

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский горный университет»

*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

Диссертация на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
**Габов Виктор Васильевич**

Санкт-Петербург – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                     | 4  |
| ГЛАВА 1 АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ .....                                                  | 10 |
| 1.1 Анализ развития очистных работ на шахтах Вьетнама .....                                                        | 10 |
| 1.2 Анализ развития очистных комбайнов .....                                                                       | 13 |
| 1.3 Анализ механизации очистных работ на шахтах Вьетнама .....                                                     | 18 |
| 1.3.1 Оценка результатов работы комплексно механизированных очистных забоев в шахте Хечам .....                    | 18 |
| 1.3.2 Оценка результатов работы комплексно механизированных очистных забоев шахты Халам .....                      | 21 |
| 1.4 Анализ исполнительных органов очистных комбайнов .....                                                         | 24 |
| 1.4.1 Анализ развития исполнительных органов очистных комбайнов .....                                              | 24 |
| 1.4.2 Анализ режимов работы исполнительных органов очистных комбайнов .....                                        | 30 |
| 1.5 Выводы по главе 1 .....                                                                                        | 36 |
| ГЛАВА 2 ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ СРЕЗОВ РЕЗЦАМИ ШНЕКОВЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА ..... | 38 |
| 2.1 Анализ этапов развития резцов выемочных машин .....                                                            | 38 |
| 2.2 Условия эксплуатации современных резцов и требования к ним .....                                               | 55 |
| 2.3 Особенности конструкции современных резцов .....                                                               | 58 |
| 2.4 Анализ режимов работы лезвийных и конусных резцов выемочных машин .....                                        | 69 |
| 2.5 Факторы, критерии и показатели, определяющие эффективность срезов и схем расстановки резцов .....              | 70 |
| 2.6 Обоснование требований к процессу отделения угля от массива и к параметрам срезов .....                        | 72 |
| 2.7 Выводы по главе 2 .....                                                                                        | 79 |
| ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ УГЛЯ И ОРГАНИЧЕСКОГО СТЕКЛА В РЕЖИМЕ ЭТАЛОННОГО РЕЗАНИЯ .....                | 81 |
| 3.1 Экспериментальные исследования процесса резания органического стекла в режиме эталонного резания .....         | 81 |
| Для достижения цели экспериментальный исследований необходимо выполнить следующие задачи: .....                    | 83 |
| 3.2 Численное моделирование резания угля .....                                                                     | 92 |
| 3.2.1 Численное моделирование резания угля одним резцом .....                                                      | 95 |

|                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.2 Численное моделирование процесса резания органического стекла при резании парными срезами.....                                             | 99  |
| 3.3 Выводы по главе 3 .....                                                                                                                      | 106 |
| ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ ФОРМ СЕЧЕНИЙ СРЕЗОВ.....                                                                                                     | 107 |
| 4.1 Анализ форм сечений срезов.....                                                                                                              | 107 |
| 4.2 Последовательный и подрезной срезы .....                                                                                                     | 107 |
| 4.3 Обоснование парных и групповых срезов и последовательно- групповой схемы расстановки резцов на шнековых исполнительных очистных органах..... | 108 |
| 4.4 Выводы по главе 4 .....                                                                                                                      | 115 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                                                                 | 116 |
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....                                                                                                   | 119 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А Патент на полезную модель.....                                                                                                      | 131 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акт о внедрении результатов работы .....                                                                                            | 132 |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** 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 рост эффективности подземной добычи сдерживается.

Наиболее ценными являются крупные фракции каменного угля. Мелкие фракции увеличивают потери, выход летучей пыли повышает взрывоопасность и ухудшает состояние рудничной среды. В процессе добычи 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 однозначных 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 горных машин посвящены работы ряда организаций и предприятий, конструкторов и ученых, 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, посвященная 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 типах срезов и последовательно-групповой схемы расстановки резцов, создающих совмещенные зоны напряжений в подрезцовой части 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 высокопроизводительными современными комбайнами со шнековыми исполнительными органами.

**Задачи исследований:**

Для достижения цели исследований необходимо выполнить следующие задачи:

1. Провести анализ развития очистных комбайнов и их исполнительных органов.
2. Исследовать закономерности формирования подрезных, парных и групповых срезов резцами шнековых исполнительных органов очистных комбайнов.

3. Обосновать параметры схем расстановки резцов шнековых исполнительных органов, обеспечивающих повышение выхода крупных фракций при добыче угля и снижение удельных затрат энергии.
4. Исследовать моделированием процесс формирования парных, подрезных и групповых срезов.
5. Обосновать методику выбора параметров схем расстановки резцов исполнительных органов 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 особо 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 1 см 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.

**Соответствие паспорту специальности:** тема диссертационной работы соответствует специальности 05.05.06 – горные машины по п.3 и п.4 области исследований:

- 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».

**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 рекомендаций и 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.

## **ГЛАВА 1    АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ**

### **1.1    Анализ развития очистных работ на шахтах Вьетнама**

Социалистическая Республика Вьетнам-страна с большим потенциалом для подземной добычи угля. Низко метаморфизированный уголь (бурый уголь) в континентальной части угольного бассейна Красной реки залегает на глубинах до 1700 м. Его запасы 36,96 млрд. т. Если учесть глубину до 3500 м, то общие прогнозируемые запасы угля составят 210 млрд. т. То есть Социалистическая Республика Вьетнам обеспечен запасами угля на обозримое будущее. Умеренный метаморфизированный уголь (битум) был обнаружен в районах Тайнгуен, Сонгда и Нгетинь с запасами, достигающими 80 миллионов тонн.

Уголь с высокой степенью метаморфизма (антрацит) отмечен в основном в угольных бассейнах Куангнинь, Тхайнгуен, Сонгда и Ноньсон с общими ресурсами более 18 млрд. т. Угольный бассейн Куангнинь является во Вьетнаме крупнейшим с запасами более 3 млрд. т. Уголь бассейна Куангнинь эксплуатируется более 100 лет, имеет важное значение для Вьетнама сейчас и будет необходим для внутренних и экспортных нужд в будущем. Каменный уголь является ценнейшим полезным ископаемым, имеющим важное значение для энергетической, химической и других технологических отраслей промышленности Вьетнама.

Повышению объёма добычи угля (рисунок 1.1) в настоящее время придаётся особое значение. Чем больше объём добычи угля, тем ниже затраты на приобретение импортного угля и меньше экономическая зависимость от других стран [101-103]. По перспективному плану Вьетнамской угольно-минеральной промышленной группы «ВИНАКОМИН» к 2030 г. добычу угля необходимо увеличить в два раза по сравнению с добычей в настоящее время. Планируется, в связи с отработкой, пригодных для добычи открытым способом, добывать около 90 % угля подземным способом [95].

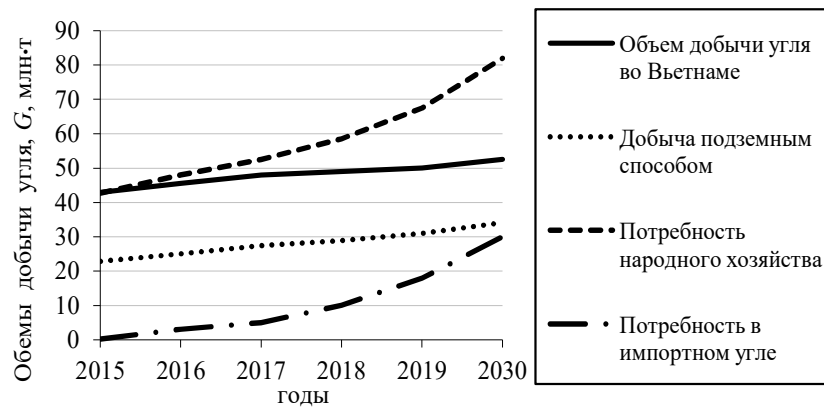


Рисунок 1.1 – Соотношение производства и потребления угля во Вьетнаме

Разрабатываемые пласты угольных месторождений Вьетнама по горно-геологическим условиям могут быть отнесены преимущественно к низко технологичным пластам. Разработка структурно сложных пластов в условиях Вьетнама может привести к увеличению затрат и к снижению коэффициента извлечения угля [71, 101, 103]. По этой причине для Вьетнама актуальны совершенствование и интенсификация процессов добычи угля из низко технологичных пластов, обеспечивающих заданные нагрузку на забой, удельный расход энергии ( $H_w$ ), гранулометрический состав добываемого угля ( $W_d$ ) и нормативную полноту извлечения угля [77, 97, 104].

В настоящее время во всех странах, где производится подземная добыча угля, в том числе и во Вьетнаме, наблюдается существенное ухудшение показателей эффективности его подземной разработки. Наблюдаемый рост производительности труда в угольной отрасли не покрыл возрастающие расходы на повышение заработной платы, социальные выплаты и прочие материальные затраты. Это приводит к тому, что уголь во Вьетнаме становится всё дороже наряду с возрастающей в нём потребностью.

Практика показывает, что при подземной добыче угля извлекается лишь 40-60 % от общих его запасов [57]. Эти потери предусматриваются в том числе при необходимости оставления поддерживающих целиков, что делает подземную добычу более безопасной и технологичной, особенно на пластах от 1,5 м и более.

Во Вьетнаме при подземной добыче угля из пластов средней мощности и мощных наиболее эффективны комплексно механизированные очистные забои

(КМОЗ), отрабатывающие столбы с большими запасами угля. Характеристика угольных пластов на некоторых шахтах в Куангнинь, где возможна комплексная механизация (по мощности пласта, углу залегания) приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристика запасов угля месторождения Куангнинь

| Название<br>месторождений | Уровень<br>рейтинга | Пригодные для разработки КМОЗ<br>(тысячи тонн) |                                  |                                |                                  |                                 | Уровень<br>механизации,<br>% |
|---------------------------|---------------------|------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
|                           |                     | Мощность $m \geq 2,2$ м                        |                                  |                                | $0,7 \leq m \leq 2,2$ м          | Объем,<br>млн. т                |                              |
|                           |                     | $\alpha \leq 35^0$                             | $35^0 < \alpha \leq 55^0$        | $55^0 < \alpha$                |                                  |                                 |                              |
| Маохе                     | -400 ÷ ОП           | 5,955                                          | 7,248                            | 24,930                         | 14,671                           | <b>52,803</b>                   | 27,81                        |
| Наммау                    | -350 ÷ +125         | 61,048                                         | 74,949                           | 6,895                          | 17,381                           | <b>160,272</b>                  | 74,72                        |
| Хонгтхай                  | +30 ÷ ОП            | 834,000                                        | 115,000                          | -                              | 2,326                            | <b>3,275</b>                    | 27,70                        |
| Вангзань                  | -350÷ ОП            | 73,041                                         | 28,596                           | 675,000                        | 1,323                            | <b>103,635</b>                  | 45,70                        |
| Халам                     | -300 ÷ -50          | 133,015                                        | 24,676                           | 1,153                          | 9,814                            | <b>168,658</b>                  | 70,70                        |
| Зыонгхуй                  | -350 ÷ +38          | 33,321                                         | 23,079                           | 967,000                        | 7,937                            | <b>65,304</b>                   | 41,80                        |
| Куангхань                 | -500 ÷ +120         | 12,089                                         | 2,774                            | -                              | 13,690                           | <b>28,554</b>                   | 28,70                        |
| Халонь                    | -800 ÷ +0           | 68,757                                         | 9,419                            | -                              | 30,578                           | <b>108,754</b>                  | 60,50                        |
| Монгзыонь                 | -250 ÷ LV           | 7,854                                          | 987,000                          | -                              | 1,955                            | <b>10,795</b>                   | 47,50                        |
| Хечам                     | -500 ÷ LV           | 19,785                                         | 7,982                            | -                              | 4,469                            | <b>32,235</b>                   | 23,40                        |
| Нуйбео                    | -475 ÷ LV           | 51,547                                         |                                  | -                              | 913,000                          | <b>52,460</b>                   | 65,30                        |
| Тхонгньат                 | -350 ÷ -35          | 9,648                                          | 3,453                            | -                              | 827,000                          | <b>13,928</b>                   | 29,90                        |
| Объем, тыс.т              | —                   | <b>476,895</b><br><b>(59,6%)</b>               | <b>183,276</b><br><b>(22,9%)</b> | <b>34,619</b><br><b>(4,3%)</b> | <b>105,884</b><br><b>(13,2%)</b> | <b>800,674</b><br><b>(100%)</b> | —                            |

Во Вьетнаме большие запасы угля в структурно сложных пластах. Выемка угля из структурно сложных пластов в условиях Вьетнама может привести к резкому увеличению затрат и объема неизвлекаемых его запасов [97, 104].

Как показано в работах [13, 77], почти большинство работающих в настоящее время КМОЗ на значительных по толщине угольных пластах с

наклоном пластов до  $34^\circ$  имеют в своём составе комбайны со шнековым исполнительным органом. Названные комбайны обладают следующими преимуществами: во-первых, они одновременно отделяют уголь от массива и грузят его на конвейер. Во-вторых, они могут самозарубаться в пласт и регулировать положение рабочих органов по толщине пласта. В-третьих, их отличает надёжность, долговечность, возможность осуществления как челноковой, так и односторонней с зачисткой технологий выемки угля. В настоящее время шнековые комбайны заменить нечем.

## **1.2 Анализ развития очистных комбайнов**

В работе [54] показано, что примерно 70 % энергии, которая поступает в забой, тратится на обеспечение работы очистного комбайна, а так же на транспортировку угля, поэтому как экономичность, так и эффективность добычи угля подземным способом зависит прежде всего от конструкции очистного комбайна.

В настоящее время в организациях, добывающих уголь подземным способом, используется несколько разных по конструкции очистных комбайнов, среди которых большинство являются шнековым, причём основное отличие шнековых комбайнов между собой заключается в разном количестве шнеков и их расположении как относительно друг друга, так и относительно корпуса машины.

На рисунке 1.2 представлен комбайн с одним шнеком, ось которого расположена относительно корпуса неподвижно [11, 61, 83]. Диаметр шнеков таких одношнековых комбайнов рассчитан на всю мощность пласта и подбирается по его размерам, в то время как регулирование по гипсометрии пласта производится с помощью подъема или опускания всего комбайна.

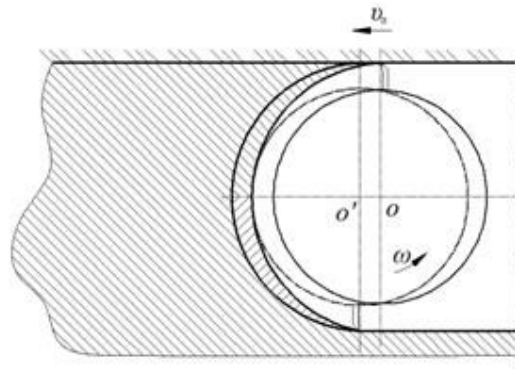


Рисунок 1.2 – Очистной комбайн с одним шнеком и соответствующая его работе схема выемки угля

Несмотря на то, что одношнековый комбайн имеет одностороннее действие, он может работать по челноковой схеме за счёт переставляемых зачистных устройств.

Положительными характеристиками комбайна данного типа и данной схемы являются:

- возможность челноковой работы;
- достаточно небольшие габаритные параметры данной горной машины;
- простота конструкции.

К недостаткам данной конструкции можно отнести то, что у него нет плавного регулирования положения шнека по мощности пласта, поэтому выемка им угля по длине лавы является неполной.

На рисунке 1.3 показан комбайн с тремя шнеками. У комбайнов, скомпонованных по трехшнековой схеме оси двух шнеков установлены неподвижно относительно корпуса комбайна, а третий закреплён консольно на рукояти, выполняющей возвратно-вращательное движение относительно корпуса [76, 80]. Достоинством комбайнов с тремя шнеками является то, что они могут вынимать уголь по всей толщине пласта без замены шнеков по диаметрам. Достоинством их является и то, что они обладают свойством самозарубки комбайна на следующую полосу выемки и могут получать ступенчатые формы забоя. Достоинством ступенчатой формы забоя, как известно, является его повышенная устойчивость. Несмотря на перечисленные достоинства схема комбайнов с тремя шнеками не получила широкого применения. Комбайны с

три шнеками широко не используются из-за того, что доступ в зону между нижними шнеками усложнен, а также возможен выход негабаритов.

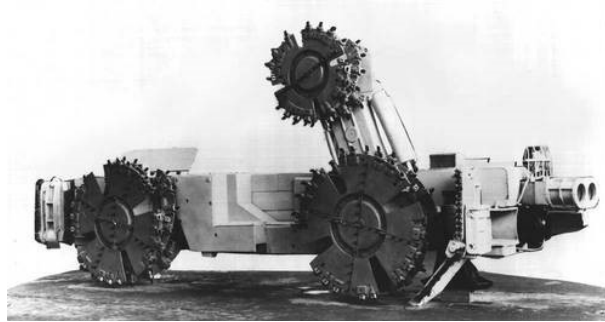


Рисунок 1.3 – Очистной комбайн с тремя шнеками

На рисунке 1.4 представлен комбайн с симметричной схемой расположения четырёх шнеков. Все четыре шнека располагаются и в начале и конце машины-по два с каждой стороны.

Комбайн подобного типа может производить выемку угля по всей мощности пласта. Он может выполнять самозарубку комбайна в пласт для очистки новой полосы выемки. К четырёхшнековым относятся комбайны 4K52, K105, K120.

К основным недостаткам четырёхшнековой схемы комбайна относятся следующие:

- затруднён доступ в зону между шнеками;
- конструкция комбайна переусложнена.

Эти комбайны чаще всего используют на крупных или средних по мощности пластах [64, 86].



Рисунок 1.4 – Очистной комбайн с четырьмя шнеками

Самыми наиболее используемыми комбайнами являются те горные машины, у которых схема включает два шнека, каждый из которых может быть расположен относительно корпуса самой машины либо симметрично, либо несимметрично [35, 39, 49]. Если применяется несимметричная схема, то один шнек имеет ось вращения, неподвижную относительно корпуса, а второй тогда делают подвижным на рукояти, имеющей возможность совершать возвратно-вращательное движение для того, чтобы подстраиваться под каждую толщу угольного пласта. К таким комбайнам относятся 2K52M, ENW 100–G, которые выпускают в Германии (рисунок 1.5).

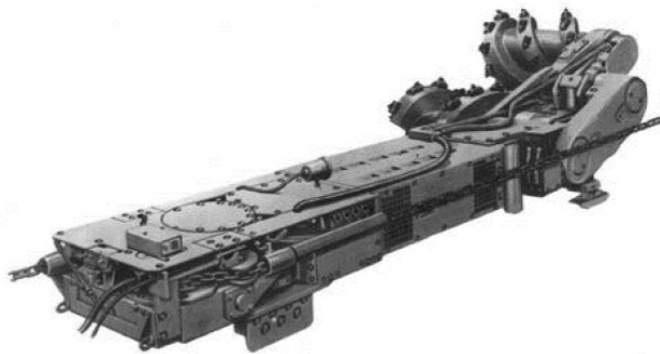


Рисунок 1.5 – Очистной комбайн с несимметрично расположенными двумя шнеками

Если закрепить оба шнека относительно корпуса подвижно на качающихся рукоятках, то будет достаточно удобно отрабатывать уголь по всему толще пласту при челноковой схеме работы комбайна и будет проще осуществлять погрузку угля. Недостаток данной схемы-на одном из концов лавы необходимо сделать нишу (например, при использовании комбайна 1K101У). Применяются такие машины для работы на пологих и мало наклонных до  $36^\circ$  пластах, мощность которых находится в пределах 0,8...1,25 м. Выпускали такие комбайны в г. Горловке, Донецкой обл., на Украине на Горловском машиностроительном предприятии [35, 59]. Горловский комбайн показан на рисунке 1.6.



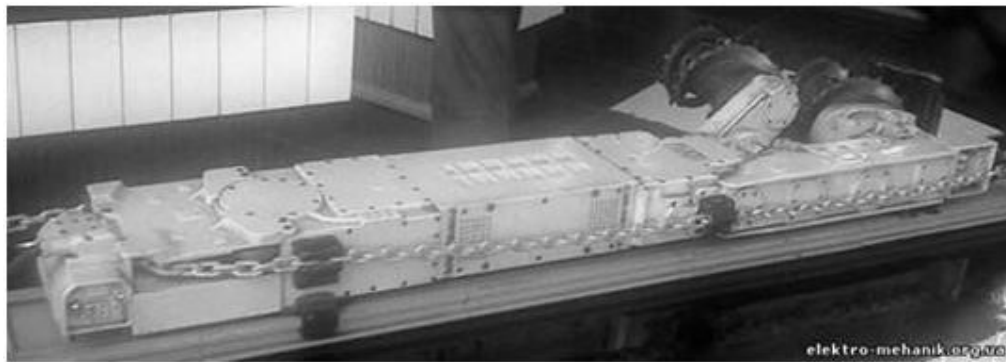


Рисунок 1.6 – Очистной комбайн 1K101Y

Если расположить шнеки, в отличие от схемы комбайна 1K101Y, симметрично с обеих сторон корпуса машины на качающихся рукоятях, например, как у комбайна ГШ68 [54] (рисунок 1.7), то он будет отлично работать на пологих и наклонных пластах до  $34^\circ$  и толщиной от 1,25 до 2,4 м применяя при этом челноковую двухстороннюю или одностороннюю схемы отработки пласта, причём с этими машинами можно применять и механизированные, и индивидуальные крепи. Совместно с комбайном ГШ68 работает скребковый забойный конвейер, а добыча угля ведётся на всю мощность пласта. Выше названную схему установки шнеков и отработки угля имеют комбайны KSW200 (Чехия), DTS-300 (Франция), AB16/200 (Англия), EDW300L (Германия), K103, 1ГШ68, K128П (Россия), KWB-6 (Польша) и другие.

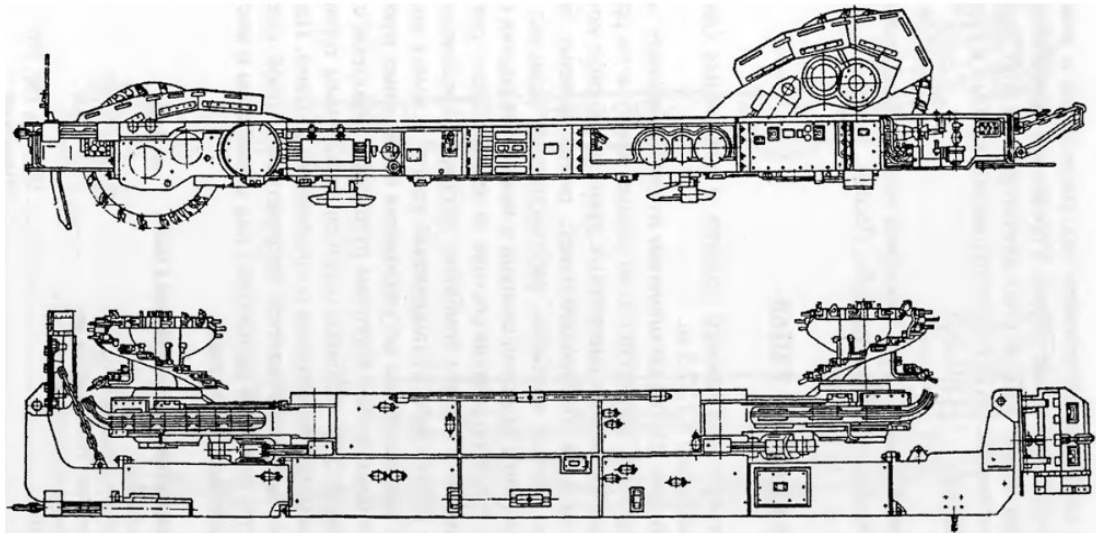


Рисунок 1.7 – Очистной комбайн ГШ68

Наибольшим достоинством симметричной схемы комбайна, при которой шнеки располагаются по концам корпуса машины является то, что она предусматривает унификацию основных узлов и агрегатов машины. К этим узлам и агрегатам относятся:

- электродвигатели;
- редукторы режущей части;
- редукторы шнековых выемочных органов;
- редукторы поворотных рукоятей, блоков управления, опорных и направляющих механизмов, механизмов подачи;
- редукторы механизмов изменения положения шнеков.

Сказанное позволяет легко создавать комбайны для отработки любых по мощности пластов.

### **1.3 Анализ механизации очистных работ на шахтах Вьетнама**

#### **1.3.1 Оценка результатов работы комплексно механизированных очистных забоев в шахте Хечам**

В последние годы Вьетнамская угольно-минеральная промышленная группа «ВИНАКОМИН» и ее подразделения были сосредоточены на внедрении передовых научных и технологических достижений в производство. КМОЗ для подземной добычи угля впервые были применены в шахте Хечам в 2002 году и применяются в настоящее время практически во всех подразделениях группы. Впервые КМОЗ был применен в шахте Монгзыонг в 2003 году, затем в 2007 и 2010 годах на шахтах Вангзань и Наммау. С 2015 года продолжают применять комплексную механизацию на шахтах Халам, Дуонгхай, Куангхань. Внедряется механизированная добыча полезных ископаемых на шахтах Хечам, Дуонгхай, Куангхань. Интенсивность процесса добычи и общий объем добычи угля по различным видам технологий увеличился с 575624 т в 2013 году до 720568 т в 2015 году и в 2016 году достиг 1,384 млн. т и составил 6,6 % от добычи угля подземным способом. В частности, в шахте Халам комплексно-механизированная добыча в очистном забое с проектной мощностью 600 тыс. т/год достигла 1,2 млн.

