шаге установки резцов $t_{шp} = 1,5; 2,0; 2,5b_p$ силы достигают значений $Z = 14,0 \text{ кН}; 13,0 \text{ кН}$ и $20,1 \text{ кН}$.

Зона II – стационарный режим резания при неизменном значении оценки математического ожидания:

- при шаге установки резцов $t_{шp} = 1,5b_p$ силы резания изменяется от $14,0 \text{ кН}$ до $11,5 \text{ кН}$;

- при шаге установки резцов $t_{шp} = 2b_p$ силы резания изменяется от $13,0 \text{ кН}$ до $10,9 \text{ кН}$;

- при шаге установки резцов $t_{шp} = 2,5b_p$ силы резания изменяется от $20,1 \text{ кН}$ до $16,1 \text{ кН}$.

Зона III – процесс резания заканчивается. При шаге установки резцов ($t_{шp} = 1,5; 2,0; 2,5 b_p$) силы от значения величин $Z = 15,2 \text{ кН}; 15,5 \text{ кН}$ и $15,4 \text{ кН}$ снижается до нуля.

Изменение силы резания в зоне II соответствует стационарному режиму и адекватно отражает особенности процесса резания угля одиночным резцом и может использоваться в анализах процессов резания.

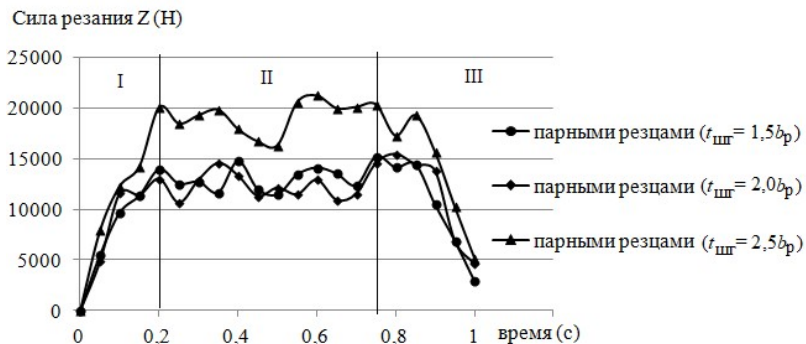


Рисунок 7 – Изменения сил резания на резцах

Из рисунков 4 и 7 следует, что при резании парными резцами с шагом установки $2,0b_p$ силы резания наименьшие, ширина фрагментов сколов наибольшая. Это подтверждает наличие рациональных срезов по уровню их эффективности и возможность выбора рациональных значений параметров парных срезов по сравнению с одиночными и групповыми срезами.

Результаты моделирования и экспериментальных исследований процесса резания модельного среды и угля с использованием программного обеспечения ABAQUS подтверждают следующее:

- в процессе резания массива использование парных резцов существенно влияет на выход крупных фракций по сравнению с одиночным срезом;
- при шаге установки резцов $2,0b_p$ образуются фрагменты с наибольшей площадью сколов;
- при использовании парных и групповых срезов возможно образование смещённых зон напряжений в массиве, обуславливающих увеличение размеров фрагментов сколов в 1,7 - 1,8 раза;
- при резании породы парными резцами с шагом их установки $2b_p$ силы резания на резце меньше, чем при резании одиночным или парными резцами с шагом установки равным $(1,5 \text{ и } 2,5)b_p$.

В четвертой главе установлено, что средние значения параметров сколов, их коэффициенты вариации и взаимной корреляции зависят от свойств массива, параметров инструмента и режима резания. Анализ традиционных схем установки резцов на ШИО (последовательной и шахматной) и применяемых типов

срезом выявил, что не исключена возможность создания новых (подрезных, парных и групповых) срезов и последовательно групповых схем расстановки резцов, обеспечивающих большую эффективность. Исследуемые срезы по форме их сечений, условиям среза и по наличию плоскостей обнажения (рисунок 8) подобны последовательному срезу.