т/год. Результат подтвердил правильность ориентации «ВИНАКОМИН» на комплексную механизацию очистных работ.

Для подземной добычи угля вьетнамская угольно-минеральная промышленная группа «ВИНАКОМИН» стремится применять технологии с максимальной механизацией всех технологических процессов, что приводит к повышению производительности труда и увеличивает скорость добычи угля в длинных КМОЗ шахт, а также снижает затраты на эксплуатацию и способствует улучшению условий труда с одновременным повышением его безопасности. С 2002 года шахта Хечам начала использовать очистной комбайн MG-200 W1 (рисунок 1.8) китайского производства. Техническая характеристика очистного комбайна приведена в таблице 1.2.



Рисунок 1.8 – Положение очистного комбайна MG-200 W1 в забое шахты Хечам.

Таблица 1.2 – Технические характеристики очистного комбайна MG-200 W1

| Технические характеристики    | Единицы измерения | Значения     |
|-------------------------------|-------------------|--------------|
| Мощность вынимаемого пласта   | м                 | 1,4-3,0      |
| Ширина захвата                | м                 | 0,63         |
| Угол наклона                  | град              | $\leq 35$    |
| Сопrotивляемость угля резанию | кН/м              | 200-300      |
| Сила подачи комбайна          | кН                | 320          |
| Скорость подачи комбайна      | м/мин             | 0-5,5        |
| Мощность двигателя            | кВт               | 200          |
| Напряжение в эл. сети         | В                 | 660/1140     |
| Диаметр шнека                 | м                 | 1,25/1,4/1,6 |

Продолжение таблицы 1.2

|                                             |    |      |
|---------------------------------------------|----|------|
| Высота корпуса от почвы                     | мм | 1174 |
| Длина поворотной рукояти                    | мм | 1394 |
| Длина по осям крепления поворотных рукоятей | мм | 3786 |
| Масса комбайна                              | т  | 20,5 |

В таблице 1.3 приведено изменение добычи угля с 2002 по 2005 г. Общая добыча составила 512.598 тыс. т. Самая высокая добыча в год 184.406 тыс. т была достигнута в 2003 году.

Таблица 1.3 – Результаты механизации горных работ в 2002-2005 гг. в шахте Хечам

| Период         | Объем добычи (тыс.т) |
|----------------|----------------------|
| 5.2002-12.2002 | 115,290              |
| 2003           | 184,606              |
| 2004           | 160,457              |
| 1.2005-10.2005 | 152,245              |
| <b>Сумма</b>   | <b>512,598</b>       |

На основании достигнутых в 2005 году результатов угольная шахта Хечам продолжает координировать свою деятельность с местными консультационными подразделениями и китайскими экспертами, чтобы вывести КМОЗ на полную мощность, оснащая КМОЗ механизированной крепью ZZ(ZT)-3200/16/26 в сочетании с применяемой выемочной машиной (комбайном) MG150/375-W (рисунок 1.9). Проектная мощность лавы на начальном этапе составляла 400 тыс. т/год. Технические характеристики машины приведены в таблице 1.4.



Рисунок 1.9 – Очистной комбайн MG-175/375-W

Таблица 1.4 – Технические характеристики очистного комбайна MG-175/375-W

| <i>Технические характеристики</i>           | <b>Единицы измерения</b> | <b>Значения</b> |
|---------------------------------------------|--------------------------|-----------------|
| Мощность пласта                             | м                        | 1,30-2,85       |
| Ширина захвата                              | м                        | 0,63            |
| Максимальный угол наклона                   | град                     | 35              |
| Сила подачи                                 | кН                       | 325             |
| Скорость подачи                             | м/мин                    | 0-6             |
| Мощность двигателя                          | кВт                      | 375             |
| Напряжение в сети                           | В                        | 660/1140        |
| Диаметр шнека                               | м                        | 1,25/1,4/1,6    |
| Высота корпуса комбайна от почвы            | мм                       | 1100            |
| Длина поворотной рукояти                    | мм                       | 1700            |
| Длина по осям крепления поворотных рукоятей | мм                       | 5164            |
| Масса комбайна                              | т                        | 22              |

### 1.3.2 Оценка результатов работы комплексно механизированных очистных забоев шахты Халам

В Январе 2015 года был подготовлен очистной забой (лава) с производственной мощностью 600 тыс. т/год. Характеристика геологических условий залегания угольных пластов в районе лавы, таких как: средняя мощность пласта 6,8 м, средний угол наклона 19 градусов, длина лавы (в направлении уклона) 108 м, длина столба 420 м. Используются механизированная крепь ZZ(ZT)-3200/16/26 в сочетании с очистным комбайном MG150/375-W (рисунок 1.10 и таблица 1.5).

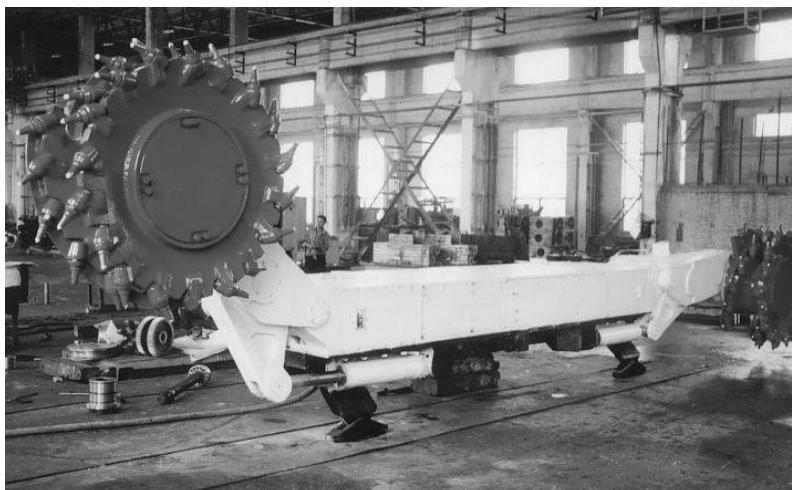


Рисунок 1.10 – Очистной комбайн MG-150/375-W

Таблица 1.5 – Технические характеристики очистного комбайна MG-150/375-W

| <i>Техническая характеристика</i>           | <b>Единицы измерения</b> | <b>Значения</b> |
|---------------------------------------------|--------------------------|-----------------|
| Вынимаемая мощность пласта                  | м                        | 1,3-2,85        |
| Ширина захвата                              | м                        | 0,63            |
| Максимальный угол наклона                   | град                     | 35              |
| Сила подачи                                 | кН                       | 350             |
| Скорость подачи                             | м/мин                    | 0-6             |
| Мощность двигателя                          | кВт                      | 375             |
| Напряжение в сети                           | В                        | 660/1140        |
| Диаметр шнека                               | м                        | 1,25/1,4/1,6    |
| Высота корпуса от почвы                     | мм                       | 1100            |
| Длина поворотной рукояти                    | мм                       | 1700            |
| Длина по осям крепления поворотных рукоятей | мм                       | 5164            |
| Масса комбайна                              | т                        | 20              |

С января 2017 года, в шахте Халам подготовлена лава с расчетной нагрузкой 1,2 млн. т/год из пласта мощностью 21,7 м; средний угол наклона  $0 \div 10$  градусов; высота выемки 3,0 м, остальная часть угольного пласта отозвана. Длина лавы 152 м, длина столба 345 м. Оборудование лавы: механизированная гидравлическая крепь ZF8400/20/32, очистной комбайн MG300/730-WD1 (рисунок 1.11 и таблица 1.6) и забойный конвейер SGZ764/400. Общий объем инвестиций 499,1 млрд. донгов (эквивалент 1,4 млрд. рублей). Проект был начат 1 октября 2016 года и завершен 8 ноября 2016 года. Это самая крупная установка оборудования для рынка горнодобывающей компании и угольной промышленности, и так же синхронный механизированный рынок с самой большой производительностью из когда-либо существовавших во Вьетнаме – группа по добыче угля, инвестированная акционерной шахтой Халам, применяемая и вводимая в эксплуатацию.



Рисунок 1.11 – Очистной комбайн MG-150/375-W

Таблица 1.6 – Технические характеристики очистного комбайна MG-150/375-W

| <i>Техническая характеристика</i> | <b>Единицы измерения</b> | <b>Значения</b> |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------------|
| Мощность пласта                   | м                        | 1,7-3,4         |
| Ширина захвата                    | м                        | 0,63            |
| Максимальный угол наклона         | град                     | 35              |
| Сила подачи                       | кН                       | 687             |
| Скорость подачи                   | м/мин                    | 0-8,7           |
| Мощность двигателя                | кВт                      | 730             |
| Напряжение в сети                 | В                        | 1140            |
| Диаметр шнека                     | м                        | 2               |
| Высота корпуса от почвы           | мм                       | 1485            |
| Длина поворотной рукояти          | мм                       | 2164            |
| Масса комбайна                    | т                        | 50              |

В течение 2 лет в шахте Халам была отмечена стабильная добыча угля и постепенный выход на проектную мощность. Сразу после ввода в эксплуатацию в 2016 года было добыто 47,400 т/мес. В 2017 году было добыто 1,02 млн. т, а в 2018 году уже 1,062 млн. т. В ближайшее время «ВИНАКОМИН» выступает за дальнейшее содействие применению технологии комплексно механизированной добычи полезных ископаемых и в других горно-геологических условиях,

обеспечения производственного плана на 2020-2025 годы и в перспективе до 2030 года. Основные цели: повышение объема добычи, производительности и безопасности труда в горнодобывающей промышленности, улучшения условий труда и сохранения окружающей среды.

#### **1.4 Анализ исполнительных органов очистных комбайнов**

##### **1.4.1 Анализ развития исполнительных органов очистных комбайнов**

Совершенствованию исполнительных органов горных машин посвящены работы ряда конструкторов и ученых, организаций и предприятий, 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: Докукин А.В. [25-29]; действительный член НАН Потураев В.Н. [65]; доктора технических наук: Позин Е.З. [62-64]; Берман В.М. [5]; Бреннер В.А. [71]; Габов В.В. [14-22]; Гетопанов В.Н. [23, 77]; Жабин А.Б. [31]; Миничев В.И. [52]; [40-48]; Прокопенко С.А. [66-68]; Потураев В.Н. [65]; Рубец Г.Т. [73]; Скуднов В.А. [75]; Солод В.И. [76, 77]; Унков Е.П. [82]; Филимонов Н.А. [83]; Хорешок А.А. [84, 85]; Хорин В.Н. [86] и многие другие.

Общие вопросы увеличения выхода крупных фракций в процессе добычи угля шнековыми очистными комбайнами, конструирования исполнительных органов, выбора типов и схем расстановки резцов и других элементов подробно рассмотрены в работе [77].

Процесс выемки угля машинным способом состоит из четырёх различных процессов. Первый из них-отделение угля от массива исполнительным органом. Второй-выгрузка лопастями шнека из рабочего пространства, отнятого от первозданного массива угля. Третий-транспортировка угля от шнека до конвейера и наконец, погрузка отбитого угля на забойный конвейер.

Процесс разрушения массива (отделения угля от массива) является главным в технологическом цикле выемки угля, так как определяет и производительность



отдельной очистной машины и комплекса в целом [11, 13, 15, 32]. Эта операция производится исполнительным органом машины. Работа остальных органов как очистной, так и других основных и вспомогательных машин подчинена главному обеспечению производительной работы исполнительных органов комбайна. Все сказанное выше относится к отдельным рабочим органам, из которых состоят все исполнительные органы современных угледобывающих комбайнов. Исполнительные органы, как правило, включают один или несколько рабочих органов, иногда различных типов, поэтому различная комбинация последних может значительно изменить возможности исполнительных органов. Для создания хорошего исполнительного органа далеко не всегда достаточно использовать хорошие отдельные рабочие элементы органов. Основные вопросы, которые приходится решать при этом, заключаются в нахождении рационального их сочетания, необходимых размеров, рационального расположения друг относительно друга на комбайне, а также правильного направления воздействий резцов и исполнительных органов на массив пласта.

**К исполнительным органам очистных комбайнов** наряду с общими требованиями предъявляются требования, зависящие от условий их эксплуатации и они должны быть согласованы с конструкцией машины, режимом её работы, а также с характером работы и конструкцией остальных рабочих органов и узлов машины в целом:

- механизмы, разрушающие массив угля, раздробленный на транспортабельные куски и загружающие его на средства доставки, должны иметь не сложную конструкцию;
- тип, конструкция и режим работы исполнительного органа, а также режущего инструмента должны быть подобраны так, чтобы удельный расход энергии на добычу угля был как можно меньше;
- добычной комбайн, применяя средства пылеподавления, должен при своей работе не создавать запылённости более тех, что указаны в санитарных нормах;

- должна быть обеспечена высокая производительность при разрушении и перевозке угля;
- конструктивные параметры опорных элементов машины и конструкция исполнительного органа, а также режим работы и динамические нагрузки должны быть такими, чтобы обеспечить устойчивое положение машины в плоскости пласта и в плоскости, перпендикулярной плоскости пласта;
- должна быть обеспечена надёжность и долговечность как отдельных узлов, так и всей машины в целом;
- во время работы машины должна быть обеспечена возможность несложного изменения положения рабочего органа по всей мощности пласта;
- должна быть обеспечена самозарубка исполнительного органа в пласт и такая технология выемки угля, чтобы было возможно на концевых участках очистного забоя добывать уголь без предварительной подготовки ниш. Это позволяет обойтись без нишенарезных машин, что в свою очередь уменьшает продолжительность концевых операций и их трудоёмкость;
- должна быть возможность работы как по челноковой, так и по односторонней схеме;
- при выемке угля должна быть обеспечена прямоугольная форма забоя;
- конструкция резцедержателей должна обеспечивать надёжное крепление резцов наряду с возможностью их удобной и быстрой замены в случае их крайнего износа;
- в целом конструкция исполнительного органа должна обеспечивать простоту эксплуатации и быть технологичной в изготовлении;
- исполнительный орган должен соответствовать требованиям безопасной работы в загазованных и пыльных шахтах.

В разных горно-геологических условиях к исполнительным органам предъявляются разные требования. Это обстоятельство не позволяет применять для добычи угля унифицированный однотипный инструмент. В настоящее время в состав очистных комбайнов включают разные типы исполнительных органов,

которые позволяют осуществлять выемку угля наиболее экономично в данных конкретных условиях (рисунок 1.12).

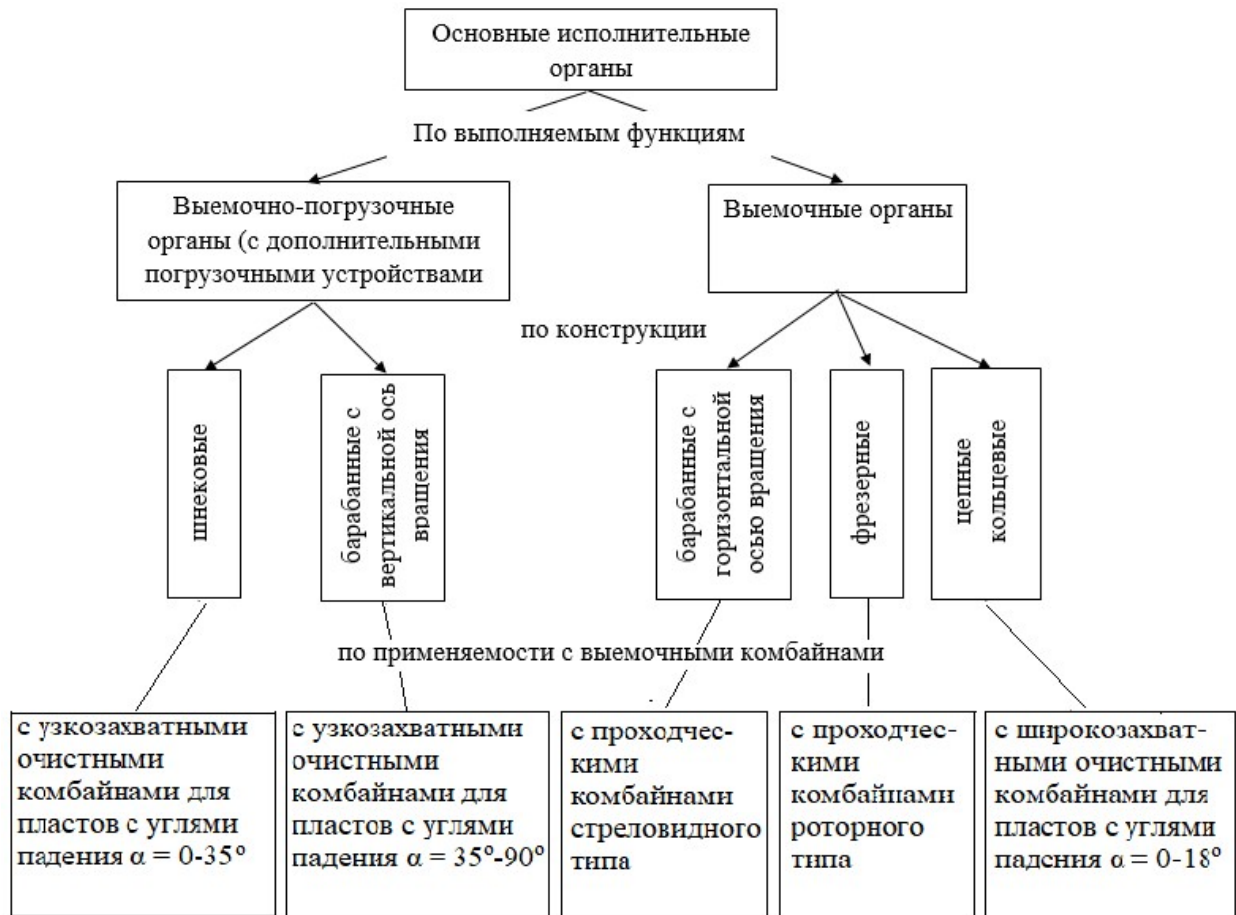


Рисунок 1.12 – Классификация исполнительных органов очистных комбайнов  $\alpha$

**Шнековые исполнительные органы** отличаются друг от друга по следующим признакам: по способу изготовления они бывают литые и сварные; по количеству заходов шнеки изготавливают двух, трех и четырехзаходными; шаг навивки при этом может быть с постоянным или переменным шагом; самозарубающиеся или нет; резцы на шнеках могут устанавливаться радиально или тангенциально; по технологии добычи различают шнеки для правого и левого забоя.

На рисунке 1.13 показан шнековый исполнительный орган, состоящий из корпуса и отрезного диска, причём корпус изготовлен литьём. На торце отрезного диска имеются резцы для возможности самозарубки комбайна в угольный массив,

а забойные радиальные резцы закреплены в приваренных к лопастям шнека резцедержателях.

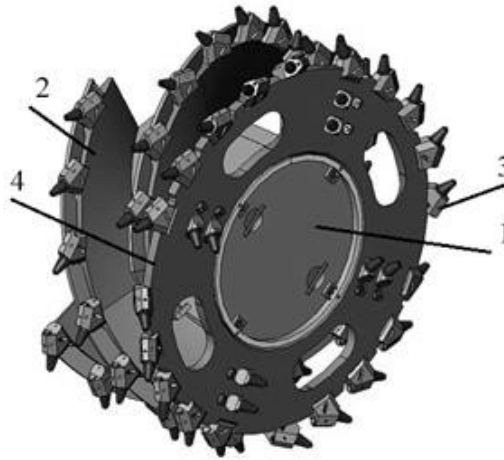


Рисунок 1.13 – Шнековый исполнительный орган  
1 – ступица шнека; 2 – винтовая лопасть;  
3 – резцедержатель; 4 – диск торцевой

К достоинствам шнековых исполнительных органов относятся:

- простая конструкция;
- повышенная относительно других типов исполнительных органов производительность;
- возможность выполнения сразу двух операций-разрушения и погрузки;
- возможность регулировки положения рабочего органа по толщине вынимаемого пласта во время работы комбайна;
- два возможных варианта работы комбайна, а именно, как по челноковой, так и по односторонней схеме;
- возможность самозарубки в пласт.

К недостаткам шнековых исполнительных органов относятся:

- серпообразная форма среза переменного сечения;
- разрушение угольного пласта под углом к напластованию;
- относительно высокие удельные энергозатраты (разрушение пласта в крест напластования);
- повышенное пылеобразование;
- низкая сортность по гранулометрическому составу.

На горизонтальных и близких к ним пластах применяют исполнительные органы с вертикальной осью, а на пластах крутого падения используют исполнительные органы с горизонтальной осью. Барабанные выемочно-погрузочные органы (рисунок 1.14) с вертикальной осью производят разрушение массива по напластованию в сторону открытой поверхности забоя. Барабаны с горизонтальной осью вращения в комбайнах, работающих на пологих пластах, в настоящее время не применяют. Они заменены шнеками, потому что шнеки обладают более высокой погрузочной способностью по сравнению с барабаном. Барабанный исполнительный орган состоит из двух частей-нижнего и верхнего барабанов. К барабанам приварены резцедержатели, а в них вставляются резцы. Сам барабан приводится в движение с помощью режущей цепи которая его вращает. Диск верхнего барабана устанавливают на нужную высоту с помощью гидроцилиндра, который в свою очередь установлен внутри барабана. Этот исполнительный орган имеет хорошую управляемость как в поперечной плоскости, так и в плоскости пласта (при наличии резцов на торцевой части барабана), легко регулируется по мощности пласта в широком диапазоне (при наличии нескольких барабанов), допускает свободное изменение величины захвата, относительно прост по конструкции, имеет несложный и надежный привод.

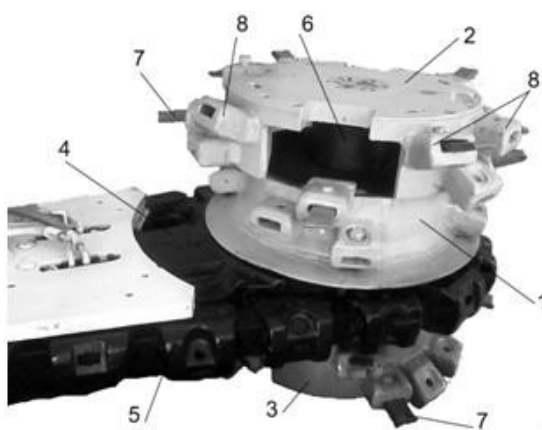


Рисунок 1.14 – общий вид барабанного исполнительного органа

1 – верхний барабан; 2 – выдвижной барабан; 3 – нижний барабан;

4 – выдвижная турель; 5 – режуще-приводная цепь;

6 – гидродомкрат; 7 – резцы; 8 – резцедержатели

Однако барабанным органам присущи и серьезные недостатки. В первую очередь это значительное измельчение угля, обусловленное высокими скоростями резания, малой площадью сечения резов (за счет их серпообразной формы), высоким коэффициентом несовершенства исполнительного органа, значительной длиной пути транспортирования полезного ископаемого и низкой погрузочной способностью барабана. К недостаткам относится также необходимость установки специального погрузочного устройства. Минимальный диаметр барабанных органов составляет 1-1,1 м. Уменьшение диаметра приводит к резкому возрастанию степени циркуляции угля, измельчению и скоплению его на погрузочном лемехе.

Мировой опыт подземной добычи угля из пластов средней мощности и мощных подтверждает, что наиболее эффективны технологии отработки запасов длинными КМОЗ [97, 104]. При этом почти все эти КМОЗ, используемые в указанных условиях, оснащены комбайнами со шнековыми исполнительными органами [13, 77]. У этих комбайнов имеются неоспоримые преимущества, а именно: они технологичны; совмещают функций отделения угля от массива пласта и погрузки его на забойный конвейер; возможность изменения положения исполнительных органов относительно пласта; самозарубка на следующую полосу выемки; отработанность челноковой и односторонней с зачисткой схем работы комбайнов по выемке; надежность и долговечность комбайнов.

По эффективности процессов добычи угля из пластов средней мощности и мощных в КМОЗ шнековым очистным комбайнам в настоящее время нет альтернативы

#### **1.4.2 Анализ режимов работы исполнительных органов очистных комбайнов**

Принцип разрушения угольного массива шнековыми и барабанными исполнительными органами современных комбайнов основан на сплошной обработке забоя с открытой поверхности срезами серпообразной формы со скоростью резания 2-4 м/с [13, 54, 77]. Этому способу отделения угля от массива свойственны с одной стороны простота и высокая интенсивность процесса, а с другой-существенно значимые недостатки: низкий гранулометрический состав

добываемого угля (выход мелких классов угля составляет до  $W_d = 40$  % общего объёма добычи), интенсивное пылеобразование, высокий удельный расход энергии и существенные затраты материальных средств и труда на подавление, осаждение и связывание взрывоопасной угольной пыли [3, 18, 100]. Скорость подачи комбайна зависит от многих факторов. Отмечается неустойчивость режима работы комбайна как по отклонениям значений скорости подачи (рисунок 1.15) от номинальных, так и по длительности перерывов в работе комбайна по добыче. Характер нагруженности приводов комбайна содержит существенно значимую случайную составляющую [95].

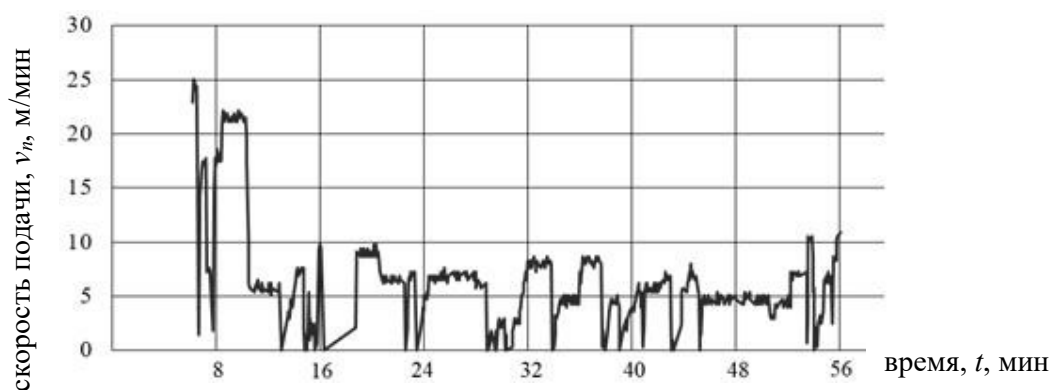


Рисунок 1.15 – Изменчивость скорости подачи очистного комбайна при его непрерывной работе

Повышение производительности, улучшение гранулометрического состава, снижение энергоёмкости добычи и пылеобразования могут быть достигнуты проведением комплекса совместных мероприятий, включающих совершенствование конструкции режущих и погрузочных органов, схем расстановки резцов, увеличение сечений срезов и оптимизацию режимов работы очистных комбайнов.

Гранулометрический состав добываемой массы хорошо коррелирует с удельным расходом энергии, со средней толщиной среза и её изменением за единичный срез при постоянных прочностных параметрах угольного массива и геометрических параметрах резцов и исполнительных органов. На графике (рисунок 1.16) удельный расход энергии и толщина среза даны в относительных единицах:

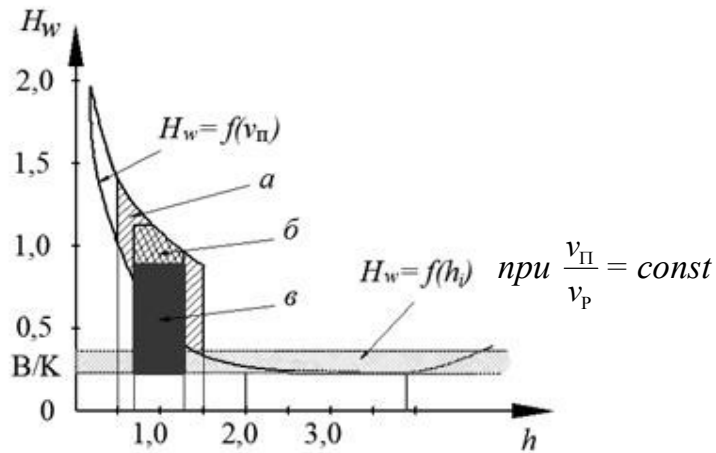


Рисунок 1.16 – Зависимость удельного расхода энергии от толщины среза:

а – зона номинальных режимов работы очистных комбайнов; б – зона номинальных режимов работы струговых установок.

Удельный расход энергии в процессе добычи угля современными комбайнами со шнековыми исполнительными органами может быть представлен соотношением (1.1):

$$H_w = \frac{P}{Q} = \frac{A + B \cdot v_{\text{п}}}{60 \cdot B_3 \cdot H \cdot \gamma \cdot v_{\text{п}}} = \frac{A}{K \cdot v_{\text{п}}} + \frac{B}{K}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}, \quad (1.1)$$

где  $P$  – мощность энергии, потребляемой из сети двигателями привода резания комбайна, кВт;  $Q$  – производительность выемочной машины при непрерывной работе, т/час;  $A$  – мощность энергии, потребляемой электродвигателями комбайна при значении скорости подачи, стремящейся к нулю, кВт;  $B$  – приращение мощности энергии, потребляемой электродвигателями комбайна, с увеличением скорости подачи на 1 м/мин,  $\frac{\text{кВт}}{\text{м/мин}}$ ;  $v_{\text{п}}$  – скорость подачи комбайна, м/мин;  $B_3$  – ширина захвата исполнительного органа, м;  $H$  – мощность пласта, м;  $\gamma$  – плотность угля в массиве, т/м<sup>3</sup>. Зависимость  $P = A + B \cdot v_{\text{п}}$  представляет собой известное выражение энергетической характеристики режима работы горной машины [80]. Для конкретных условий эксплуатации комбайна величину  $K = 60 \cdot B_3 \cdot H \cdot \gamma$  можно принять постоянной. Тогда из формулы (1.1) следует, что с увеличением скорости подачи ( $v_{\text{п}}$ ), в диапазоне допустимых её значений и при постоянной частоте вращения исполнительных органов, удельный расход энергии



( $H_w$ ) снижается нелинейно до минимального значения, равного отношению  $B/K$  (рисунок 1.16). Минимум удельного расхода энергии, соответствующий значению  $H_w = B/K$ , может быть достигнут и при других значениях скорости подачи согласованным регулированием скоростей резания и подачи, обеспечивающим оптимальную толщину среза  $h_{\text{опт}} = \text{const}$ , что при современном развитии электроприводов является вполне осуществимым.

Вторым фактором, существенно влияющим на гранулометрический состав ( $W_d$ ) и удельный расход энергии ( $H_w$ ), является серповидная форма срезов (рисунок 1.17), осуществляемых резцами шнековых и барабанных исполнительных органов. Текущее значение толщины стружки изменяется за единичный срез от  $h_{\min} = 0$  до  $h_{\max}$ , а соответствующий удельный расход энергии в процессе резания изменяется от  $H_w \rightarrow \infty$  при  $\varphi \rightarrow 0$  (и при  $\varphi \rightarrow 180^\circ$ ) и до  $H_w = H_{w,\min}$  при  $\varphi = 90^\circ$ . С увеличением скорости подачи несколько изменяется форма срезаемой стружки: длина верхней половины стружки  $S_1$  увеличивается, длина нижней половины  $S_2$  — уменьшается при равенстве их площадей  $S_1 = S_2$  (рисунок 1.17). Текущее значение толщины среза ( $h_i$ ) при постоянной скорости резания ( $v_p$ ) зависит от скорости подачи ( $v_n$ ) и угла  $\varphi$  положения резца (1.2):

$$h_i = \frac{2\pi \cdot v_n}{1000 \cdot n \cdot z} \sin \varphi_i, \text{ мм}, \quad (1.2)$$

при  $\varphi_i = 90^\circ$  имеем (1.3):

$$h_i = h_{\max} = \frac{2\pi \cdot v_n}{1000 \cdot n \cdot z}, \text{ мм}, \quad (1.3)$$

где  $\varphi_i$  — текущее значение угла положения резца, град;  $z$  — число резцов в линии резания, шт;  $n$  — частота вращения исполнительного органа, об/мин.

Удельный расход энергии изменяется за единичный срез с изменением толщины среза. При увеличении толщины среза более 80 мм энергоемкость резания, при существующих конструкции и схемах расстановки резцов на исполнительных органах, уменьшается не существенно (рисунок 1.16), приближаясь к теоретическому минимуму. Чрезмерное измельчение угля, обусловленное серповидностью формы единичных срезов, которое присуще всем

роторным исполнительным органам, в том числе шнековым и барабанным, к сожалению, не может быть устранено [89, 92].

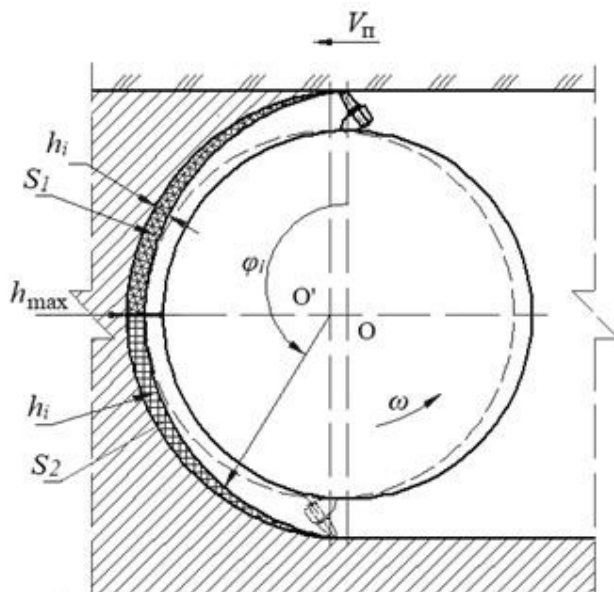


Рисунок 1.17 – Формирование одиночного среза при изменении угла положения резца  
от  $\varphi = 0$  до  $\varphi = 180^\circ$

Зависимости удельного расхода энергии  $H_w$  от шага резания имеют четко выраженные минимальные значения, как это видно по экспериментальным данным (рисунок 1.18), приведенным в работе [80]. Минимальные значения соответствуют оптимальному значению шага резания ( $t_{\text{опт}}$ ), а само значение  $t_{\text{опт}}$  зависит от толщины срезаемой стружки. С увеличением толщины стружки зона оптимальных значений удельного расхода энергии смещается в сторону меньших их значений.

Возможности традиционных способов повышения эффективности процесса отделения угля от массива шнековыми и барабанными исполнительными органами в основном исчерпаны. Новых эффективных способов повышения выхода крупных фракций в процессе добычи изменением значений параметров исполнительных органов, резцов и их режимов работы пока не найдено.

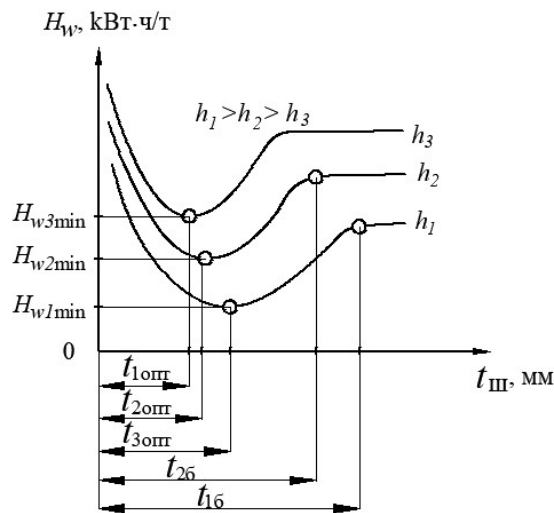


Рисунок 1.18 – Влияние шага резания  $t_{\text{ш}}$  на удельный расход энергии  $H_w$ :

$t_{1\text{опт}}, t_{2\text{опт}}, t_{3\text{опт}}$  – оптимальные шаги резания;

$t_{1б}, t_{2б}$  – области блокированных шагов резания.

Однако есть возможность повышения гранулометрического состава и снижения удельного расхода энергии увеличением площади сечений срезов и оптимизацией форм сечений срезов при ограничении толщины среза по условию радиального вылета резца, а также формированием комбинированных схем расстановки резцов, включающих известные последовательную и шахматную [35, 49, 64, 86]. Возможности этого пути повышения эффективности отделения угля от массива пока недостаточно исследованы, связаны с необходимостью совершенствования и комбинирования типов рабочего инструмента, поиска более совершенных форм сечений срезов и соответствующих им схем расстановки резцов на исполнительных органах очистных комбайнов.

Практика проведения добычных работ [25, 29, 39, 52, 59], изучение опыта работы ведущих предприятий [86] по подземной добыче угля показывают, что в ближайшее время основными потребителями очистных комплексов во Вьетнаме [101, 103] будут являться угольные предприятия Халам, Хечам, Монгзыонг, Наммау, Халонг, Нуйбео и Вангзань.

## 1.5 Выводы по главе 1

На основе проведенного анализа сформулированы следующие выводы:

1. Очистные комбайны с двумя шнеками, которые конструктивно располагаются на противоположных концах машины и имеют каждый свой собственный привод, и кроме того имеющий бесцепную систему подачи с частотным регулированием скорости, как показал проведенный анализ, являются наиболее перспективными.

2. Традиционные способы повышения качества добываемого угля по гранулометрическому составу, снижения удельного расхода энергии и интенсивности пылеобразования в процессах отделения угля от массива шнековыми исполнительными органами современных очистных комбайнов увеличением толщины среза и шага расстановки резцов на исполнительных органах уже не дают значимых результатов и в основном исчерпаны.

3. Повышение эффективности отделения угля от массива шнековыми очистными комбайнами возможно только комплексным решением, включающим обоснование и использование более эффективных срезов по их форме и площади сечений, совершенствованием схем расстановки резцов и согласованным регулированием скоростей резания и подачи исполнительных органов.

4. К перспективным способам повышения эффективности отделения угля от массива относятся увеличение площади сечения срезов использованием эффекта парности сколов, формированием групповых и комбинированных форм сечений срезов.

5. Целью работы является выявление зависимостей удельного расхода энергии и гранулометрического состава угля в процессе его добычи от типа и параметров срезов с совмещенными зонами напряжений в подрезцовой части массива, необходимых для обоснования структуры и параметров энергоэффективных парных, подрезных и групповых типов срезов с увеличенной площадью сечений резцами шнековых исполнительных органов, повышающих эффективность процесса отделения угля от массива при заданной производительности очистного комбайна.

Для достижения цели исследований необходимо выполнить следующие задачи:

1. Провести анализ развития очистных комбайнов и их исполнительных органов.
2. Исследовать закономерности формирования подрезных, парных и групповых срезов резцами шнековых исполнительных органов очистных комбайнов.
3. Обосновать параметры схем расстановки резцов шнековых исполнительных органов, обеспечивающих повышение выхода крупных фракций при добыче угля и снижение удельных затрат энергии.
4. Исследовать моделированием процесс формирования парных, подрезных и групповых срезов.
5. Обосновать методику выбора параметров схем расстановки резцов исполнительных органов крупного скола.
6. Разработать схемные и конструктивные технические решения шнековых исполнительных органов и оценить их эффективность.

## **ГЛАВА 2 ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ СРЕЗОВ РЕЗЦАМИ ШНЕКОВЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА**

### **2.1 Анализ этапов развития резцов выемочных машин**

Горные выемочные машины в процессе добычи полезного ископаемого отделяют породу (полезное ископаемое) от массива резцами, представляющими собой одну из групп горного рабочего инструмента. Именно режимы работы резцов в процессе отделения породы (угля) от массива исполнительными органами комбайнов, находясь в начале технологической цепи, определяют интенсивность и эффективность функционирования всей технологической цепочки добычи полезного ископаемого на горном предприятии [19, 31, 32, 35]. Этим определяется в настоящее время и определялась ранее значимость горных рабочих инструментов (ГРИ), в том числе и резцов, в истории жизни человека с момента возникновения первого образца рабочего инструмента до настоящего времени. Резец по массе составляет не более тысячной доли любой горной машины, но при этом является главным её элементом, так как его твердость, износостойкость и безотказность определяют эффективность и надежность любой забойной горной машины, предназначенной для отделения полезного ископаемого или породы от массива резанием.

Горный рабочий инструмент-древнейшая группа среди рабочих инструментов человека для создания высокого давления в месте взаимодействия рабочей части инструмента с добываемой породой с целью отделения её от массива [79]. Это замечательное свойство инструментов человек подсмотрел в особенностях взаимодействия встречавшихся ему в природе предметов: клыков и когтей зверей, колючек растений, бивней животных с породой в процессе обработки твёрдых предметов и кусков горных пород, приспособляя их для своей пользы.

Другое замечательное свойство рабочего инструмента заключается в его постоянном развитии, совершенствовании и сохранении его значимости. На

основании опыта использования резцов к нему предъявляются все более жесткие требования по твердости, износостойкости, технологичности и функциональности. Верхняя, обозначаемая человеком, граница качества резцов постоянно повышается.

Рабочий горный инструмент (ГРИ) для разрушения горных пород, в том числе резцы, прошел длительный путь эволюции, начало которому положили упомянутые выше клыки, когти, бивни и другие естественные природные образования, фрагменты растений и животных, ставшие орудиями труда для ручного использования первобытным человеком. Основными признаками качества, определяющими этапы развития рабочего инструмента (таблица 2.1–2.4), являются:

- твердость и вязкость используемого для изготовления резцов материала: фрагментов растений, деревьев, костей животных, металла, керамики;
- степень совершенства структуры рабочего инструмента: простые, составные, сборные, армированные;
- способ использования рабочего инструмента: единичный-ручной; групповой, машинный, специализированный;
- способ передачи инструменту энергии: непосредственный мускульный человеком; с преобразованием энергии животных, энергии потока воды, механическими устройствами;
- способ передачи и потребления внешней подводимой энергии: гидравлический, пневматический, механический, электрический.

Каждый этап развития рабочего инструмента существенно влиял на развитие механизмов, устройств, машин, на развитие человека в социальном плане, и на развитие человеческого общества в целом.

Целью исследований является выявление общих закономерностей и важных особенностей развития ГРИ, приведших к появлению резцов выемочных и проходческих машин и определения направлений дальнейшего развития резцов современных очистных и проходческих комбайнов и перспектив их использования.

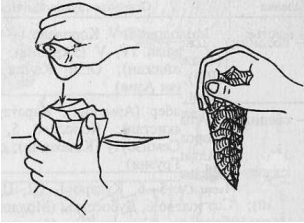
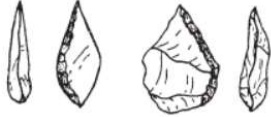
Появился впервые горный инструмент у первобытного человека, возможно, в виде природного камня-рубилы. Использовался такой «инструмент» без какой-либо его обработки и придания ему специальной формы, исключительно приложением к нему энергии мускулов для грубого воздействия на другие объекты: раскалывание орехов, разбивка кусков породы (таблица 2.1, п. 1.2) отбойка выступов в пещерах. Эти предметы были прообразами рукотворных скребел, ножей, пробойников, а в дальнейшем наконечников копий и стрел, ножей и мечей. В то давнее время человек интуитивно формулировал требования к используемым им в качестве рабочего инструмента предметам: к степени их заострения, к стойкости острия, удобству его державки для передачи ему мускульной энергии. Человек обеспечивал приложением к ним сравнительно небольшой мускульной энергии разрушение крепких пород и других природных и искусственных тел и образований.

В дальнейшем наиболее удачные образцы, с наличием в них природных лезвийной или конусной заострений в простой естественной форме, сохранялись и использовались многократно без какой-либо обработки. Движущая энергия – мускульная (таблица 2.1, п. 1.3). По их образцам стали отбираться и другие камни для дальнейшего использования их в качестве простого рабочего инструмента.

Затем человек начал выполнять грубую осознанную обработку камней, создавая в них необходимые лезвийные и конусные заострения, державки для удобства передачи мускульной энергии на камень при резании, или при ударе, или при зачистке каких-либо поверхностей (таблица 2.1, п. 1.4 и таблица 2.5, п. 1). Интенсивность и объем работ увеличились. Наметились признаки специализации при поиске и первичной обработке камней, как рабочего инструмента.



Таблица 2.1 – Этапы развития рабочего инструмента в каменном веке

| Этапы развития резцов                | Материал. Способ изготовления. Структура (простой, составной, неразборный, одноразовый, многоразовый). Способ использования, специализация, дифференциация. Вид энергии.                                                                                                                                                   | Рисунки, схемы рабочего инструмента                                                   |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Каменный век (6 тыс. лет до н.э.) | 1.1 Естественные природные образования. Фрагменты животных, растений: клыки, когти, бивни. Простая форма без какой-либо обработки. Используется как инструмент ручной, простой грубым воздействием на объекты. Движущая энергия – мускульная.                                                                              |    |
|                                      | 1.2 Естественное каменное образование: «камень-рубило», «камень-опора». Без какой-либо обработки и придания формы. Используется грубым воздействием на объекты: разбивка орехов, отбойка выступов стен в пещерах. Движущая энергия – мускульная.                                                                           |    |
|                                      | 1.3 Естественные каменные природные образования. Без какой-либо обработки в простой естественной форме: но уже был выбор с выделением круглых, заостренных лезвийных или конусных рабочих частей. Использовался как рабочий инструмент, ручной, простой для грубого воздействия на объекты. Движущая энергия – мускульная. |  |
|                                      | 1.4 Естественные природные каменные образования. Простые, отбор и грубая обработка: явно выражено оформление рабочих лезвий и державки. Использовался как рабочий инструмент, ручной, простой. Начало специализации РИ. Движущая энергия – мускульная.                                                                     |  |
|                                      | 1.5 Естественные природные образования. Грубая обработка. Простой и составной с обустройством специальной держалки, ручной. Движущая энергия – мускульная.                                                                                                                                                                 |  |

Привязав грубо обработанный камень-рубило к длинной палке (табл. 2.1, п. 1.5) человек изобрёл «кирку», что помогло ему с большей эффективностью использовать свою мускульную энергию. После того как человек применил рычаг

для увеличения значения вращательного момента рабочий инструмент стал ещё глубже проникать в массив. Наличие рукояти позволило более легко отрывать от массива куски породы. Настал период создания составного, сначала не разборного, а затем и разборного рабочего инструмента (таблица 2.1, п. 1.5), позволявшего заменять быстро изнашиваемую его рабочую часть. Рассмотренные этапы таблица 2.1, п. 1.1 - п. 1.5 характеризуют так называемой «каменный век» в истории развития человеческой цивилизации.

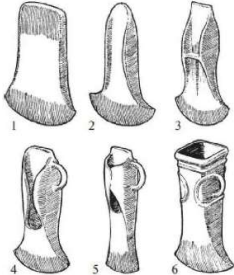
Затем в распоряжении человека появились новые более технологичные (более вязкие и более пластичные) материалы-медь и бронза. Появилась возможность придавать инструменту ковкой материала более сложные формы.

Рабочий инструмент, грубо изготовленный из металла уже значительно превосходил по возможностям предшествующий ему инструмент из растительных и каменных материалов. Улучшилось качество формы, прочность, стойкость заостренной части инструмента, удобство державки. Этому этапу характерны: придание первичной грубой обработкой рабочему инструменту целесообразной формы; использование в качестве ручного инструмента простого, затем составного и затем сборного инструмента. Повысились его функциональность, долговечность и эффективность в эксплуатации. Движущая энергия исключительно мускульная индивидуальная (таблица 2.2, п. 2.1 и таблица 2.5, п. 2).

Началось изготовление специального рабочего инструмента приданием инструменту соответствующих специфических форм для охоты, ведения боевых действий (пики, стрелы, копья), для земляных и строительных работ. Получение материала литьем вместоковки самородной меди или бронзы значительно расширило возможности человека. Впервые появилась технология получения конструкционного материала с известными свойствами для изготовления инструмента и придания ему целесообразной формы (таблица 2.2, п. 2.2). Этап характеризуется началом специализации в изготовлении рабочего инструмента из камня, из металла ковкой, изготовлением простого ручного и составного ручного инструмента. Началась дифференциация в использовании создаваемого

инструмента. Движущая энергия остается мускульной индивидуальной. Затем началось изготовление специального уже составного рабочего инструмента приданием ему целесообразной формы для охоты, обработки и возделывания земли. Изготавливается и используется рабочий инструмент как простой, так и составной с ручкой – державкой, рабочей частью, соединенных вместе для удобства и повышения эффективности использования. Начала развиваться специализация уже при изготовлении рабочего инструмента (таблица 2.2, п. 2.3 и таблица 2.5, п. 2).