Последовательный срез (рисунок 8а) характерен наличием двух плоскостей обнажения и сопровождается односторонним развалом борозды среза. Поверхность забоя после срезов не является выровненной. При этом процесс отделения угля или породы от массива устойчив, с малой вероятностью выхода негабаритов и рекомендуется для разработки прочных, вязких и даже особо прочных угольных пластов. Этот тип среза принят в качестве исходного (базового) для сравнения далее с ним исследуемых подрезного, парного и группового срезов и соответствующих схем расстановки резцов.

Подрезной срез формируется при перемещении резца вдоль уступа высотой H с двумя плоскостями обнажений и наклоне оси резца к поверхности забоя под углом γ (рисунок 8б), близким к 90° , сопровождается односторонним развалом борозды среза. Поверхность забоя после срезов не является выровненной. Высота уступа H может быть несколько большей, чем толщина последовательного среза (t_n) (рисунок 8а, 8б), а удельный расход энергии (H_w) несколько меньший, чем удельный расход энергии при последовательном срезе.

Парный срез (рисунок 8в) формируется двумя одинаковыми по размеру сближенными резцами, установленными без опережения и параллельно друг другу. Условия среза характерны наличием двух поверхностей обнажений. Срез сопровождается односторонним развалом борозды среза, отличается формированием единой критической зоны напряжений в массиве, обуславливающей более крупные элементарные сколы и большую ширину парного среза ($t_{пр}$) и площади сечения ($S_{пр}$) срезов по углю (1, 2):

при $h \geq 0,01$ м:

$$t_{пр} = t_{опт} K_{пр} = (1,25h + b_p + 1,25) K_x K_{пр}; \quad (1)$$

$$S_{пр} = h(1,25h + b_p + 1,25) K_x K_{пр}. \quad (2)$$

где $t_{опт}$ – оптимальная ширина парного среза, мм; $K_{пр} = 0,8 \div 0,9$ –

коэффициент ширины парного среза; K_x – коэффициент учитывающий влияние степени хрупкости угля: $K_x = 0,8$ для вязких углей, $K_x = 0,9$ для хрупких углей.

Дальнейшее увеличение сечения среза может быть достигнуто групповыми по форме срезами (рисунок 8д), обеспечивающими совмещенные срезы в целесообразной последовательности по площади забоя. Условия среза характеризуются наличием, как правило, двух поверхностей обнажений. Срез сопровождается односторонним или двусторонним развалом борозды среза, в зависимости от схемы расстановки резцов на ШИО, и отличается от последовательного и парного срезов при одинаковой их толщине, большими шириной и площадью сечения группового среза. Групповой срез первой ступени включает минимальное количество резцов: опережающий и два отстающих. Ширина ($t_{гр1}$) и площадь сечения ($S_{гр1}$) формируемого группового среза будут равны (3, 4):

при $h \geq 0,01$ м:

$$t_{гр1} = (t_{опт} + 2t_{нд})K_{гр} = (1,25h + b_p + 1,25 + 2htg\psi)K_x K_{гр}; \quad (3)$$

$$S_{гр1} = h(1,25h + b_p + 1,25 + 2htg\psi)K_x K_{гр}. \quad (4)$$

где: $t_{гр1}$ – ширина группового среза, мм; $K_{гр}$ – коэффициент ширины группового среза; h – толщина среза; ψ – угол развал среза.

Групповой срез первой ступени обеспечивает увеличение площади сечения среза, выход более крупных фракций при добыче угля и снижение удельного расхода энергии.

Предлагается групповая схема расстановки резцов второй ступени на ШИО (рисунок 9), лопасти которого оснащены специальными резцедержателями для групповых резцов. Совместное использование энергоэффективных парного опережающего и двух подрезных срезов, образующих групповой срез второй ступени с общим полем напряжений в подрезцовом пространстве массива, создает более благоприятные условия для отделения срезов большей ширины ($t_{гр2}$) и площади сечения ($S_{гр2}$), позволяют уменьшить выход мелких классов угля, удельный расход энергии и уменьшить ограничение по производительности ШИО (5, 6):

$$t_{\text{гр2}} = (t_{\text{пр}} + 2t_{\text{пл}})K_{\text{гр}} = 2[(1,25h + b_{\text{р}} + 1,25) + h\tau g\psi)]K_{\text{х}}K_{\text{гр}} \quad (5)$$

$$S_{\text{гр2}} = h[(1,25h + b_{\text{р}} + 1,25) + 2h\tau g\psi)]K_{\text{х}}K_{\text{гр}} \quad (6)$$

Предложенные парные, подрезные и групповые типы срезов, при заданном ограничении их толщины, и последовательные групповые схемы расстановки резцов на ШИО обеспечивают увеличение площади сечения срезов и улучшение гранулометрического состава угля, снижение удельного расхода энергий и пылеобразования, что повышает эффективность использования очистного комбайна со ШИО.

Технико-экономическая эффективность предложенных технических решений в процессе добычи угля ШИО достигается улучшением гранулометрического состава угля, увеличением площади сечений подрезных, парных и групповых срезов за счет эффекта наложения и совмещения создаваемых зон напряжений в массиве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи - обоснование структуры и параметров ШИО очистного комбайна с последовательно-групповой схемой расстановки резцов, обеспечивающей на основе парных, подрезных и групповых срезов повышение выхода крупных фракций и эффективности подземной добычи угля комбайновыми очистными комплексами.

В диссертационной работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, совокупность которых можно квалифицировать как решение поставленных в работе научных задач – установлении рациональных соотношений типов срезов, их форм и площади сечений, обеспечивающих эффект «парности» и «групповых» срезов со снижением удельных энергозатрат и степени измельчения в процессе отделения угля от массива ШИО очистных комбайнов в стационарных режимах работы, а так же обосновании рациональной структуры и параметров схем расстановки резцов на исполнительных органах очистных комбайнов, обеспечивающих увеличение сечений срезов на основе эффектов совмещения зон напряжений в массиве при формировании подрезных, парных и групповых срезов.

Личный вклад автора работы заключается в постановке цели и формулировании задач исследований; в анализе тенденции развития рабочего инструмента; в разработке структуры и параметров парных, подрезных и групповых срезов, осуществляемых резцами шнековых исполнительных органов очистных комбайнов; в разработке новых технических решений; в формулировании рекомендаций и положений, выносимых на защиту.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Выявлены закономерности в развитии резцов с конусным заострением, заключающиеся в расширении области и массовости их использования, повышении эффективности разрушения хрупких пород при отделении их от массива и сужении области использования лезвийного инструмента для разрушения вязких пород.

2. Используемые в настоящее время шнековые исполнительные органы очистных комбайнов с последовательными и шахматными схемами расстановки резцов имеют ограниченную возможность формирования энергоэффективных видов срезов по площади и формам их сечений.

3. Предложены более энергоэффективные подрезные, парные и групповые типы срезов и последовательно-групповые схемы расстановки резцов, которые обусловили возможность дальнейшего развития и повышения эффективности использования шнековых очистных комбайнов.

4. Установлены зависимости показателей эффективности шнековых исполнительных органов очистных комбайнов от параметров подрезных, парных и групповых типов срезов и параметров соответствующих схем расстановки резцов.

5. Обоснованы принципы выбора основных параметров подрезных, парных и групповых типов срезов и последовательно-групповых схем расстановки резцов на шнековых исполнительных органах очистных комбайнов.

6. Разработаны схемные и конструктивные технические решения для осуществления последовательно-групповых схем расстановки резцов на основе энергоэффективных подрезных, парных и групповых типов срезов шнековых исполнительных органов очистных комбайнов.

7. Предложенные схемные и конструктивные технические решения, базирующиеся на парных и групповых типах срезов и на последовательно групповой схеме расстановки резцов на шнековых исполнительных органах, обеспечивающие повышение качества добываемого угля по гранулометрическому составу и снижение удельного расхода энергии на отделение угля от массива, приняты к использованию группой компаний угольной промышленности Социалистическая Республика Вьетнам «ВИНАКОМИН», и рекомендуются к использованию российским компаниям, производящим горный инструмент и шнековые исполнительные органы очистных комбайнов.