Таблица 2.2 – Этапы развития рабочего инструмента в бронзовом веке

| Этапы развития                                 | Материал. Способ, изготовления. Структура инструмента (простой, составной, сборный). Способ использования, специализация, дифференциация. Вид энергии.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Рисунки, схемы                                                                        |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 2. Бронзовый век<br>(к 4-1 тыс. лет до н.э.)   | 2.1 Появился новый материал – металл. Создание простого и составного инструмента ковкой; придание ему целесообразной формы. Первичная грубая обработка. Рабочий инструмент простой, составной, сборный и разборный, ручной. Движущая энергия – мускульная.                                                                                                                                                                                                                   |   |
|                                                | 2.2 Получение материала литьем (ранее ковкой) новая технология. Изготовление специального рабочего инструмента приданием ему целесообразной формы. Начало изготовления специального рабочего инструмента для охоты, ведения боевых действий с приданием ему целесообразных форм. Рабочий инструмент простой и составной, ручной, кованный. Начало специализации при изготовлении и дифференциации при использовании создаваемого инструмента. Движущая энергия – мускульная. |  |
| 2. Бронзовый век<br>(к 4 – 1 тыс. лет до н.э.) | 2.3 Получение материала (меди, бронзы) литьем (ранее ковкой) – новая технология. Изготовление специального рабочего инструмента приданием ему целесообразной формы: для охоты, обработки земли, ведения боевых действий.                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                       |

Продолжение таблицы 2.2

|                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 2. Бронзовый век<br>(к 4 – 1 тыс. лет<br>до н.э.) | Рабочий инструмент простой и составной – отдельно ручки-державки, рабочие части соединены вместе, чтобы было удобно использовать. Повышается эффективность. Развивается специализация при изготовлении и дифференциация использования. Движущая энергия – мускульная. |  |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

Развивая технологии выплавки металла и изготовления рабочего инструмента человек достиг небывалых успехов в развитии орудий ручного труда и производства, давших название тому периоду в истории развития человеческой цивилизации – «Бронзовый век» (таблица 2.2, п. 2.1-2.3). Бронзовый век - эпоха начального освоения металлов. Она знаменует начало перехода цивилизация от техники каменного века к металлургии. В бронзовом веке начинается использование меди, свинца, бронзы, а кое-где мастера ковали рабочий инструмент из метеоритного железа. Бронзовый век - исторический период, сменивший каменный, характеризуется освоением и распространением металлургии бронзы, кочевого скотоводства и поливного земледелия. Человек впервые освоил новый вид деятельности - технологию изготовления конструкционного материала. Область деятельности и возможности человека расширились. Началось массовое производство и специализация процессов при изготовлении рабочего инструмента, а также дифференциация использования его по назначению.

Практика работы с бронзой была первым этапом в освоении человеком металлургии в целом, которая помогла ему перейти к освоению изделий из железа. Впоследствии человек научился обезуглероживать и закалять железо, что значительно повысило механические свойства изделий из него. Затем человек освоил технологию выплавки железа и научился делать из железа рабочий инструмент, еще больше повысив прочность его режущих лезвий, конусных заострений, качество и удобство державок (рукоятей). Поэтому получение материала-железа литьем, создало материальную базу изготовления специального

рабочего инструмента приданием ему целесообразных форм. Продолжилось изготовление и совершенствование инструмента простого, составного и сборного. Это создало условия для специализации при изготовлении и начала дифференциации при использовании рабочего инструмента. Движущая энергия оставалась мускульной (таблица 2.3, п. 3.1 и таблица 2.5, п.3). Многие названия орудий под именем железных сохранились у горняков до настоящего времени: молоток, клин, железный лом, железная пластина, молот, зубчатый лом, кайло, мотыга.

Настал этап изготовления специального рабочего инструмента из металла (медь, бронза, железо) приданием ему целесообразной формы: простого, составного и сборного инструмента и орудий труда для земляных и строительных работ, для охоты, ведения войны (таблица 2.3, п. 3.2), что существенно увеличило возможности человека. Движущая энергия оставалась мускульной.

Накопление опыта изготовления и использования примитивного рабочего инструмента привело к созданию специализированных его образцов: наконечников, скребел, зубил, резцов, пик, ножей, мечей и пр. Началось разделение инструментов по назначению и условиям применения (зуб, зубило, игла, резец и др.). Стали появляться составные неразборные, а затем и сложные разборные инструменты в виде коронок, долот. В начале XX в. началось изготовление армированного специального инструмента: для ведения горных работ, земляных работ, обработки камня, обработки металлических изделий, ведения войн.

Создание орудий труда с подводом внешней энергии (механической с использованием мускульной силы животных, воды, пара, сжатого воздуха) многократно увеличило эффективность орудий труда, чем подготовило первую промышленную революцию в развитии человеческой цивилизации. Например, эффективность отбойного молотка на энергии сжатого воздуха возросла в несколько десятков раз по сравнению с использованием мускульной энергии человека (таблица 2.3, п. 3.3).

Таблица 2.3 – Этапы развития рабочего инструмента и резцов в железном веке

| Этапы развития резцов                    | Материал. Способ, изготовления. Структура инструмента (простой, составной, сборный). Способ использования, специализация, дифференциация. Вид энергии.                                                                                                                                                                                         | Рисунки, схемы                                                                        |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 3. Железный век<br>(1 тыс. лет, до н.э.) | 3.1 Получение материала – железа литьем (новая технология). Изготовление из металла специального рабочего инструмента приданием ему целесообразной внешней формы. РИ простой, составной и сборный. Специализация при изготовлении, начало дифференциации при использовании. Движущая энергия – мускульная.                                     |    |
|                                          | 3.2 Получение материала – железа литьем (новая технология). Изготовление специального рабочего инструмента, с приданием ему целесообразных внешних форм, из металла (медь, бронза, железо). РИ простой, составной и сборный как орудий труда для земляных и строительных работ, для охоты, ведения войны. Движущая энергия – мускульная.       |    |
|                                          | 3.3 Начало создания армированного специального инструмента. Изготовление РИ из металла для земляных работ, обработки камня, обработки металлических изделий, ведения войны. Создание орудий труда с подводом внешней энергии (животных, воды, пара, сжатого воздуха). Эффективность РИ многократно возросла благодаря подводу внешней энергии. |  |

Рассмотрим современный этап на примере эволюции резцов горных машин-важнейшего типа рабочего инструмента, которым оснащаются создаваемые машины за последние 100 лет с момента создания первых врубовых машин до современных выемочных и проходческих машин, комплексов и агрегатов (таблица 2.4, п. 4.1 – п. 4.4).

Отличительными признаками наступившего современного этапа развития горного рабочего инструмента стали:

- специализация рабочего инструмента по типам горных машин (режущих, отбойных, буровых);

- групповое использование резцов на специальных исполнительных органах горных машин (бары, штанги, барабаны, шнеки);
- преобразование и подвод механической энергии от внешнего источника.

Возникла необходимость массового использования и массового производства резцов, так как создание врубовой машины и других горных машин потребовало оснащения их исполнительных органов десятками однотипных резцов, а интенсификация режимов работы привела к необходимости их частой замены и росту потребности в резцах. Началось массовое производство резцов на первом этапе «зубков» (таблица 2.4, п. 4.1 и таблица 2.5, п. 4) врубовых машин и проходческих комбайнов с баровыми исполнительными органами. Резцы изготавливались ковкой цельнометаллическими, неразборными, затем штамповкой и армировкой режущей части (головки резца) наплавкой твёрдосплавными материалами. При изготовлении одного резца начали использоваться разные по прочностным свойствам металлы и сплавы. Специализация рабочего инструмента вышла на новый уровень для добычи угля, соли комбайнами и стругами, добычи других полезных ископаемых, различных по прочностным свойствам, для бурения шпуров и скважин. Одновременно развивался рабочий инструмент других типов горных машин: коронок перфораторов, бурильных машин и установок, пик отбойных молотков, долот буровых станков.

Совершались неоднократные попытки создания составного рабочего инструмента, обеспечивающего многократное его восстановление и использование (таблица 2.4, п. 4.2). Однако такой инструмент становился существенно сложнее и дороже при изготовлении и в эксплуатации. Накопленный опыт производства и эксплуатации такого инструмента выявил неоправданную сложность, многоэтапность, низкий ресурс, высокую стоимость рабочего инструмента.

Стали формироваться группы специализированных типов и типоразмеров резцов по областям их использования. Появилась необходимость классификации

резцов по типам машин (очистных и проходческих комбайнов, стругов), по способу установки (радиальных, тангенциальных).

Одновременно шел поиск более совершенной конструкции резцов, технологичных в изготовлении, простых и надежных в эксплуатации. Были созданы тангенциальные поворотные резцы (ТК), отличающиеся простотой изготовления, установки, относительно высоким сроком службы и меньшей стоимостью, что обусловило их массовое использование, производство (таблица 2.4, п. 4.3 и таблица 2.5, п. 5) и массовое снятие с производства ранее использовавшихся типов резцов. Преимуществом резцов типа ТК является возможность их вращения относительно продольной оси под действием неуравновешенных сил трения при контакте с разрушаемой средой. Благодаря этому происходит равномерное изнашивание всей рабочей поверхности головки с эффектом самозатачивания резцов и тем самым снижение общего расхода разрушающего инструмента.

Появилась устойчивая специализация рабочего инструмента для добычи полезных ископаемых и других пород, различных по прочностным свойствам, для строительных работ, для обработки изделий из камня, для буровых работ (коронки, долота), при изготовлении которых использовались одновременно разные по свойствам металлы и сплавы.

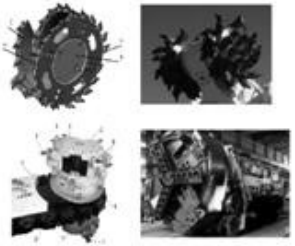
Началась машинная эпоха с использованием подводимой внешней пневматической, гидравлической или электрической энергии. Появившиеся во второй половине XX в. угольные комбайны оснащались 20-40 стальными резцами, что позволяло расширить площадь одновременного воздействия на угольный (породный) массив и увеличить интенсивность (производительность) отбойки.

Массовое использование горных машин привело к интенсификации процессов добычи, расходу рабочего инструмента и росту затрат на рабочий инструмент. Появились типоразмеры резцов по направлениям: для очистных и проходческих комбайнов, армированных пластинами, кернами из металлокерамических сплавов типа ВК; по месту установки на исполнительных





Продолжение таблицы 2.4

|                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 4. Период комбинированных горных машин и агрегатов, специализация (наше время) | Специализация радиальных и тангенциальных поворотных и неповоротных резцов, которые отличаются простотой установки и обслуживания; равномерностью износа и самозатачиванием износом, относительно высокий срок службы. Массовое производство. Внешняя энергия – механическая.  |  |
|                                                                                | 4.4 Формирование специализированных исполнительных органов: коронок, долот бурового оборудования; корончатых барабанных, шнековых исполнительных органов проходческих и добычных комбайнов, струговых комплексов и конвейеро струговых агрегатов. Электромеханическая энергия. |  |

Резцы изготавливались в начале цельнометаллическими ковкой, затем штамповкой. В дальнейшем при изготовлении одного резца начали использовать разные по прочностным свойствам металлы и сплавы. В начале XX в. началось изготовление армированного специального инструмента и орудий труда для производства горных и земляных работ, обработки камня, обработки металлических изделий.

Начала развиваться специализация при массовом производстве рабочего инструмента для разных областей его использования: для добычи полезных ископаемых выемочными комбайнами, стругами, агрегатами, проведения выработок проходческими комбайнами. Одновременно развивался рабочий инструмент других групп горных машин: коронок перфораторов, бурильных машин и установок, пик отбойных молотков, долот буровых станков, зубьев рыхлителей и экскаваторов и т.д.

Условия работы резцов, требования к резцам разных групп и к технологии их изготовления стали со временем все более различаться и обособляться. Образовались многочисленные устойчивые группы ГРИ массового использования

и специализированного их производства. Выделилась и группа резцов добычных машин: очистных комбайнов, струговых установок и агрегатов. По конструктивному исполнению резцы могут быть цельными или составными. Помимо экономии металла, преимущество составных резцов заключается в возможности иметь вставки с различными параметрами режущей части. Цельные радиальные резцы бывают однолезвийными и двухлезвийными. При применении двух лезвийных резцов на реверсивных исполнительных органах комбайнов должен обеспечиваться при реверсе исполнительного органа свободный их разворот в резцедержателе на угол, достаточный для отвода отстающего лезвия резца от забоя. Державки резцов, по форме их поперечного сечения, выполняются прямоугольными, круглыми или с более сложными формами (рисунок 2.1).

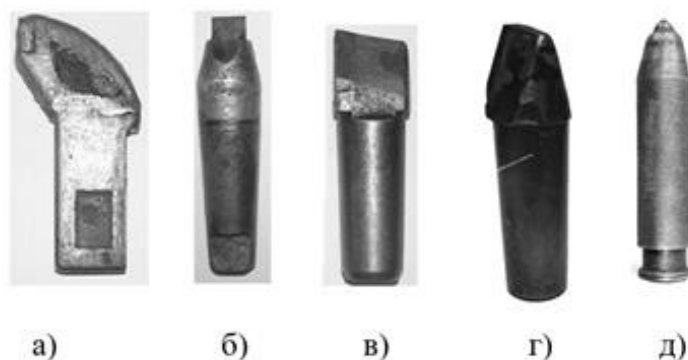


Рисунок 2.1 – Рабочие инструменты горных машин:

- а) зубок ЗН-3; б) резец РС 14 Д6.22; в) резец ШБМ2С-1-1-04; г) резец породный ШБМ 2С;  
д) резец РКС-1

Применяемые резцы различаются по конструкции режущей части. Выбор формы режущей кромки (трапецевидной, овальной, прямоугольной, треугольной и т.п.) связан как с необходимостью обеспечения эффективности разрушения массива, так и с необходимостью повысить прочность и формоустойчивость режущей части – головки резца. Различают следующие формы передней поверхности резцов – плоскую, овальную, клиновидную, фигурную, выбор которых также обусловлен необходимостью обеспечения эффективности разрушения массива и прочности армировки резца.

Конструкции РИ стругов, по сравнению с комбайнами отличаются большим разнообразием в силу того, что они имеют различное назначение (линейные, почвенные, кровельные, опережающей подрубки и т.д.). В качестве примера на рисунке 2.2 показаны резцы и ножи струга: а) 1РС–4Л; б) 1РС–4П; в) РС–3. На струге УСТ2А применяются пять типов резцов, а западногерманские струги «Гляйт-хобель» комплектуются 19 типоразмерами различных резцов и тремя типами резцедержателей. Одновременно развивался ГРИ других групп горных машин: коронок перфораторов, бурильных машин и установок, пик отбойных молотков, долот буровых станков, зубьев рыхлителей и экскаваторов и т.д., что привело к возникновению специализированных производств отдельных типов и групп РИ и их армирующих элементов.

Условия работы разных групп РИ, требования к технологии их изготовления стали со временем все более различаться и обособляться. Образовались многочисленные устойчивые группы ГРИ массового использования и специализированные предприятия для их производства.

Выделилась и группа резцов добычных машин. Были сформулированы требования к ним и к используемым при их изготовлении материалам:

- высокая твердость в  $3\div 4$  раза превышающая твердость разрушаемого массива;
- высокая износостойкость;
- высокая теплостойкость;
- высокие прочность и формоустойчивость.

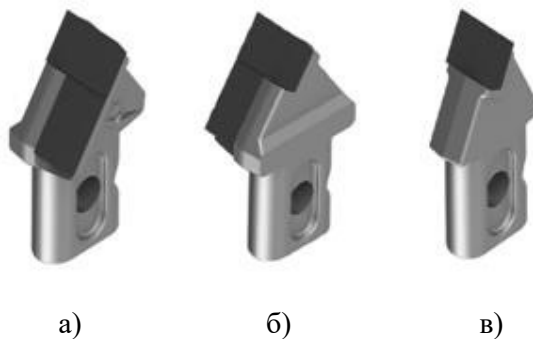


Рисунок 2.2 – Резцы и ножи струга:

а) 1РС–4Л; б) 1РС–4П; в) РС–3

Результаты проведенного анализа приведены в таблице 2.5 и рисунке 2.3. К основным признакам качества относятся те, значимость которых сохраняется во всех этапах развития рабочего инструмента. К основным признакам качества относятся: твердость, вязкость, форма ГРИ. На эффективность ГРИ существенное влияние оказывает способ передачи энергии рабочему инструменту. Количество основных признаков качества ( $N_o$ ) рабочего инструмента, обусловлено структурой и основными функциями резца (головка, головка с упором, державка, державка с упором). Вспомогательные признаки качества ( $N_{всп}$ ) обусловлены вспомогательными функциями резцов и наличием вспомогательных элементов (рычага, резцедержателя, конструктивных особенностей исполнительного органа). Вспомогательными признаками качества оценивается возможность выполнения ГРИ нерегулярных функций.

Существенное значение могут иметь внешние элементы и соответствующие признаки качества ( $N_{вн}$ ), которые необходимы для выполнения, как основных, так и вспомогательных операций (тип исполнительного органа, привод). С развитием горных машин и резцов значение внешних их элементов (резцедержателей, исполнительных органов, приводов механических, пневматических, гидравлических или электрических) и признаков качества по влиянию на эффективность процесса отделения угля (пород) от массива возрастает.

Как видно из данных таблицы 2.5 и рисунка 2.3 количество основных признаков качества ГРИ остается постоянным на всех этапах их развития. Количество вспомогательных признаков качества с развитием ГРИ возрастает и обусловлено увеличением количества вспомогательных и внешних элементов и будет возрастать в будущем.

Таблица 2.5 – Периоды и признаки развития качества ГРИ

| Материал для РИ               | Признаки качества основные |          |       | Вид используемой энергии                              | $N_0$ | $N_{всп}$ | $N_{вн}$ | $N_э$ |
|-------------------------------|----------------------------|----------|-------|-------------------------------------------------------|-------|-----------|----------|-------|
|                               | Твердость                  | Вязкость | Форма |                                                       |       |           |          |       |
| Из естествен. материалов (КМ) | +                          | –        | –     | Мускульная непосредственная                           | –     | –         | +        | –     |
| Из бронзы (БМ)                | +                          | +        | –     | Мускульная непосредственная                           | +     | –         | +        | +     |
| Из железа (ЖМ)                | +                          | +        | +     | Мускульная непосредственная, внешняя, преобразованная | +     | +         | +        | +     |
| Металлокерамика (МКМ)         | +                          | +        | +     | Механическая, тепловая, гидравлическая, электрическая | +     | +         | +        | +     |
| Металлокерамика (МКЭМ)        | +                          | +        | +     | Механо-гидро-электро-физический                       | +     | +         | +        | +     |

$N_0$  – количество основных признаков и элементов их определяющих (головка, головка с упором, державка, державка с упором);  $N_{всп}$  – количество вспомогательных признаков или элементов (рычаг, ручка, кулак, резцедержатель);  $N_{вн}$  – количество признаков или элементов внешних (исполнительный орган, приводы: механический, гидравлический, электрический, тепловой).

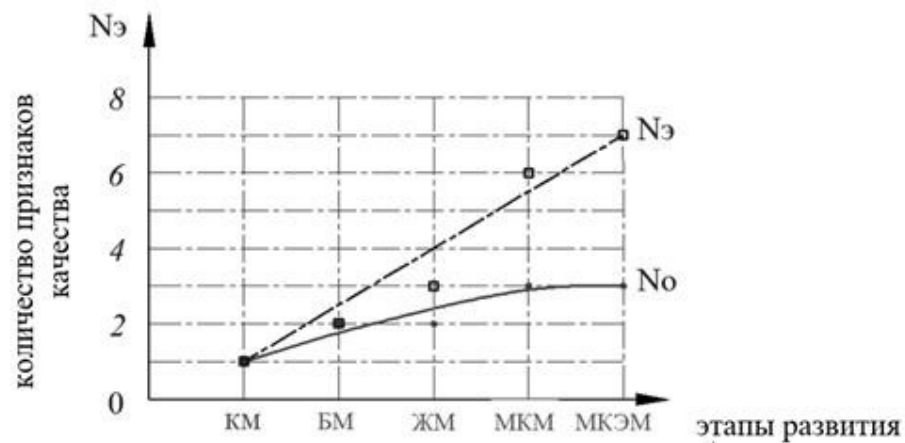


Рисунок 2.3 – Изменение признаков качества рабочего инструмента по периодам

По данным таблицы 2.5 и рисунку 2.3 можно сделать следующие выводы:

- количество основных признаков качества ГРИ поступательно увеличивалось с улучшением качества материала инструмента в каменном, бронзовом и железном веках, а в дальнейшем в машинном (МКМ) и в МКЭМ этапах остается постоянным (таблица 2.5).
- количество вспомогательных (косвенных) признаков качества РИ с начала бронзового века возрастало с каждым этапом развития увеличением количества косвенных признаков и увеличением количества вспомогательных элементов и будет возрастать в будущем.
- улучшение основных признаков качества начиная с железного века достигается и будет в дальнейшем достигается развитием способов улучшения вспомогательных признаков качества.

## 2.2 Условия эксплуатации современных резцов и требования к ним

**Условия эксплуатации.** Резцы современных горных машин эксплуатируются в тяжелых условиях:

- переменные по характеру и величине нагрузки, пиковые значения которых в  $5 \div 10$  раз превышают средние их значения [64];
- фрикционное искрение и повышенные температуры;
- высокая абразивность разрушаемых углей и пород;

- повышение энерговооруженности и производительности горных машин ведет к дальнейшему увеличению нагрузок на резцы;
- опасность возгорания и взрыва метана и угольной пыли.

**Требования к качеству процесса отделения угля от массива и к качеству резцов.**

Требования к процессу резания и к резцам сформулированы по четырем основным направлениям (рисунок 2.4) [86, 87]:

- по технологическому требованию к процессу резания и к качеству получаемого продукта по гранулометрическому составу и зольности;
- по технологичности обработки забоя (устойчивость формы и размеров забоя, исключение выхода негабаритных кусков, вывалов из кровли и груди забоя, качества обрабатываемой поверхности забоя);
- по технологичности и интенсивности процесса в КМОЗ в целом;
- к резцам по твёрдости, вязкости, прочности, тепло- и износостойкости, и ресурсу резцов и резцедержателей;
- по безопасности процесса резания и соответствию его санитарным нормам;
- по условиям эксплуатации (удобство их замены и обслуживания).

На рисунок 2.4 приведены требования к технологичности процессов отделения угля от массива, формирования забоя и в целом добычи угля в КМОЗ, его безопасности, а также к резцам по их твердости, прочности и износостойкости, к их конструкции и параметрам, к их ресурсу и к удельным затратам энергии на резание.

С другой стороны, и правильный выбор режущего инструмента, и схем его расстановки и крепления на исполнительном органе также влияет на параметры эффективности их использования:

- производительности горной машины,
- снижения расхода инструментов,
- сокращения времени на замену инструмента.

Однако, не смотря на устойчивое развитие и отмеченные положительные свойства, качество и эффективность современного ГРИ, и в частности резцов



выемочных машин, не соответствуют основным требованиям по качеству процесса резания и качеству собственно резцов.



Рисунок 2.4 – Структура требований к качеству процесса отделения угля от массива и к резцам выемочных машин

К основным недостаткам процесса отделения угля от массива относятся:

- низкий гранулометрический состав получаемого продукта: до 40 % мелких классов от общего объёма продукта, в том числе до 10 % штыба и пыли;
- высокий удельный расход энергии;
- в процессе резания углей и пород выделяется большое количество мелкодисперсной взрывоопасной пыли, для подавления которой требуются высокоэффективные системы пылеподавления;
- процесс резания сопровождается фрикционным искрением и опасностью инициации взрыва;
- большим расходом энергии на трение, что обуславливает нагрев резцов, необходимость использования высокоэффективных систем охлаждения.

К недостаткам резцов выемочных машин можно отнести:

- не достаточная износостойкость;
- малый ресурс;
- высокая стоимость;
- ограниченная область эффективного использования резцов по крепости (до 80 МПа) разрушаемых массивов вследствие недостаточной их износостойкости;
- однократность использования;
- не достаточные стойкость и надёжность резцов.

### **2.3 Особенности конструкции современных резцов**

Современная тенденция развития добычных и проходческих комбайнов и стругов заключается в повышении мощности привода, увеличении сечений срезов, использовании добычных машин на пластах более сложного строения. Вследствие этого возрастают нагрузки на режущий инструмент, повышается динамичность нагрузок на резцы, снижается их ресурс, ужесточаются требования к ним [81]. Рассматривая условия применения инструмента на комбайнах, стругах и агрегатах, были разработаны соответствующие им типы и параметры резцов. По принятой на данный момент классификации резцы могут быть нескольких исполнений.

Резцы радиального типа бывают двух основных исполнений:

- однолезвийные резцы (типа РО);
- двухлезвийные резцы (типа РД).

Радиально-торцовые резцы могут быть трех основных исполнений:

- радиально-торцовые резцы прямоугольной формы (тип РТП);
- радиально-торцовые резцы круглой формы (тип РКТ);
- радиально-торцовые резцы овальной формы (тип РТО).

Резцы тангенциального типа также могут быть нескольких исполнений, которое будет зависеть от формы сечения хвостовика:

- резцы тангенциальные прямоугольной формы (тип ТП);
- резцы тангенциальные круглой формы (тип ТК).

По результатам указанных выше в данной работе недостатков резцов привело к тому, что возникла острая необходимость создания резцов нового поколения.

Резцы нового поколения уже существенно отличаются по форме от резцов предыдущего поколения типа РКС.

Появлялись неоднократные попытки создания составного рабочего инструмента, обеспечивающего многократное его восстановление и использование. Накопленный опыт производства и эксплуатации такого инструмента выявил его неоправданную сложность, многотипность, низкий ресурс и высокую стоимость.