8. Целесообразна разработка типовых схем расстановки резцов на шнековых и барабанных исполнительных органах очистных комбайнов для разных условий их эксплуатации и прочностных свойств угольных пластов как простого, так и сложного строения.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК

1. **Габов, В.В.** Схема расстановки резцов на шнековых исполнительных органах с подрезными, парными и групповыми срезами / В.В. Габов, В.С. Нгуен, Д.А. Задков, И.В. Ключник, Д.Ч. До // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. – №4. – С. 3-14.

2. **Нгуен, В.С.** Увеличение выхода крупных фракций в процессе добычи угля шнековыми очистными комбайнами / В.С. Нгуен, К.Л. Нгуен, Ю.В. Лыков // Горный журнал. 2021. – №2. – С. 97-100. (МБДиСЦ Scopus)

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

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования SCOPUS:

4. **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 // IOP Conference Series: Earth and

Environmental Science, 2019. – Vol. 378, 012025. 1-9 pp.

5. **Nguyen, V.X.** Increasing the coarse coal fractions yield during coal mining using shearer cutting drums / V.X. Nguyen, K.L. Nguyen, V.V. Gabov, Y.V. Lykov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. – Vol. 378, 012022. 1-8 pp.

Публикации в прочих изданиях:

6. **Габов, В.В.** Способы повышения крупных фракций при отделении угля от массива шнековыми исполнительными органами очистных комбайнов / В.В. Габов, **В.С. Нгуен**, К.Л. Нгуен // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018. Санкт-Петербург. 2018. С. 125.

7. **Габов, В.В.** Обоснование параметров процесса выгрузки угля на конвейер шнековыми исполнительными органами очистных комбайнов / В.В. Габов, Д.А. Задков, К.Л. Нгуен, **В.С. Нгуен** // XVII Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека». 2019. С. 111-114.

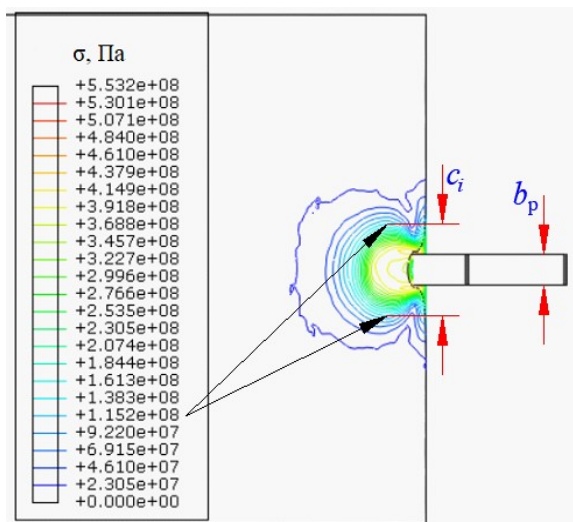
8. **Нгуен, В.С.** Последовательно групповая схема расстановки резцов шнековых исполнительных органов очистных комбайнов / В.С. Нгуен // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2019. Санкт-Петербург. 2019. С. 397-400.

9. **Габов, В.В.** Комбинированная схема расстановки резцов шнекового исполнительного органа / В.В. Габов, В.С. Нгуен, Д.А. Задков // Сборник трудов XVIII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Екатеринбург. 2020. С. 134-137.

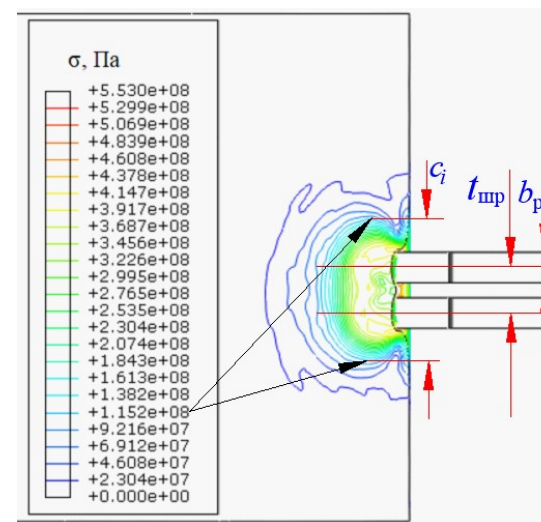
10. **Габов, В.В.** Совершенствование схемы расстановки резцов на шнековом исполнительном органе очистного комбайна / В.В. Габов, **В.С. Нгуен**, Д.А. Задков // Сборнике: Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация. материалы международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 39-42.