Одними из первых отечественных резцов, используемых в горной промышленности в конце 70-х гг. прошлого века [37, 38] и относящихся к типу тангенциальных поворотных резцов, предназначенных для эксплуатации в проходческих комбайнах были примерно на 90 % резцы РКС-1 (рисунок 2.5) [12, 13, 38].



Рисунок 2.5 – Общий вид тангенциального резца РКС–1

Таблица 2.6 – Типы и параметры резцов по ОСТ 12.44.165–80

| Типы<br>резца | Испол-<br>нение | Типораз-<br>мер     | Кон-<br>струк-<br>тив-<br>ный<br>вылет<br>$l_p$ см. | Длина<br>хвостови-<br>ка<br>$l_{xв}$ , см. | Обозначе-<br>ние<br>резцов,<br>выпуска-<br>емых по<br>техничес-<br>ким<br>условиям | Характеристика режущей части                  |                            |                                  |                                                     | Максима-<br>льная<br>толщина<br>твердого<br>заданной грани<br>резцов, мм |                         |
|---------------|-----------------|---------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|               |                 |                     |                                                     |                                            |                                                                                    | Ширина<br>конструк-<br>тивная, $b_k$ ,<br>см. | Форма<br>режущей<br>кромки | Форма<br>передней<br>поверхности | Углы <sup>3*</sup><br>(конструкт<br>ивные),<br>град |                                                                          |                         |
|               |                 |                     |                                                     |                                            |                                                                                    |                                               |                            |                                  | Реза-<br>ния,<br>$\delta$                           |                                                                          | Зад-<br>ний<br>$\alpha$ |
| Р             | РО              | РО40                | 4                                                   | 5,5                                        | ЗНЗ                                                                                | 0,9                                           | Овальная                   | Плоская                          | 85                                                  | 5                                                                        | 5                       |
|               |                 | РО65                | 65 <sup>*1</sup>                                    | 5,5                                        | И90МБ <sup>*1</sup>                                                                | 1,2                                           |                            |                                  | 80                                                  | 5                                                                        | 7                       |
|               |                 |                     | 6,5                                                 | 6,5                                        | РО65                                                                               | 1,4                                           |                            |                                  | 83                                                  | 8                                                                        | 9                       |
|               |                 | РО80                | 8                                                   | 6,5                                        | ЗР2.80                                                                             | 2,5                                           | Треугольная                | Клиновидная                      | 83                                                  | 15                                                                       | 13                      |
|               |                 |                     | 8                                                   | 6,5                                        | ЗР4.80                                                                             | 1,4                                           |                            |                                  | 83                                                  | 8                                                                        | 9,5                     |
|               |                 | РО100 <sup>*5</sup> | 10                                                  | —                                          | —                                                                                  | —                                             | Овальная                   |                                  | —                                                   | —                                                                        | —                       |
|               | РД              | РД45                | 4,5                                                 | 4,5                                        | УМК90                                                                              | 1,1                                           | Овальная                   | Плоская                          | 85                                                  | 10                                                                       | 7                       |
|               |                 | РД65                | 6,5                                                 | 7,5                                        | МК—1<br>—4—14<br>А                                                                 | 1,1                                           |                            |                                  | 85                                                  | 10                                                                       | 7                       |

Продолжение таблицы 2.6

|    |                    |         |       |     |                  |       |                    |                        |            |          |     |
|----|--------------------|---------|-------|-----|------------------|-------|--------------------|------------------------|------------|----------|-----|
| Т  | ТП                 | ТП100   | 10    | 9,5 | —                | —     | Прямо-<br>угольная | Плоскоклин-<br>овидная | —          | —        | —   |
|    |                    | ТП125   | 12,5  | 9,5 | ИТ-12<br>5       | 2,0   |                    |                        | 69         | 15       | 9,5 |
|    |                    | ТП160*5 | 16    | —   | —                | —     |                    |                        | —          | —        | —   |
|    | ТК                 | ТК65    | 6,5   | 6,5 | РКС-1            | 0,9*2 | Треуголь-<br>ная   | Овальная               | 90<br>98*4 | 0<br>8*4 | 9   |
|    |                    | ТК80    | 8     | 7,0 | РКС-2            | 1,2*2 |                    |                        | 90<br>98*4 | 0<br>8*4 | 12  |
| РТ | РТ<br>П            | РТ80    | 8*1   | 8,0 | И79Б*1           | 1,1   | Овальная           | Плоская                | 85         | 10       | 7   |
|    |                    | РТО65   | 6,3*1 | 5,4 | КБ01*1           | 1,1   |                    |                        | 85         | 10       | 7   |
|    | РТ<br>О<br>РТ<br>К | РТК34   | 3,3   | 6,3 | ШБМ2С-<br>1-1-04 | 0,8   | Трапеце-<br>видная |                        | 90         | 10       | 7   |
|    |                    |         |       |     |                  |       |                    |                        |            |          |     |

Пояснения к таблице 2.6:

\*1 – не применяются в новых конструкциях машин;

\*2 – диаметр штыря;

\*3 – при угле установки резца 45°;

\*4 – при угле установки резца 53°;

\*5 – резцы, не включенные в ОСТ 12.44.165–82.

На современном этапе развития горнодобывающей промышленности по значимости ГРИ, в том числе резцы, отнесены к стратегической высоко технологичной продукции. Его развитию и совершенствованию в промышленно развитых странах уделяется особое внимание.

Современные резцы для выемочных машин (рисунок 2.6), в соответствии с конструктивными их признаками, выпускаются трех типов (ОСТ 12.44.165–80): Р – радиальные; ТН – тангенциальные неповоротные; ТП – тангенциальные поворотные.

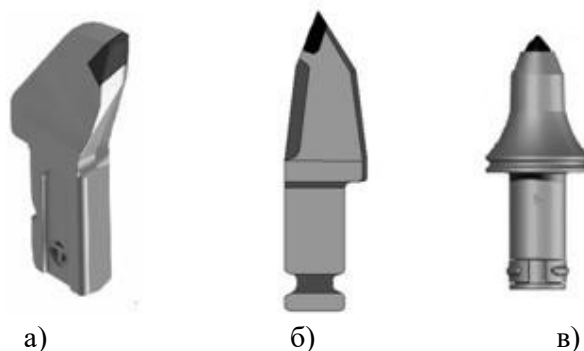


Рисунок 2.6 – Типы резцов очистных комбайнов:

а – радиальный (Р); б – тангенциальный неповоротный (ТН);

в – тангенциальный поворотный (ТП)

Резцы, по форме их режущих элементов и по виду контакта с разрушаемым массивом, делятся на две группы: резцы лезвийные, включающие радиальные и тангенциальные неповоротные (Р и ТН) и резцы конусные тангенциальные поворотные (ТП). Процессы взаимодействия резцов этих двух групп с разрушаемым массивом существенно различаются.

Процесс взаимодействия лезвийных резцов с породным массивом характеризуется следующими основными особенностями:

- наибольшее напряжение создается в узкой линейной зоне контакта лезвия резца со структурными элементами массива с соразмерными лезвиями геометрическими параметрами, что обуславливает неизбежность последовательного разрушения резанием и более прочных структурных элементов массива, высокую динамику нагрузок, снижает вероятность опережающих объёмных выколов породы с реализацией существующих ослаблений в массиве в виде системных трещиноватостей и слоистостей;
- интенсивное изнашивание лезвий резцов с образованием площадок притупления и необходимость повторных заточек резцов;
- высокая вероятность повреждений-первичных сколов лезвий, и малый их ресурс.

Процесс взаимодействия конусных поворотных резцов с массивом, по сравнению с процессом взаимодействия лезвийных резцов, характеризуется следующими особенностями:

- максимальное напряжение создается в зоне контакта выступающего керна резца с массивом, что обуславливает высокий градиент изменения напряжений в зоне контакта и большую вероятность образования разнообразных опережающих выколов угля (породы) и наведенных трещин в подрезцовой зоне массива;
- равномерным изнашиванием конусной части резца с эффектом самозатачивания;
- не образуется площадка притупления;
- менее выраженной концентрацией нагрузок на малой площади рабочей

поверхности резцов, что повышает их износостойкость;

- большими удельными нагрузками при резании пород с малыми толщинами срезов и меньшими удельными нагрузками при больших толщинах срезов по сравнению с лезвийными резцами.

Резцы тангенциальные поворотные (ТП) не имеют режущих кромок, по существу резцами не являются. По своей конструктивной форме они соответствуют понятию «клык» [1, 59], а отделение угля от массива осуществляется последовательными элементарными сколами, опережающими конусное заострение резца [23, 52, 98]. Эти резцы обеспечивают более эффективное разрушение горного массива при больших толщинах срезов, менее эффективное разрушение массива при малых толщинах срезов, отличаются простотой изготовления, установки, обслуживания, относительно высоким сроком службы и меньшей стоимостью. Поэтому они получили массовое использование, что привело к снятию с производства многих ранее использовавшихся типов резцов.

Условия эксплуатации резцов горных машин при добыче угля:

- величина и характер нагрузки переменны, пиковые значения монократно превышают средние;
- большая абразивность разрушаемого массива;
- фрикционное искрение и нагрев режущих кромок резцов;
- опасность взрыва метана и пылеобразование.

Следует отметить, что увеличение производительности и энерговооруженности горных машин может привести не только к увеличению нагрузок на резцы, но и, как следствие, в свою очередь повысить требования к технологичности и прочности их конструкции.

Можно сделать вывод, что современной горнодобывающей отрасли для своего дальнейшего развития сильно необходимы такие машины, агрегаты и комплексы, которые бы отличались следующими эксплуатационными характеристиками:

- более высокой производительностью;

- более продолжительным сроком службы;
- более надежными и безотказными.

По значимости рабочий инструмент, в том числе резцы, в промышленном развитых странах отнесены к стратегической высоко технологичной продукции [71, 81, 87, 88]. Поэтому его развитию, совершенствованию и охране соответствующей информации уделяется особое внимание. Стоимость ГРИ и затраты на горный РИ, в том числе на наиболее совершенные резцы типа ТП выемочных и проходческих машин, существенно сказываются на эффективности горного производства.

Таблица 2.7 – Техническая характеристика резцов типа РС и их вставок

| Параметры                          | Резец средний            |          | Вставка |        |
|------------------------------------|--------------------------|----------|---------|--------|
|                                    | PC1                      | PC2      | СТВ.04  | СТВ.05 |
| Длина, мм                          | 230                      | 250      | 105     | 105    |
| Вылет, мм                          | 60 (отн. корпуса струга) | 75       | 52      | 52     |
| Тип вставки                        | СТВ.03                   | БК1      | –       | –      |
| Ширина режущей части, мм           | 32                       | 50       | 32      | 32     |
| Угол заострения, град              | 72                       | 60       | 60      | 72     |
| Форма передней поверхности         | Плоская                  | Овальная | –       | –      |
| Масса пластинок твердого сплава, г | 100                      | 100      | 86      | 152    |
| Масса резца, кг                    | 3,5                      | 3,5      | 0,7     | 0,7    |
| Марка твердого сплава              | –                        | –        | БК15    |        |

Таблица 2.8 – Техническая характеристика резцов типа РС и РЛ

| Параметры                     | Тип резца                                  |     |      |                 |             |               |      |             |         |       |
|-------------------------------|--------------------------------------------|-----|------|-----------------|-------------|---------------|------|-------------|---------|-------|
|                               | PC3                                        | PC4 | PC6  | PC7             | PC8         | PC9           | PC10 | PC11        | ПЛ10    | ПЛ155 |
| Длина резца, мм               | 118                                        | 118 | 150  | 150             | 120         | 155           | 180  | 152         | 150     | 175   |
| Ширина режущей кромки, мм     | 32                                         | 32  | 22   | 13              | 32          | 13            | 13   | 58          | 22      | 22    |
| Форма сечения хвостовика      | плоская со скругленными меньшими сторонами |     |      |                 |             | прямоугольная |      |             |         |       |
| Угол заострения, град         | 60                                         | 72  | 72   | 70              | 80          | 75            | 75   | 80          | 72      | 72    |
| Форма передней поверхности    | плоская                                    |     |      | плоско-клиновья | гребенчатая | плоскоклинья  |      | гребенчатая | плоская |       |
| Масса пластинок тв. сплава, г | 86                                         | 116 | 32   | 36              | 155         | 36            | 36   | 155         | 32      | 32    |
| Марка твердого сплава         | BK15                                       |     |      |                 | BK11BK      | BK15          |      | BK11BK      | BK15    |       |
| Марка стали державки          | 35ХГСА                                     |     |      |                 |             |               |      |             |         |       |
| Масса, кг                     | 1,0                                        | 1,1 | 1,15 | 1,15            | 1,14        | 1,7           | 2,65 | 3,27        | 1,5     | 2,5   |

Тенденции развития угольных комбайнов и стругов заключаются в повышении мощности привода, увеличении сечений стружек, уменьшении числа режущих резцов. Использование машин на пластах более сложного строения с прослоями породы твердыми вымоченными. Вследствие этого возрастают средние нагрузки, динамичность нагрузках на режущий инструмент. Учитывая условия применения инструмента на комбайнах, стругах и агрегатах, были сформулировать основные требования к резцам в плане обеспечения технологически необходимых сечений и толщин срезов (стружки). Инструмент по имеющимся открытым данным должен обеспечивать работу с заданными значениями сечений и толщин стружек для улучшения сортности добываемого угля и снижения пылеобразования. Это требование определяет целый ряд параметров инструментов:

- вылет и сечение державки,
- геометрию режущей части инструмента.

Значения сечений и толщин стружек (по минимальной составляющей) представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Рациональные значений параметров срезов

| Исполнительный орган  | Сечение стружки,<br>$S_{cp}$ , см <sup>3</sup> | Толщина стружки,<br>$h_{cp}$ , см |
|-----------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Шнековый и барабанный | 15-30                                          | 3-6                               |
| Буровой               | 5-7                                            | 1,5-2,5                           |
| Цепной                | 2,0-3,5                                        | 1-2                               |
| Струговой             | 30-80                                          | 4-10                              |

Достижение безотказной работы резцов при выемке угля, заданного объема обеспечивается основными требованиями по износостойкости и необходимой прочности инструмента и обусловлено как недостаточной надежностью современного инструмента, так и тем, что при работе без постоянного присутствия людей в забое должна предусматриваться регламентированная замена изношенных комплектов резцов острыми после выемки заданного объема угля. В свете этого требования с заданной вероятностью устанавливаются



допустимые уровни удельного расхода резцов по износу и поломкам, в соответствии с которыми должны определяться параметры инструмента.

Значительный уровень потерь резцов при эксплуатации (до 20 % общего расхода) и высокая трудоемкость замены инструмента определяют необходимость создания надежного быстродействующего крепления, для применения которого хвостовик резца должен иметь соответствующие форму и размеры. Допустимый уровень потерь резцов при этом не должен превышать 1–2 шт/1000 т.

Необходимо обеспечивать чистоту обработанной поверхности забоя для исключения целиков по почве, затрудняющих передвижку конвейеров и секций крепи. Высота целиков между линиями резания шнековых исполнительных органов зависит от соотношения ширины и толщины стружки и влияет на выбор ширины резца и формы его режущей кромки.

Большой вклад в изучение закономерностей процесса резания углей внесли ученые научно-исследовательского института ИГД им. А.А. Скочинского. Работы ученых научно-исследовательского института ИГД им. А.А. Скочинского позволили по своим итогам разработать методику расчета загруженности и износостойкости резцов типа РКС [66-68].

После обобщения информации обо всех перспективных и существующих ныне конструкций резцов и последующей систематизации этой информации была разработана общая классификация поворотных тангенциальных резцов.

По результатам использования всех основных типов инструментов, которые эксплуатируются при работе очистных и проходческих комбайнов, были определены их основные проблемы:

- недостаточная прочность инструментов;
- слабая совместимость резцов типа РКС с широким спектром очистных и проходческих комбайнов;
- попадание мелких фракций разрушенной породы в зазор между хвостовиком резца и отверстием резцедержателя, что может способствовать прекращению поворота инструмента;

- малая прочность и низкая эффективность средств установки и закрепления резцов в исполнительном органе и т.д.

Согласно последней классификации тангенциальных резцов, представленной фирмой их выпускающей, к резцам конусного класса добавляется новый класс перспективных лезвийных тангенциальных поворотных резцов (рисунок 2.7).

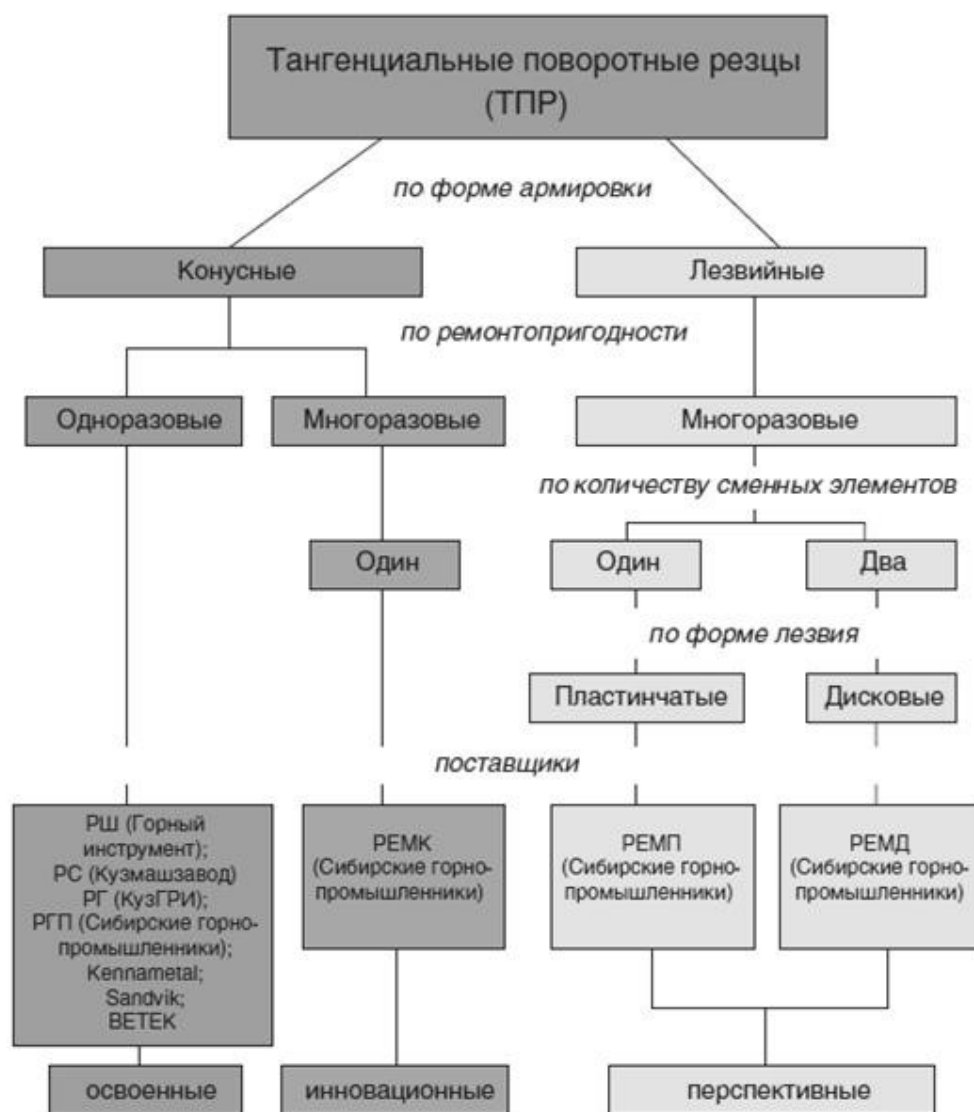


Рисунок 2.7 – Классификация тангенциальных поворотных резцов горных комбайнов

Ремонтпригодность резца определяется возможностью замены одного или нескольких его конструктивных элементов. По ремонтпригодности все инструменты можно классифицировать на резцы либо одноразового, либо многоразового применения.

Инструменты перспективных конструкций отличаются от других тем, что имеют либо дисковое, либо пластинчатое лезвие. Конструктивно такие инструменты состоят из державки, выполненной из стали [31, 38, 68]. Сама державка резца конструктивно состоит из цилиндрического хвостовика и конусной головки.

Конусные головки инструмента имеют наконечник из твердого сплава, основой которого являются карбид вольфрама, связанный кобальтом. Армирующий наконечник имеет колпачковую форму (Рисунок 2.8). Выступающий армированный торец инструмента имеет конусное заострение [84, 85, 98].

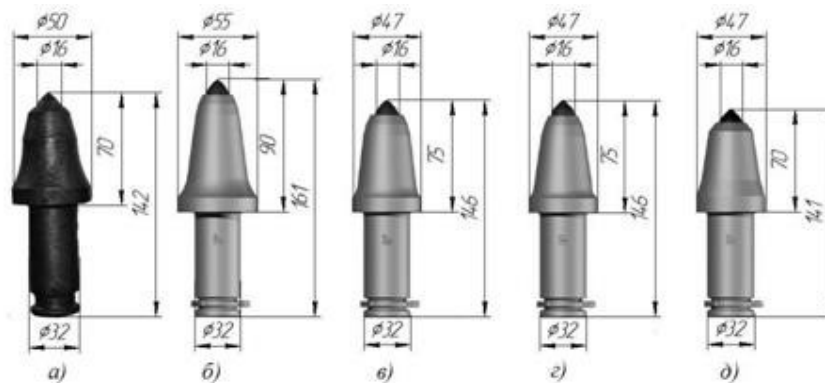


Рисунок 2.8 – Резцы, используемые на проходческом комбайне КП–21:

а) РС2; б) РШ 32–70–L90/16SK; в) РШ 32–70/16SK; г) РШ 32–70/16; д) РШ 32–70/16М.1

Широкому распространению этого вида резцов способствовали их достоинства:

- эффективность разрушения углей и пород;
- малая цена;
- простота установки и обслуживания;
- эффект самозатачиваемости резцов за счет равномерности износа их конусной головки под воздействием сил трения о горный массив;
- относительно высокий срок службы.

В настоящий момент тангенциальные поворотные конусные одноразовые резцы производятся на многих отечественных и зарубежных предприятиях. Следует отметить, что производители освоили изготовление резцов с конусообразными формами головной части державки более сложных форм (рисунок 2.9) [8, 24, 106].

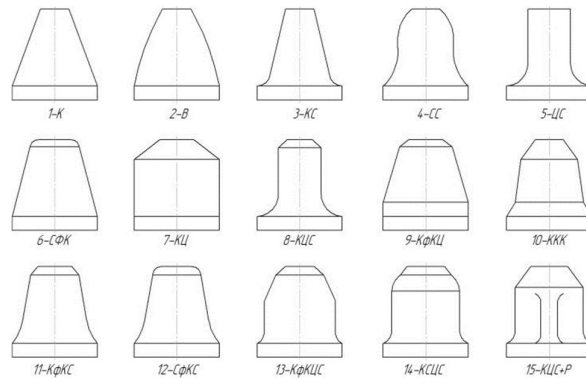


Рисунок 2.9 – Формы головной части державок тангенциальных поворотных резцов (ТПР)

Осмысление эволюции породоразрушающих инструментов с последующей разработкой их классификации позволило выделить новый класс комбайновых резцов-инструментов, которые существенно превосходят инструменты прошлого поколения по эксплуатационным характеристикам. Кроме того, классификация задает направление поиска перспективных эффективных конструкций резцов.

Согласно поступившей информации, к действующей классификации инструментов по резцам конусного класса, добавлен новый класс резцов-перспективные лезвийные ТПР к применяемым в настоящее время.

Многоразовые конусные резцы (РЕМК) производятся на предприятии НПП «Сибирские горнопромышленники», где они были сначала разработаны, затем испытаны и поставлены к эксплуатации в конкретных производственных условиях.

По данным завода-изготовителя из-за того, что изнашиваемые головки РЕМК выполнены сменными, их эксплуатационный ресурс в  $6\div 10$  раз превышает возможности резцов одноразового типа [30, 66-68]. Еще большие перспективы увеличения ресурса по эксплуатации имеют лезвийные резцы типа РЕМП и РЕМД.

Исходя из необходимости обеспечения заданной максимальной толщины стружки, предотвращения трения резцедержателей о края борозды резания, а также переизмельчения угля резцедержателями, за главный параметр принят радиальный вылет  $l_p$ .

Таким образом, современные резцы имеют недостаточную область применения по крепости разрушаемого массива (до 80-100 МПа). Повышение

качества рабочего инструмента на всех этапах его эволюции оказывало решающее влияние на развитие процесса отделения пород от массива и на развитие выемочных и других типов горных машин [50, 68, 108]. Количество основных признаков качества ГРИ, на всех этапах его развития, оставалось постоянным, в то время как количество косвенных признаков качества возрастало и было обусловлено увеличением количества вспомогательных его функций. Процесс резания массива с разнородными по крепости структурными элементами резцами с лезвийными режущими кромками не является рациональным по стойкости лезвий. Углубление знаний закономерностей процесса отделения пород (угля) от массива, этапов развития горного инструмента, и в частности резцов выемочных машин, является необходимым условием для выработки стратегии дальнейшего развития резцов, горной техники и горных технологии ближайшего будущего.

#### **2.4 Анализ режимов работы лезвийных и конусных резцов выемочных машин**

Процессы взаимодействия лезвийных и конусных резцов с разрушаемым массивом существенно различаются. Процесс взаимодействия лезвийных резцов с массивом характеризуется следующими основными особенностями [107]:

- процесс резания практически не снижает прочности подрезочной зоны массива, что обычно характерно и целесообразно для процессов в обрабатывающих (детали) отраслях, но в чем нет необходимости при разрушении пород при их отделении от массива;
- узкий линейный контакт резца с массивом обуславливает малую область распространения напряжения в зоне контакта и, следовательно, последовательное разрушение структурных элементов массива, что снижает вероятность опережающих объёмных выколов с реализацией существующих ослаблений в массиве в виде системных трещиноватостей, слоистости и слойчатости массива.

Процесс взаимодействия конусных поворотных резцов с массивом, по сравнению с процессом взаимодействия лезвийных резцов, характеризуется следующими особенностями:

- поворотные резцы при работе поворачиваются в резцедержателе относительно своей продольной оси. Это происходит под действием неуравновешенных сил трения в контакте инструмента с массивом. Данный процесс сопровождается равномерным изнашиванием конусной части инструмента. Процесс сопровождается эффектом самозатачивания резовой головки;
- распределенными нагрузками по поверхности головки резца менее выраженной их концентрацией на относительно малой части рабочей площади резца, что повышает стойкость головки резцов;
- в зоне взаимодействия резца с массивом создается большая область распространения напряжений в массиве, что способствует образованию более крупных опережающих выколов по сравнению с процессом резания пород лезвийными резцами;

Известно, что прочность разрушаемого угольного массива меньше прочности составляющих его структурных элементов вследствие наличия ослабляющих массив систем трещиноватостей, слоистости и слойчатости. Направление движения резцов роторных исполнительных органов добычных комбайнов в процессе резания не согласуется с преобладающими направлениями слоистости массива, слойчатости, систем нормальных к слоистости и кососекущей трещиноватостей угольного массива, то есть с наименьшей прочностью массива [78].

## **2.5 Факторы, критерии и показатели, определяющие эффективность срезов и схем расстановки резцов**

Узкозахватные комбайны со шнековыми исполнительными органами получили в настоящее время наиболее широкое распространение в процессах добычи угля в КМОЗ угольных шахт. Ими оснащены почти все выпускаемые механизированные комплексы, применяемые для добычи угля в длинных забоях (лавах) на пластах средней мощности и мощных с углами залегания до  $35^{\circ}$  [71, 76, 77]. Известно, что основными достоинствами шнековых исполнительных органов являются совмещение функций отделения угля от массива и погрузки его на

конвейер, возможность самозарубки в пласт на новую полосу выемки косыми заездами, простота регулирования положения шнеков по мощности пласта, надежность и долговечность. В практике работы КМОЗ на пластах средней мощности и мощных им на ближайшее будущее альтернативы не предвидится.

Поэтому поиск более эффективных способов отделения угля от массива и соответствующих технических решений, обеспечивающих устранение или уменьшение влияния перечисленных недостатков применительно к шнековому исполнительному органам, являются актуальными.

Повышение эффективности процесса отделения угля от массива наиболее просто достигается увеличением толщины срезов и, как следствие, ширины и площади сечения срезов. Однако толщина среза ограничена радиальным вылетом резцов и степенью вписываемости их резцедержателей в развал срезов.

Идея повышения эффективности процесса резания заключается в поиске и использовании, наряду с типовыми последовательными и шахматными срезами, более энергоэффективных подрезных, парных и групповых срезов, а также комбинированных последовательно-групповых схем расстановки резцов на исполнительных органах [29, 69, 96].

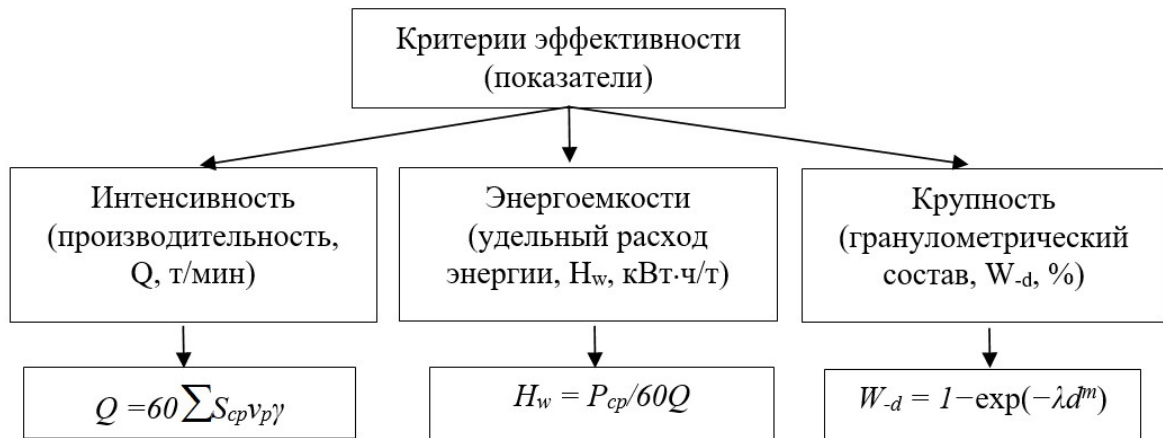


Рисунок 2.10 – Критерии эффективности процесса отделения угля от массива  
резцами очистных комбайнов:

$S_{ср}$  – площадь сечения среза, м<sup>2</sup>;  $v_p$  – скорость резания, м/с;  $\gamma$  – плотность угля в массиве, т/м<sup>3</sup>;

$P_{ср}$  – мощность потока энергии, кВт;  $d$  – диаметр частиц (кусков) угля, м;  $\lambda$  – степени  
измельчения;  $m$  – параметр формы.

В общем случае структура процесса резания угля одиночным инструментом может быть представлена случайной последовательностью элементарных сколов (рисунок 2.11), стационарность возникновения которых нарушается появлением участков передового выкола и участков прорезания твердых включений [40-48, 64]. Обозначив на длине пути резания  $L$  суммарные продолжительности участков: передового выкола — через  $\Sigma l_B$ , резания угля — через  $\Sigma l_{1P}$ , перерезания включений — через  $\Sigma l_{2P}$ , можно определить вероятность появления усилия, соответствующего той или иной структурной особенности процесса:

$$p_0 = \frac{\Sigma(l_B)}{L}; \quad p_1 = \frac{\Sigma(l_{1P})}{L}; \quad p_2 = \frac{\Sigma(l_{2P})}{L};$$

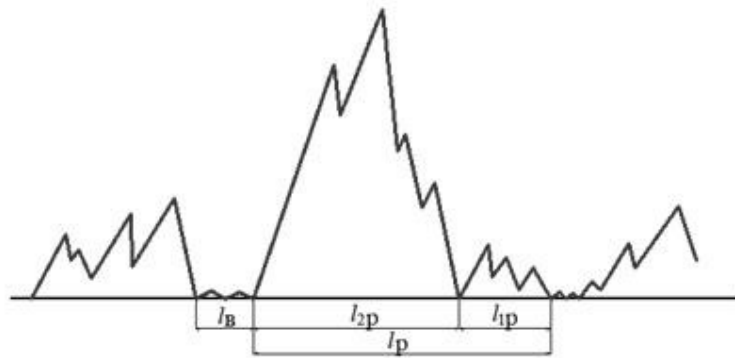


Рисунок 2.11 – Типичная осциллограмма изменения сил на резце в процессе резания угля

Функция распределения случайного процесса резания в общем виде 2.1:

$$f(Z) = p_0\delta(0) + p_1f_1(Z) + p_2f_2(Z), \quad (2.1)$$

где  $\delta(0)$ -дельта-функция, характеризующая появление нулевых значений усилий резания;  $f_1(Z)$  и  $f_2(Z)$ -функции распределения соответственно на участках резания угля и про резания твердых включений.

## 2.6 Обоснование требований к процессу отделения угля от массива и к параметрам срезов

Процесс эксплуатации исполнительных органов выемочной машины в любой момент времени представляет собой сочетание процесса отделения угля от массива с процессом удаления продуктов разрушения породы из зоны работы инструмента (зоны резания).



Исполнительные органы всех выемочных машин (комбайны, струги, агрегаты) оснащаются достаточно большим числом резцов. При работе выемочных машин, когда обрабатываемый забой неподвижен, а точка выемки перемещается, всегда имеет место одно прямолинейное движение исполнительного органа (непрерывное или прерывное) [22, 56]. Отделение угля от массива выполняется либо сплошным резанием, либо с образованием щелей.

Выполнение определенной схемы резания (разрушения породы) зависит от способа отделения угля от массива и от схемы расстановки резцов на исполнительном органе, связанной с его конструкцией. Схема расстановки (набора) резцов-графическое изображение расстановки комплекта резцов с указанием координат каждого резца, определяющих его место на образующей поверхности исполнительного органа [96].

Известна групповая схема расстановки резцов на шнековом исполнительном органе (рисунок 2.12, в), лопасти которого оснащены группами радиальных и тангенциальных резцов в чередующихся плоскостях вращения. В каждой плоскости вращения установлено не менее двух резцедержателей для групп радиальных резцов и не более одного резцедержателя для тангенциальных резцов.

При этом резцедержатель для группы радиальных резцов выполнен с тремя гнездами для закрепления резцов 1, 2 и 3 (рисунок 2.12, а). Резец 3 расположен с опережением двух других, установленных под углом к плоскости вращения. Последовательность срезов  $5 \div 10$  и  $11 \div 16$ , формируемых в процессе, указана на рисунке 2.12, б.

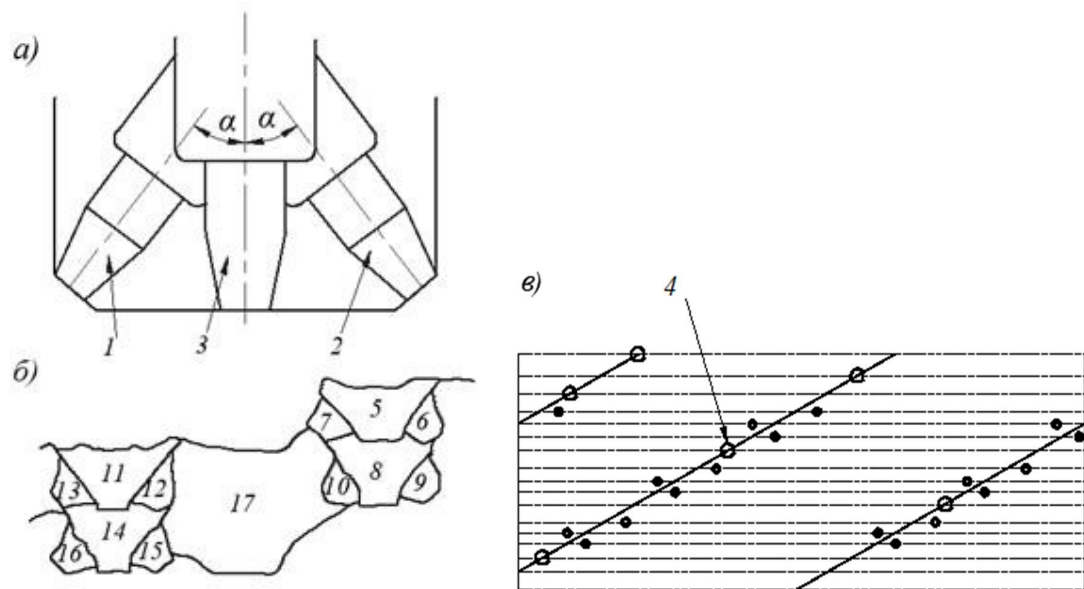


Рисунок 2.12 – Группа радиальных резцов (а), формы срезов (б) и схема расстановки резцов (в)

Технологическим результатом процесса резания является увеличение выхода крупных фракций в процессе отделения угля от массива, снижение пылеобразования и удельного расхода энергии за счет использования энергоэффективных подрезных срезов (6, 7, 9, 10, 12, 13, 15 и 16). Межщелевые целики 17 (рисунок 2.12, б) разрушаются тангенциальными резцами 4 (рисунок 2.12, в), которые таким образом обрабатывают до 70 % площади забоя. Недостатками рассматриваемого устройства являются: сложность конструкции из-за разнотипности резцов и резцедержателей с тремя гнездами для закрепления радиальных резцов. Разнесенная относительно друг друга установка радиальных резцов в группе обеспечивает независимость срезов каждым резцом и поэтому не увеличивает вероятность выхода негабаритов и не изменяет интенсивность измельчения угля и пылеобразования в процессе резания.

Для обеспечения максимально возможной производительности при расстановке резцов на лопастях самозарубающегося шнека обычно предусматривается установка резцов в линии резания на каждой лопасти и последовательная схема их расстановки (рисунок 2.13). Обнажение забоя всегда одностороннее, вследствие чего отмечаются большие боковые нагрузки на шнековый исполнительный орган [64, 96].

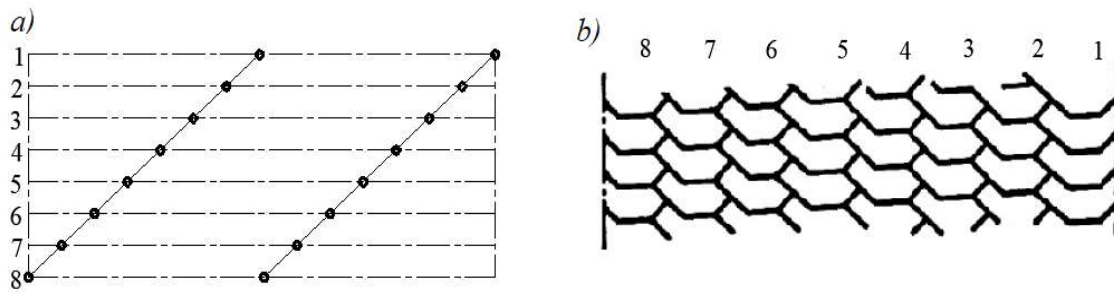


Рисунок 2.13 – Последовательная схема расстановки резцов (а) и схема срезов (б)

В последние годы выполнены исследования по изысканию новых схем расстановки резцов. Например, в одной линии резания устанавливаются сближенные резцы с превышением друг друга (на разных окружностях). По мере увеличения скорости подачи в процессе резания участвуют сначала один, затем два, три и, наконец, четыре резца. Вследствие этого во всём диапазоне изменения скорости подачи поддерживается примерно постоянная толщина среза, снижение удельного расхода энергии и повышение сортности.

Применение на шнеках парных резцов, обеспечивающих «парный» срез большей площади сечения среза, и соответствующих последовательных схем их расстановки (рисунок 2.14), приводит к уменьшению нагрузок на резцы, снижению удельного расхода энергии и повышению сортности угля по гранулометрическому составу.

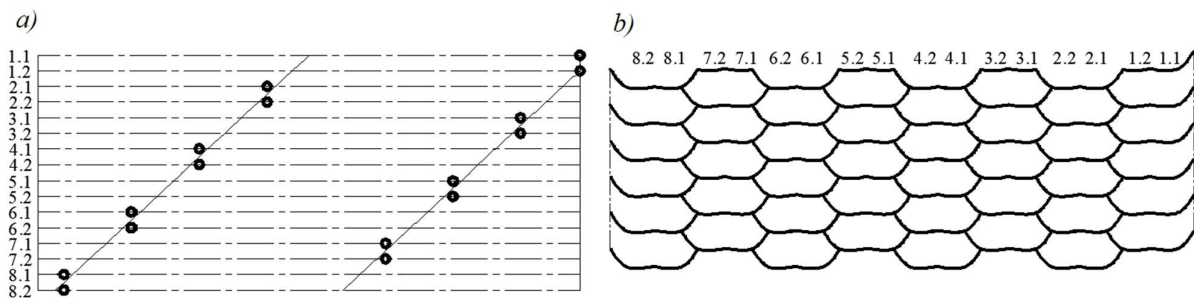


Рисунок 2.14 – Схемы расстановки парных резцов (а) и срезов (б)

Как установлено известными исследованиями, в частности приведенными в работах [26, 62-64], с увеличением толщины среза  $h$ , при прочих равных условиях, удельный расход энергии уменьшается, приближаясь асимптотически к некоторой величине, зависящей от прочностных свойств пласта, типа резцов и исполнительного органа. Эти особенности будут действительны и для процессов

отделения угля от массива шнековыми исполнительными органами с рассматриваемыми комбинированными последовательно-групповыми схемами расстановки резцов.

Резцы роторных исполнительных органов отделяют уголь от массива серпообразными стружками переменной толщины и площади сечения, каждая из которых характеризуется максимальной толщиной ( $h_{\max}$ ) и текущими её значениями ( $h_i$ ). Максимальная толщина среза за оборот шнекового исполнительного органа определяется по формуле 2.2:

$$h_{\max} = \frac{100 \cdot v_n}{n_{\text{об}} \cdot m_p}, \quad (2.2)$$

где  $v_n$  – скорость подачи, м/мин;  $n_{\text{об}}$  – частота вращения исполнительного органа, об/мин;  $m_p$  – число резцов в линии резания.

Текущее значение толщины среза определяется по формуле 2.3:

$$h_i = h_{\max} \cdot \sin \varphi_i + \left[ \frac{D}{2} - \sqrt{\left( \frac{D}{2} \right)^2 - h_{\max}^2 \cdot \sin^2 \varphi_i} \right]. \quad (2.3)$$

где  $\varphi_i$  – текущее значение угла положения резца;  $D$  – диаметр исполнительного органа по режущим кромкам резцов, м. Заменяя фактическую траекторию движения резца окружностью, выражение (2.3) можно упростить:

$$h_i = h_{\max} \cdot \sin \varphi_i \text{ и при } \varphi_i = \frac{\pi}{2} \text{ имеем } h_{\max} = \frac{100 \cdot v_n}{n_{\text{об}} \cdot m_p}.$$

Необходимо выбирать такие значения  $n_{\text{об}}$  и  $m_p$ , чтобы при наименьшем числе их сочетаний обеспечивалась работа с принятыми рациональными значениями толщины срезов. Известно, что толщина среза может быть увеличена повышением скорости подачи, уменьшением частоты вращения шнекового исполнительного органа и числа резцов в линии резания (рисунок 2.15).

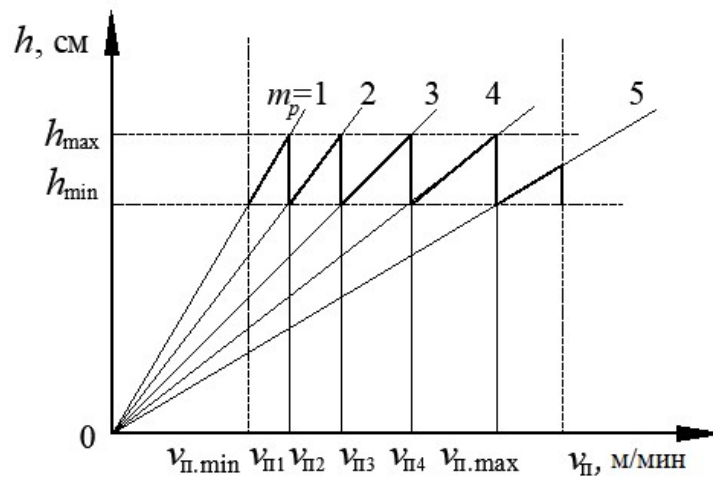


Рисунок 2.15 – Изменение толщины среза при изменении скорости подачи и частоты вращения исполнительного органа.  $h_{\max}$  – максимальная толщина среза, см;  $h_{\min}$  – минимальная толщина среза, см;  $v_{п.\max}$  – максимальная скорость подачи, м/мин;  $v_{п.\min}$  – минимальная скорость подачи, м/мин;  $m_p = 1, 2, \dots, 5$  – количество резцов в линии резания.

В современных комбайнах частота вращения рабочих органов – обычно величина постоянная. Иногда изменение частоты вращения достигается переключением передаточного числа редуктора или заменой зубчатой пары в редукторе. Оперативное изменение толщины среза осуществляют регулированием скорости подачи. Максимально допустимая толщина среза лимитируется вылетом резца  $l_p$ . Для нормальной работы в общем случае рекомендуется толщина среза  $h \leq 0,7l_p$ . [32] В противном случае возможно соприкосновение конструктивных элементов шнекового исполнительного органа (резцедержателей, торцевой поверхности лопастей) с забоем, что при эксплуатации современных скоростных комбайнов встречается довольно часто, но не желательно, так как увеличивает динамику нагрузок. Поэтому при разработке конструкции шнековых исполнительных органов, резцов, резцедержателей и определении  $h_{\max}$  необходимо учитывать возможность «вписываемости» резцедержателей в развал среза.

В области полусвободных и полублокированных последовательных срезов при  $h = \text{const}$  удельный расход энергии (рисунок 2.16, кривая 1) с увеличением ширины среза снижается, достигая минимального значения ( $t_{\text{опт}}$ ), затем возрастает до установившегося значения.

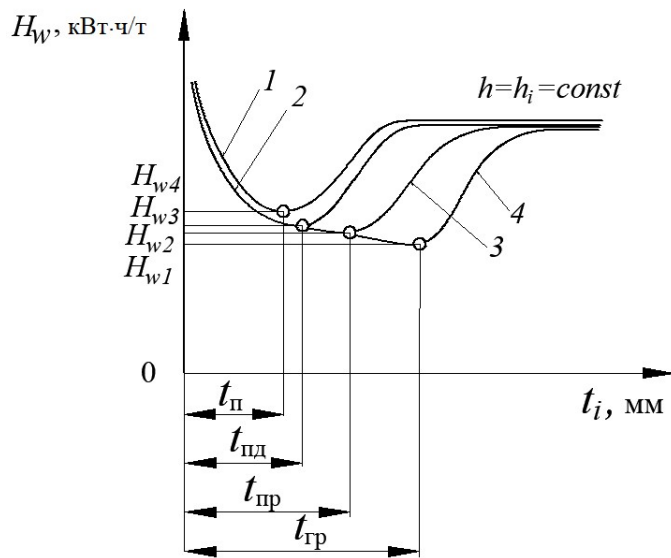


Рисунок 2.16 – Зависимость удельного расхода энергии ( $H_w$ ) от ширины ( $t_i$ ) срезов при последовательном (1), подрезном (2), парном (3) и групповом (4) срезах.

При равной толщине среза особенности изменения удельного расхода энергии подрезного, парного и группового срезов с изменением их ширины сохраняются, так же, как и изменения форм их сечений.

Подрезной срез (кривая 2) характеризуется несколько меньшим расходом энергии по сравнению с последовательным срезом (кривая 1). Парный срез (кривая 3) обеспечивает большую энергоэффективность по сравнению как с последовательным, так и подрезным срезами. Наиболее энергоэффективным срезом, при определенных условиях, может оказаться групповой срез (кривая 4). В настоящее время нет достаточного опыта апробации шнековых исполнительных органов с использованием подрезного, парного и группового срезов, поэтому необходимы их дальнейшие проработки, моделирование процесса резания, поиск рациональных схем расстановки резцов, лабораторные исследования и промышленные испытания.

Значимость рабочего инструмента на современном этапе и необходимость его совершенствования повышения его качества и соответствующего повышения качества процесса резания снова осознаны.

Необходимость развития рабочего инструмента актуально в настоящее время и сохранится в будущем. Поэтому понимание закономерностей развития

ГРИ является необходимым условием для выработки стратегии развития горных технологий и техники будущего. Развитие рабочего инструмента оказало решающее влияние на развитие техники и технологий на всех этапах развития человеческого общества и его отдельных цивилизаций.

Горные машины объединяют совокупность технических средств, служащих для выполнения горных работ по добыче полезных ископаемых, включая их выемку, транспортирование и первичную переработку. Многообразие полезных ископаемых, используемых в качестве сырьевой базы большинства технологий современной цивилизации, разнообразие и большие пределы изменения их физических свойств, геометрии их положения в земной коре предопределяют многообразие таких машин по назначению и технологиям их использования. В не меньшей степени горные машины различаются по таким признакам, как вид используемой энергии, привод различных механизмов, способ воздействия на горную породу, производительность и т.п., что предопределяет различные способы классификации горных машин в зависимости от признаков, положенных в их основу.

## **2.7 Выводы по главе 2**

1. Корректная оценка режимов эксплуатации конусных и лезвийных инструментов – резцов – выемочных машин при добыче угля позволяет не только произвести обоснование выбора оптимальных и рациональных режимов их работы, но и оптимизировать параметры процесса разрушения угля от массива исполнительными органами комбайнов, провести оценку эффективности эксплуатации выемочных машин, уменьшить удельные затраты энергии и улучшить гранулометрический состав породы, отделяемой от забоя.