Патент:

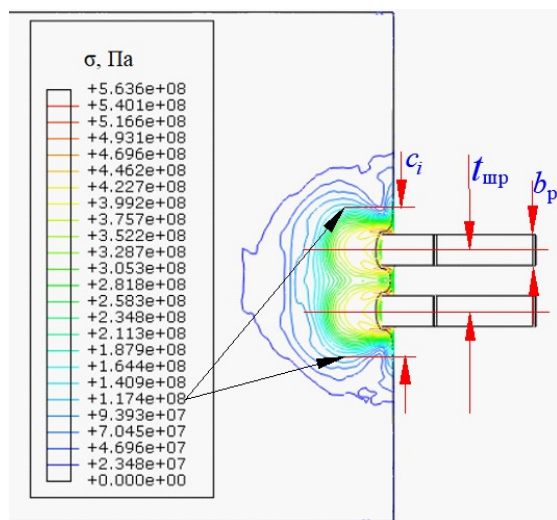
11. Патент № 190549 С1 Российская Федерация, E21C 25/04. Исполнительный орган очистного комбайна: № 2019112220: заявл. 22.04.2019: опубл. 03.07.2019 / Габов В.В., **Нгуен В.С.**, Нгуен К.Л., Лыков Ю.В.; заявитель СПбГУ. – 8 с. : ил.



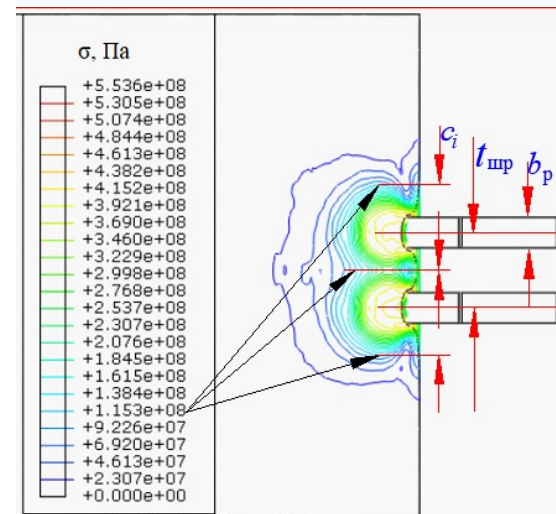
а – одним резцом



б – парными резцами ($t_{шп} = 1,5 b_p$);



в – парными резцами ($t_{шп} = 2 b_p$);



д – парными резцами ($t_{шп} = 2,5 b_p$);