2. Повышение качества ГРИ, на всех этапах его эволюции, осуществлялось ростом количества его вспомогательных признаков качества, при этом количество основных признаков качества оставалось постоянным.

3. Основные признаки качества ГРИ улучшаются повышением качества вспомогательных их структурных элементов, например, повышением твёрдости

поверхностного слоя головки резца закалкой, наплавкой или армировкой металлокерамикой.

4. Повышение качества ГРИ, на всех этапах его эволюции, оказывало решающее влияние на рост интенсивности процесса обработки камня, добычи полезных ископаемых и на развитие выемочных и других типов горных машин.

5. Наиболее эффективен комплексный способ повышения качества ГРИ, включающий совершенствование структуры основных и вспомогательных его элементов (резцов, резцедержателей, фиксаторов, исполнительных органов и прочих устройств), повышение качества используемых материалов и качества изготовления всех основных и вспомогательных их структурных элементов.

6. Знание тенденций развития ГРИ является необходимым условием для выработки стратегии дальнейшего совершенствования как резцов, так и исполнительных органов, и выемочных горных машин.



## **ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ УГЛЯ И ОРГАНИЧЕСКОГО СТЕКЛА В РЕЖИМЕ ЭТАЛОННОГО РЕЗАНИЯ**

### **3.1 Экспериментальные исследования процесса резания органического стекла в режиме эталонного резания**

Исследования процесса резания разных видов материалов как изотропных, так и анизотропных, выявление закономерностей формирования последовательности сколов достаточно трудоёмки, объёмны и важны для дальнейшего исследования процесса формирования срезов, совершенствования и развития теории резания хрупких горных пород. Рассмотрим на первом этапе закономерности процесса резания в эталонном режиме органического материала с постоянными, неизменными во времени и пространстве прочностными свойствами, и постоянными значениями параметров резцов и режима резания. Эти закономерности, как можно ожидать, должны быть весьма устойчивыми.

Локальное поле напряжений в массиве в процессе одиночного среза однозначно определяет нагрузки на резец, предшествует сколам и отражает все фазы развития процесса скалывания. Поэтому изучение его изменчивости, интенсивности, формы, размеров, флуктуаций положений и направлений его перемещений в массиве относительно движущегося резца при различной степени анизотропии массива представляет особый интерес.

В общем случае параметры состояний поля напряжений зависят от следующих параметров [14]:

- структуры обрабатываемого массива;
- режимов работы инструмента;
- параметров самого инструмента (геометрии, материала режущей части);
- направления движения инструмента относительно структуры обрабатываемого массива;
- степени деформации и смещений элементов структуры обрабатываемого массива относительно друг друга и относительно инструмента.

Если процесс резания органического стекла имеет описанные выше закономерности, то аналогичные закономерности могут быть свойственны и процессам, происходящим при резании других материалов, в том числе и горных пород.

Для проверки адекватности рассмотренной модели были проведены экспериментальные исследования процесса резания изотропного материала. Наиболее подходящим для проведения экспериментальных исследований процесса резания стало прозрачное органическое стекло. Поскольку формирование элементарных сколов на оргстеле является достаточно случайным и многофакторным процессом, в качестве метода исследования были приняты: метод физического эксперимента, в котором используются геометрически подобные инструменты и характеристики органического стекла (таблица 3.1) и метод моделирования процесса [90, 93, 99].

Таблица 3.1 – Характеристика органического стекла

| <b>Показатели</b>                        | <b>Условные обозначения</b> | <b>Единица измерения</b> | <b>Литьевое оргстекло</b> |
|------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Предел прочности при растяжении (+23 °С) | $\sigma$                    | МПа                      | 70                        |
| Модуль упругости (модуль Юнга)           | E                           | МПа                      | 3000                      |
| Удельный вес (плотность)                 | $\gamma$                    | кг/м <sup>3</sup>        | 1190                      |
| Коэффициент Пуассона                     | $\kappa$                    | -                        | 0.30                      |

Цель эксперимента-оценить степень влияния шага установки резцов на процесс эталонного резания парными срезами.

Для обеспечения идеальных условий приняты:

- материал-органическое стекло с равномерной неизменной структурой, плотностью, твёрдостью и сопротивляемостью резания;
- резцы с постоянными неизменными геометрическими параметрами;
- режим резания: постоянные толщина среза и шаг резания, постоянная скорость резания. Вид среза – одиночный и парный. Контролируются размеры элементарных сколов, площади сечения срезов, распределение

фрагментов сколов по крупности. Учитывая зависимость показателей эффективности резания с парными резцами и их параметров, с целью увеличения, крупных размера сколов. Увеличения содержания крупных фракций сколов и снижение энергопотребления при заданной производительности.

Для достижения цели экспериментальный исследований необходимо выполнить следующие задачи:

- Исследовать закономерности формирования подрезных, парных и групповых срезов;
- Оценить геометрические параметры фрагментов сколов, выход крупных фракций в процессе резания оргстекла, снижение удельных затрат энергии;
- Обосновать методику выбора параметров схем расстановки резцов;
- Обосновать параметры схем расстановки резцов, обеспечивающих повышение выхода крупных фракций при добыче и снижение удельных затрат энергии.

Экспериментальные исследования процесса резания органического стекла проводились на специально созданном стенде (рисунок 3.1). Сколы осуществлялись на пластине органического стекла размерами  $200 \times 200 \times 35$  мм. Для регистрации поля напряжений в процессе резания у органического стекла производилась подсветка плоско-поляризованным светом через специальное устройство с одной стороны образца.

Перемещение рамки подвижной 3 с установленным в ней оргстеклом на инструмент 5 производилось при помощи вращения винта рукояткой устройства 3. Использовался резец с углом резания  $48^\circ$ , задним углом  $12^\circ$ , соответствующими эталонному резцу [63].

Толщина срезаемого слоя и место среза были определены при помощи регулирующего устройства. В регулирующем устройстве направляющие 7 позволяют перемещаться резцедержателю 6 в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

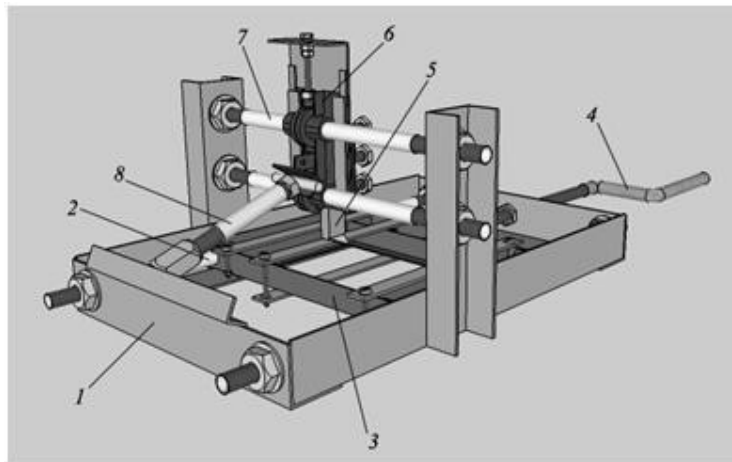


Рисунок 3.1 – Стендовая установка:

1 – рама; 2 – направляющие перемещения рамки; 3 – рамка передвижная; 4 – винт; 5 – резец; 6 – резцедержатель; 7 – направляющие для перемещения резцедержателя; 8 – упор

Для наблюдения распределения полей напряжений, возникающих при резании изотропного материала, возможно использование поляризационно-оптического метода на основе явления интерференции поляризованного света [70]. Интерференция поляризованных лучей света – явление, которое возникает при сложении когерентных поляризованных световых колебаний. Лучи, выходящие из пластинки двулучепреломляющего кристалла, интерферируют лишь при условии, если свет, падающий на пластинку, поляризован, а также, если оба луча приведены в одну и ту же плоскость. В напряженном состоянии изотропный материал становится двоякопреломляющим, создается возможность наблюдать распределение и смещение полей напряжений. Поляризационно-оптический метод основан на свойстве большинства прозрачных изотропных материалов становиться при деформации оптически анизотропными, т.е. на возникновении искусственного двойного лучепреломления-пьезооптического эффекта [2]. Поляризационно-оптический метод обладает следующими достоинствами: непрерывная наглядная картина напряжений в реальном времени и в любой точке зоны их распределения, при этом наблюдаемая зона не обязательно должна выходить на поверхность разрушаемого материала.

Известно, что при большой скорости процесс резания органического стекла характеризуется температурным эффектом, ровными кромками среза и сливной

стружкой. Экспериментально установлено, что для получения при резании органического стекла характера сколов аналогичного, как и при разрушении горных пород (последовательности элементарных сколов) для устранения температурного фактора необходимо уменьшить скорость резания до 0,08 м/с.

Процесс резания регистрировался фото-и киносъемкой в поляризованном свете. На рисунке 3.2, а представлено начало процесса резания с ровной поверхности. Толщина среза  $h = 2$  мм. Видно образование в акриловом стекле зон напряжений. Границы зон напряжений окрашены в разные цвета.

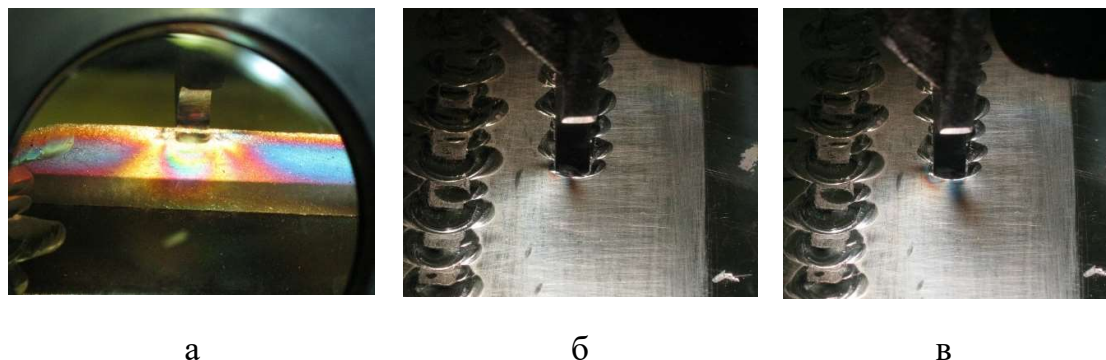


Рисунок 3.2 – Резание органического стекла с ровной поверхности; толщина среза  $h = 2$  мм:

а – начало резания; б, в – следы срезов

Перед резцом формируется поле напряжений, которое растёт. По мере движения резца напряжение достигает критического значения, вследствие чего происходит скол. При внедрении резца в органического стекла, формируется объемное поле напряжений перед передней гранью резца (рисунок 3.2, а). Под действием усилия от резца возникают линии напряжения двух типов. Это контурные изолинии напряжений, замыкающиеся сами на себя при прохождении по границам сферических зон с одинаковым уплотнением, а также линии напряжения незамкнутые и постепенно ослабевающие в исследуемом материале. Характер и смещение поля напряжений зависит от скорости движения резца [33, 36, 72]. При одной плоскости обнажения имеет место двусторонний симметричный развал борозды резания (рисунок 3.2, б, в).

На рисунке 3.3 представлена пластина органического стекла после резания её резцом при толщине скола  $h = 2$  мм. Форма элементарных сколов на

органическом стекле похожа на форму морской раковины с характерными линиями замкнутых дуг.

Внутренняя поверхность скола формируется по замкнутым линиям.

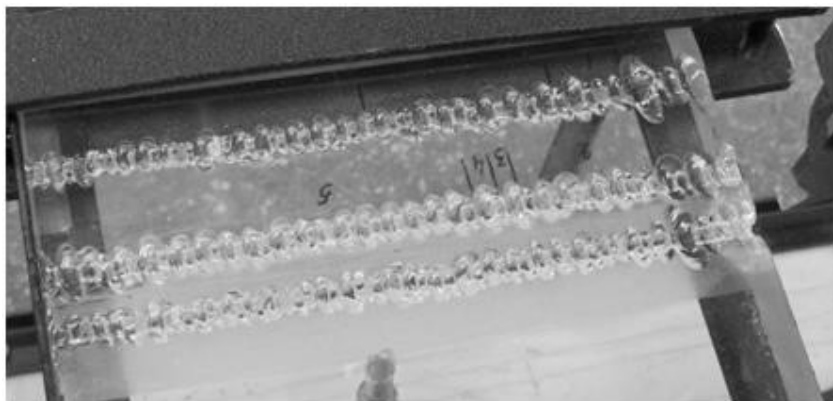


Рисунок 3.3 – Характерная последовательность следов сколов; толщина среза  $h = 2$  мм

В процессе резания оргстекла инструментом с постоянными геометрическими параметрами наблюдаются следующие эффекты:

- чередование последовательных элементарных сколов устойчиво по своей природе;
- чередование фаз процесса формирования каждого элементарного скола - устойчиво;
- геометрические параметры форм и размеров фрагментов сколов - постоянны.

Максимальная длина фрагментов (сколов) достигает 15 мм. Фрагменты длиной менее 7 мм отнесены к мелким классам и составляют 16,3 %.

Распределение фрагментов по размеру, приведено на рисунке 3.4 и в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – гранулометрический состав сколов

| Длина фрагмента скола<br>$c$ , мм | Процент содержания, по<br>размерам, % |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| $c < 3$                           | 3,7                                   |
| $3 < c < 7$                       | 12,6                                  |
| $7 < c < 11$                      | 42,9                                  |
| $11 < c < 15$                     | 40,8                                  |

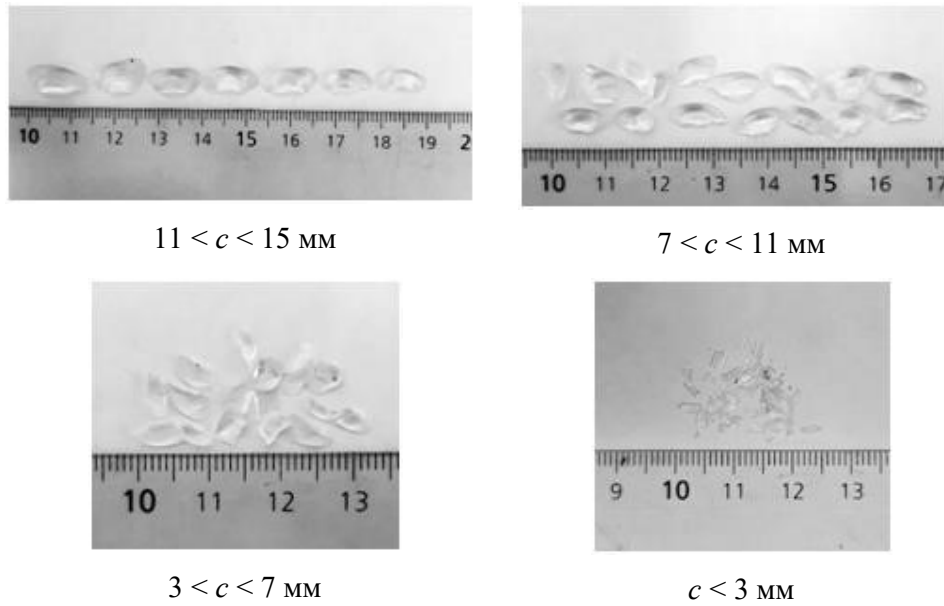


Рисунок 3.4 – Распределение фрагментов сколов по размерам



Рисунок 3.5 – Следы парных срезов органического стекла

На рисунке 3.5 формы сечений срезов органического стекла после резания её парными срезами при толщине  $h = 2 \text{ мм}$ . При резании с парными резцами с разными шагами резания получают фрагменты сколов с существенно разным количеством и соотношением размеров. Форма фрагментов особенно велика по размеру, результаты экспериментов, показаны на следующих рисунках и таблицах:

При резании парными резцами с шагом установки резца  $t_{\text{шр}} = 1,5 b_p$

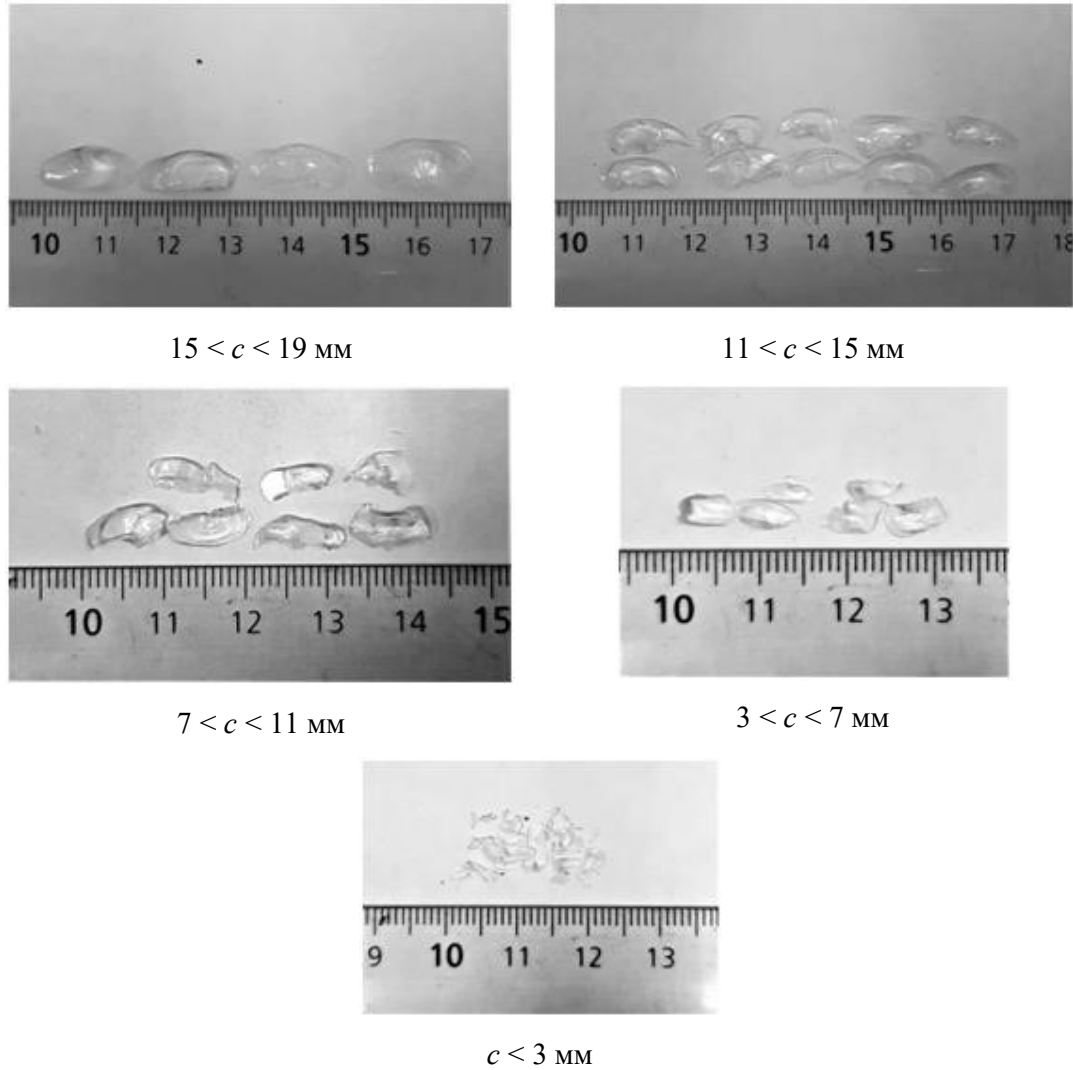


Рисунок 3.6 – Распределение фрагментов сколов по размерам

Таблица 3.3 – Гранулометрический состав по размерам сколов

| Длина фрагмента скола<br>$c$ , мм | Процент содержания, по<br>размерам % |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| $c < 3$                           | 2,20                                 |
| $3 < c < 7$                       | 5,40                                 |
| $7 < c < 11$                      | 13,10                                |
| $11 < c < 15$                     | 43,60                                |
| $15 < c < 19$                     | 35,70                                |

Из результатов (рисунок 3.6 и таблица 3.3) процесса резания материала с постоянными прочностными свойствами (органическое стекло), парными резцами



с постоянными геометрическими параметрами и шагом установки резцов равно  $1,5 b_p$  наблюдается: максимальная длина фрагментов (сколов) достигает 19 мм. Фрагменты длиной менее 7 мм отнесены к мелким классам и составляют 7,6 %.

**При резании парными резцами с шагом установки резца  $t_{шp} = 2 b_p$**

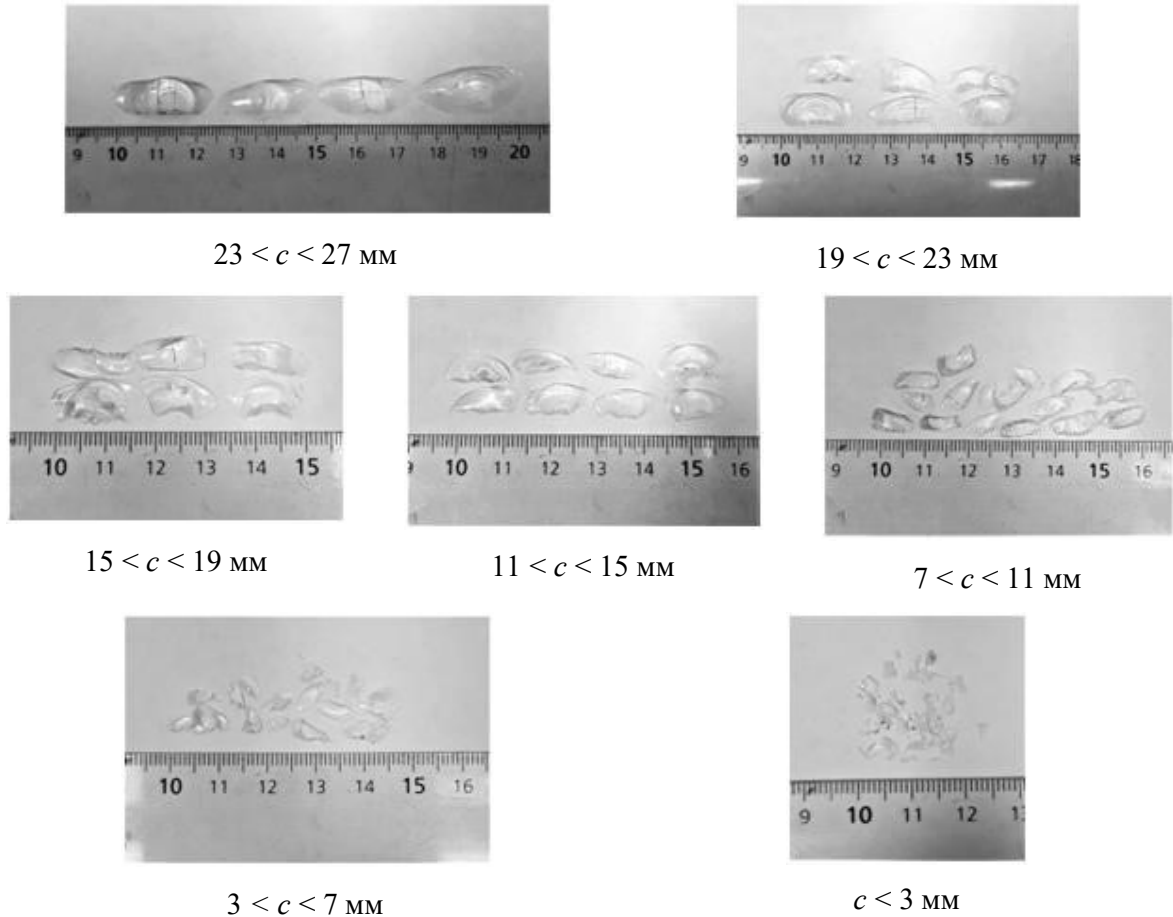


Рисунок 3.7 – Распределение фрагментов сколов по размерам

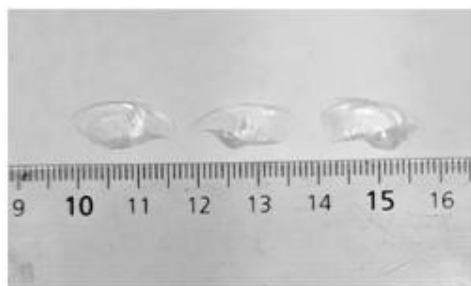
Таблица 3.4 – Гранулометрический состав по размерам сколов

| Длина фрагмента скола<br>$c$ , мм | Процент содержания, по<br>размерам % |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| $c < 3$                           | 1,10                                 |
| $3 < c < 7$                       | 3,90                                 |
| $7 < c < 11$                      | 11,50                                |
| $11 < c < 15$                     | 12,70                                |
| $15 < c < 19$                     | 13,10                                |
| $19 < c < 23$                     | 25,40                                |
| $23 < c < 27$                     | 32,30                                |

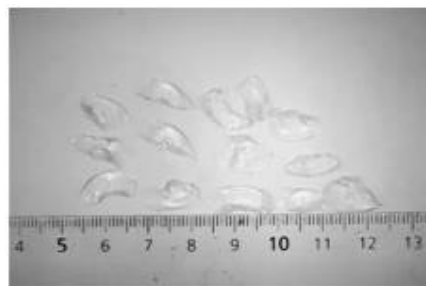
Из результатов (рисунок 3.7 и таблица 3.4) процесса резания материала с постоянными прочностными свойствами (органическое стекло), парными резцами с постоянными геометрическими параметрами и шагом установки резцов равно  $2 b_p$  наблюдается: максимальная длина фрагментов (сколов) достигает 27 мм. Фрагменты длиной менее 7 мм отнесены к мелким классам и составляют 5 %.