Рисунок 5 – Распределение напряжений в массиве в процессе резания

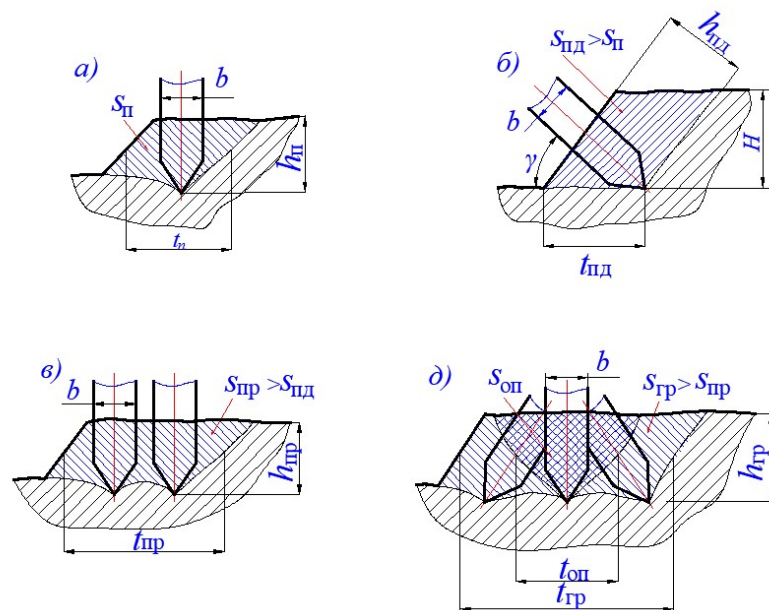


Рисунок 8 – Сечения срезов: а – последовательный;
 б – подрезной; в – парный; г – групповой;
 S_{Π} , $S_{\PiД}$, $S_{\Piр}$, $S_{\Piр}$ – площади сечений срезов; h_{Π} , $h_{\PiД}$, $h_{\Piр}$, $h_{\Piр}$ – толщины срезов; $t_{\PiД}$, $t_{\Piоп}$, $t_{\Piр}$ – ширина срезов; b – диаметр резца.

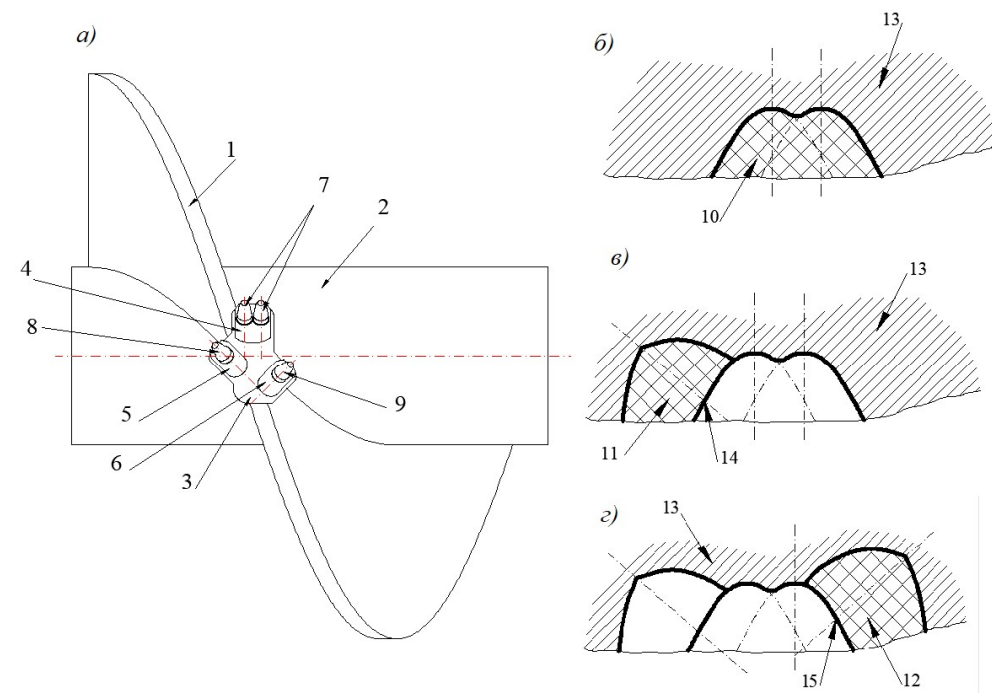


Рисунок 9 – Схемы установки резцов на лопасти (а) и ступени формирования сечения группового среза (б, в, г)
 1 – лопасть; 2 – ступица; 3 – резцедержатель; 4 – гнездо парных резцов;
 5 – гнездо левого резца; 6 – гнездо правого резца; 7 – парные резцы;
 8 – левый резец; 9 – правый резец; 10 – парный срез; 11 – подрезной левый срез;
 12 – подрезной правый срез; 13 – угольный массив;
 14 – боковая левая поверхность борозды парного среза; 15 – боковая правая поверхность борозды парного среза.