**При резании парными резцами с шагом установки резца  $t_{шp} = 2,5 b_p$**

При резании материала (рисунок 3.8 и таблица 3.5) с постоянными прочностными свойствами (органическое стекло) парными резцами с постоянными геометрическими параметрами и шагом установки резцов равным  $2,5 b_p$  максимальная длина фрагментов (сколов) составила 19 мм. Фрагменты длиной менее 7 мм отнесены к мелким классам и составили 19,8 %.



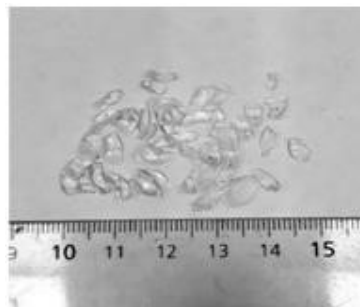
$15 < c < 19$  мм



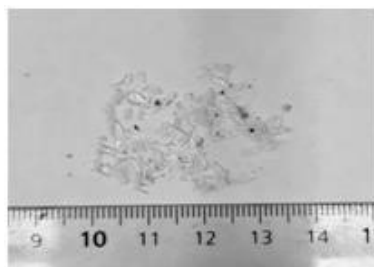
$11 < c < 15$  мм



$7 < c < 11$  мм



$3 < c < 7$  мм



$c < 3$  мм

Рисунок 3.8 – Распределение сколов по размерам

Таблица 3.5 – гранулометрический состав по размерам фрагментов сколов

| Длина фрагмента скола<br>$c$ , мм | Процент содержания, по<br>размерам % |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| $c < 3$                           | 3,30%                                |
| $3 < c < 7$                       | 16,50%                               |
| $7 < c < 11$                      | 28,10%                               |
| $11 < c < 15$                     | 37,10%                               |
| $15 < c < 19$                     | 15,00%                               |

Результаты экспериментальных исследований (таблицы 3.2-3.5) 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 3.9).

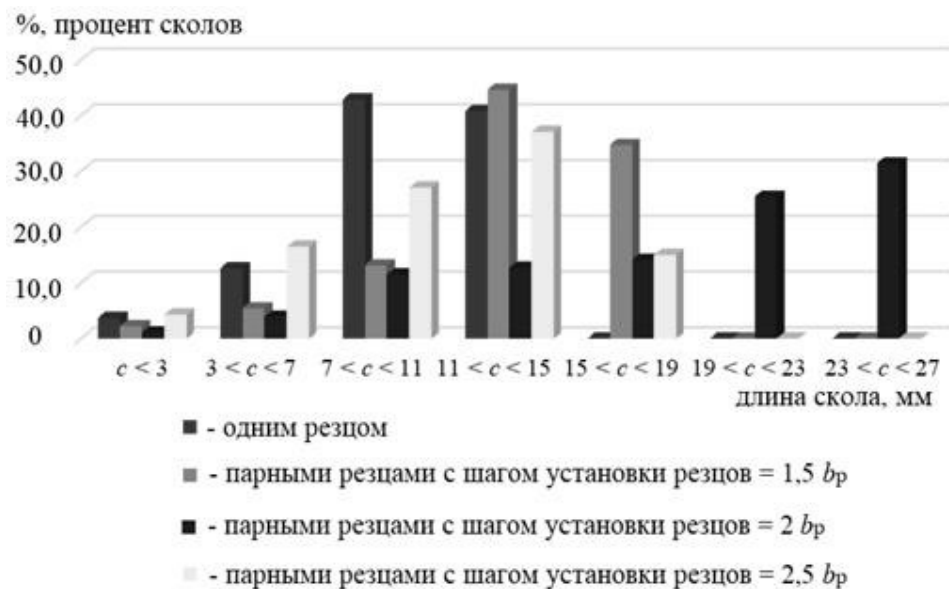


Рисунок 3.9 – Распределение фрагментов сколов по их ширине

Использование парных резцов в процессе резания с образованием сопряженных зон напряжений в массиве обеспечивает увеличение максимальной ширины фрагментов в 1,3-1,8 раза по сравнению с максимальной шириной

фрагментов при резании одним резцом и значительно повышает эффективность процесса резания (рисунок 3.10).

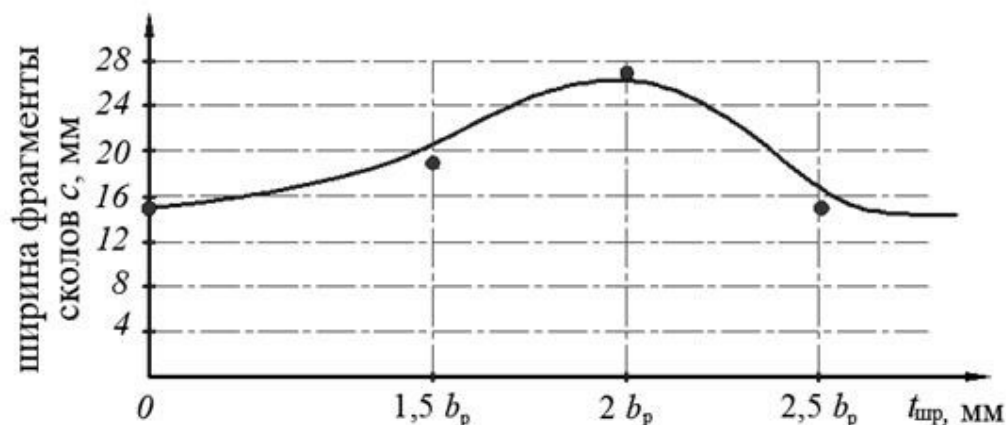


Рисунок 3.10 – Зависимость ширины ( $c$ ) фрагментов скола от шага установки резца ( $t_{шр}$ )

Таким образом, из результатов эксперимента (таблицы 3.2-3.5) можно сделать следующий вывод:

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

### 3.2 Численное моделирование резания угля

Модели, описывающие поведение угля при изменении нагрузок (напряжений), имеют существенные различия как в качественном представлении физики процесса, так и в предоставляемых исходных данных. Принято считать, что наиболее точное описание деструктивных искажений напряжения с физической точки явлений и количественных характеристик дает деформационная модель пластичности. Однако получить качественные исходные данные для использования практически невозможно. Наиболее широко используются несколько моделей деструктивной деформации угля - например,

модель билинейной пластичности, табличная спецификация деструктивных деформаций и ряд других [6, 7, 9, 10, 34, 51, 58, 74, 75, 82, 93, 94]. Но большинство этих моделей не учитывают динамическую изменчивость. Другими словами, не учитывается влияние прочности на предел текучести.

Из известных моделей деструктивной деформации угля наиболее привлекательной является модель Джонсона-Кука, учитывающая как кинетическое упрочнение, так и адиабатический нагрев деформируемого материала. Поэтому с помощью модели Джонсона-Кука необходимо учитывать способность разрушать уголь, сравнивая тем самым с экспериментальными результатами.

В настоящее время разработка надежных и точных методов оценки значений параметров процесса резания горных пород является одним из приоритетных направлений в мировой добыче угля.

При построении этих методов используются результаты экспериментальных исследований и технологии трехмерного компьютерного моделирования. Для моделирования поведения материалов при динамическом нагружении использованы программ ABAQUS. Это приложение требует учета напряженного состояния, скорости деформации, определения параметров и констант динамических свойств материалов и резцов. Кроме того, для проверки адекватности применяемых моделей нужно провести ряд модельных натурных экспериментов. В данной работе в качестве расчетной модели, позволяющей описать поведение исследуемого угля, выбрана модель Джонсона-Кука [93, 94]. Чаще всего это комплексное использование экспериментальных методов и средств для получения необходимой информации о том или ином физическом процессе и численное моделирование с широким охватом рассматриваемых ситуаций.

Чтобы определить процесс разрушения угля, ортогональный разрез был смоделирован с использованием программного обеспечения ABAQUS и модели Джонсона-Кука. Целью моделирования является выявление закономерностей процесса формирования области напряжений в прирезцовой зоне разрушаемого

массива и оценка возможности целенаправленного управления параметрами процесса резания по модели Джонсона-Кука. Моделирование позволяет проверить критерии отказов Джонсона-Кука и характеристики стружкообразования, сил резания, напряжения и деформации. Корреляция между параметрами резания и напряжением была реализована посредством моделирования. Теория напряжения (теория максимальной энергии искажения) была применена для определения максимального напряжения во время токарной обработки при различных режимах резания. Теория напряжения предполагает для пластичных материалов, что предел текучести начинается, когда напряжение достигает определенного предела [91, 99, 105]. Считается, что процесс отделения угля от массива во время операций механической обработки ведет себя аналогично. Метод конечных элементов был применен для моделирования процесса с помощью программного пакета (ABAQUS / Explicit). В этой модели напряжение ( $\sigma$ ) пластической деформации определяется формулой 3.1 [90]:

$$\sigma = (Y + R \cdot \varepsilon_p^n) \cdot (1 + U \cdot \ln(\frac{\varepsilon_p^N}{\varepsilon_0})), \quad (3.1)$$

где  $\varepsilon_p$  – эффективная пластическая деформация;  $Y$ ,  $R$ ,  $U$ ,  $\varepsilon_0$  – параметры модели. Штрих означает производную по времени. Формула (3.1), по сути, представляет собой кривую деформирования угля.

По результатам исследований [53, 72, 73, 90] определены параметры модели угля через эксперименты и формулы, как показано в таблице 3.6:

Таблица 3.6 – Характеристики угля

| Параметры                                                  | Значение                |
|------------------------------------------------------------|-------------------------|
| $\rho$ : плотность                                         | 1352 кг·м <sup>-3</sup> |
| $G$ : модуль сдвига                                        | 0,58 ГПа                |
| $D_1$ : постоянный урон                                    | 0,027                   |
| $D_2$ : константа урона                                    | 1                       |
| $A$ : нормализованная когезионная прочность                | 0,4                     |
| $B$ : нормализованный коэффициент упрочнения под давлением | 0,7                     |
| $C$ : коэффициент деформации                               | 0,05                    |

Продолжение таблицы 3.6

|                                                       |        |
|-------------------------------------------------------|--------|
| $N$ : показатель закалки под давлением                | 0,5    |
| $\sigma_{\text{max}}$ : главное напряжение разрушения | 10 МПа |

### 3.2.1 Численное моделирование резания угля одним резцом

Моделирование строится как трехмерное. Объектом исследования является плита из угля с размерами 80x50x20 мм, при этом толщина среза  $h = 2$  мм (рисунок 3.11).

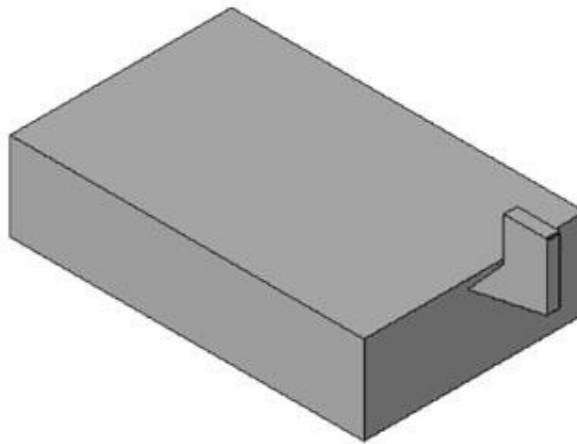


Рисунок 3.11 – Модели резания угля в программе ABAQUS

На рисунке 3.12 показана геометрия резца (ширина режущая кромка резца  $b_p = 3$  мм). Передний угол составляет  $\alpha = 42$  градуса, а задний угол  $\gamma = 12$  градусов, при условии, что режущая кромка инструмента острая без радиуса при вершине. Резец выполнен в виде упругого тела, для исследуемого объекта-это свойство материала режущей детали. Кроме того, не учитывается предполагаемый износ инструмента.

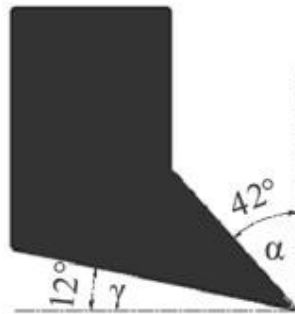


Рисунок 3.12 – Параметры резца

Свойства материала, используемого в обрабатываемой детали, разделены на два вида, в одном из которых свойство повреждения используется с режущим слоем в качестве основного исследуемого объекта, а в другом-нет. Материал, используемый для заготовки, такой же, для угля, используемый для моделей на растяжение, которые показаны в таблица 3.6.

На рисунке 3.13 показаны геометрия и состояние конечно-элементной сетки модели обрабатываемого угля.

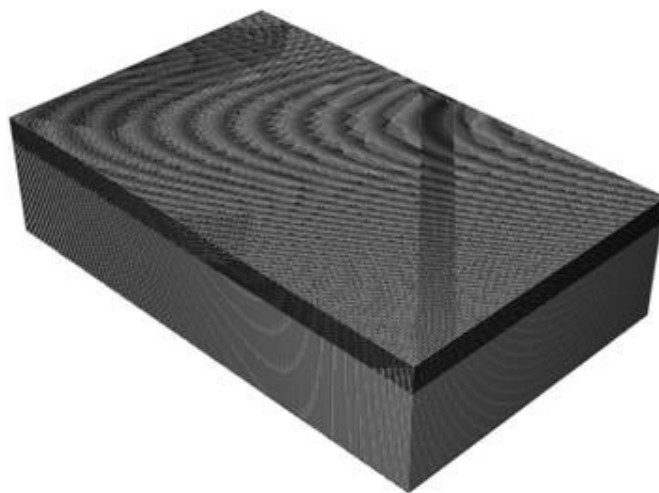


Рисунок 3.13 – Конечно-элементная сетка

На рисунок 3.14 показаны граничные условия для массива угля и резца в моделях резания.

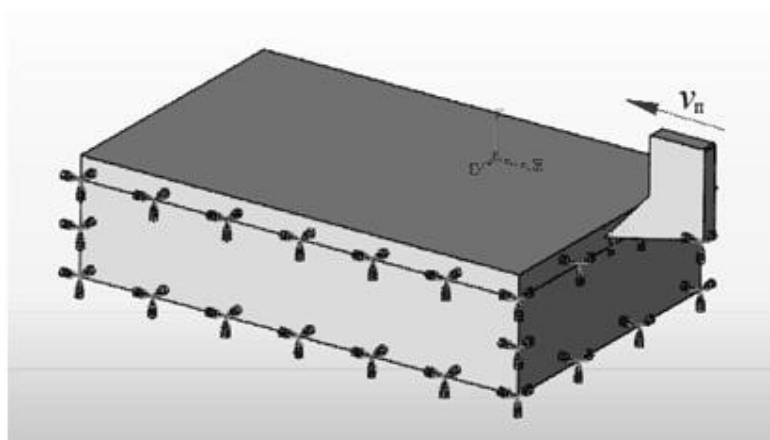


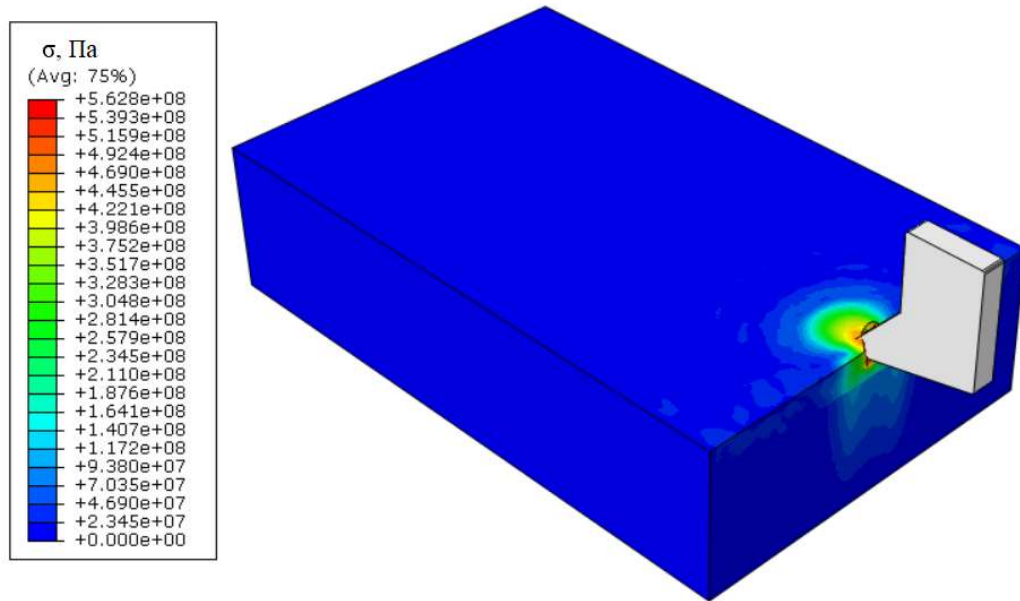
Рисунок 3.14 – Граничные условия разрезаемой модели с одним резцом.

Деталь под режущим слоем заготовки фиксируется. Резец закреплен в вертикальном положении, и ему придается скорость, в горизонтальном

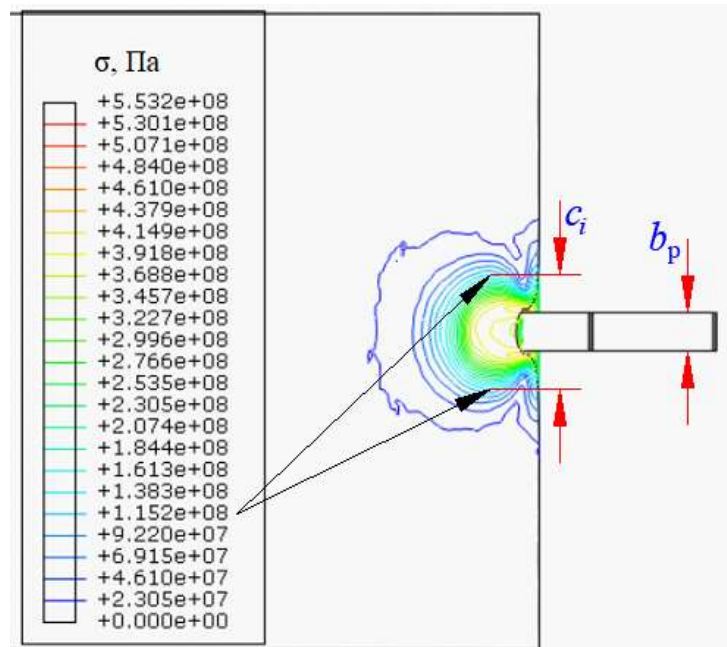


направлении, параллельном исходной верхней поверхности массива. Скорость резания, используемые в моделях резки, составляет  $v_p = 0,08$  м/с. Применяется закон кулоновского трения, коэффициент трения равен  $\mu = 0,22$ . Все остальные контактные пары предполагаются с коэффициентом трения равным 0.

### Результаты численного моделирования



а



б

Рисунок 3.15 – Распределение напряжений при резании одним резцом:

а – зона напряжений в массиве; б – напряжения с изолиниями равных значений

На рисунке 3.15 представлены картины распределения напряжений в массиве угля, полученных численным расчетом. Напряжение распределяется в соответствии с замкнутыми кривыми вокруг резца без перегибов, чем ближе к резцу, тем больше нагрузки (напряжения) в массиве угля.

Следовательно, из формулы 3.1 и рисунка 3.15 по результатам моделирования процесса резания угля следует: в зоне  $\sigma_i = 11,52$  МПа значение напряжения (рисунок 3.15, б) больше, чем значение главного напряжения разрушения угля  $\sigma_{\max} = 10$  МПа (таблица 3.6) [53, 73]. При этом, ширина зоны напряжения больше ширины режущей кромки резца  $b_p$  в 2,81 раза.

На рисунке 3.16 показано изменение силы резания на резце с течением времени за один срез:

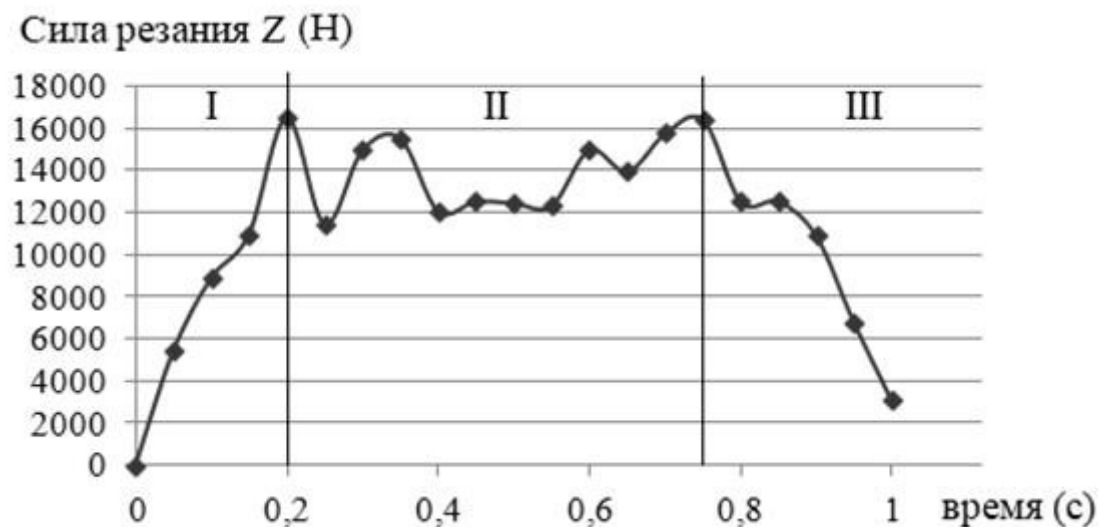


Рисунок 3.16 – силы резания на резце

**зона I** – начало процесса резания, сила резания устойчиво увеличивается и достигает максимального значения  $Z = 16552,9$  Н;

**зона II** – стационарный режим резания: усилие резания изменяется с 16552,9 до 11483,3 Н при неизменном значении оценки математического ожидания;

**зона III** – процесс резания заканчивается, усилие устойчиво снижается от  $Z = 16422,3$  Н до нуля.

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

### 3.2.2 Численное моделирование процесса резания органического стекла при резании парными срезами

При шаге установки резца  $t_{шр} = 1,5 b_p$  (ширины режущей кромки резца).

Подобно моделированию с одним резцом, в этом разделе используются парные резцы. Парные резцы устанавливаются в параллельных сближенных плоскостях вращения, без опережения друг друга с шагом резца  $t_{шр} = 1,5 b_p$  (рисунок 3.17) ширины резца.

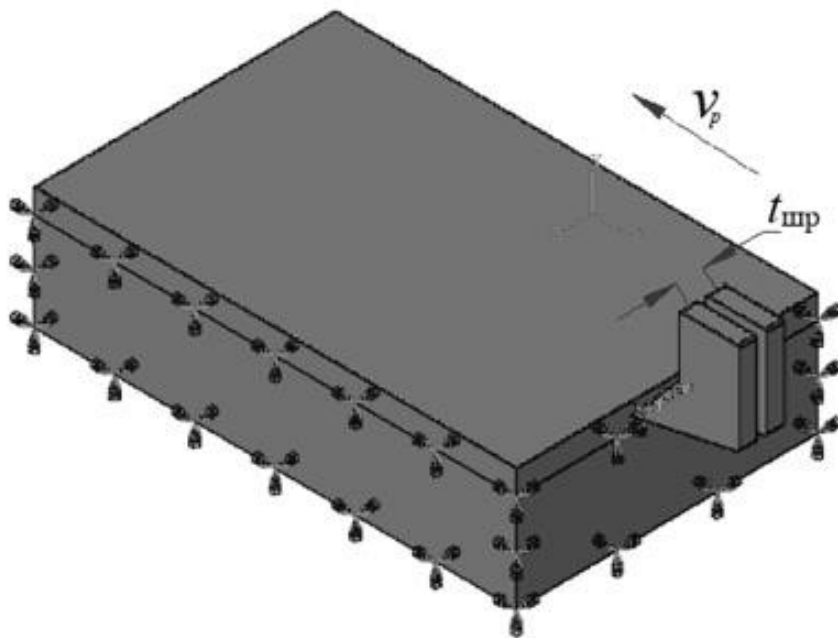


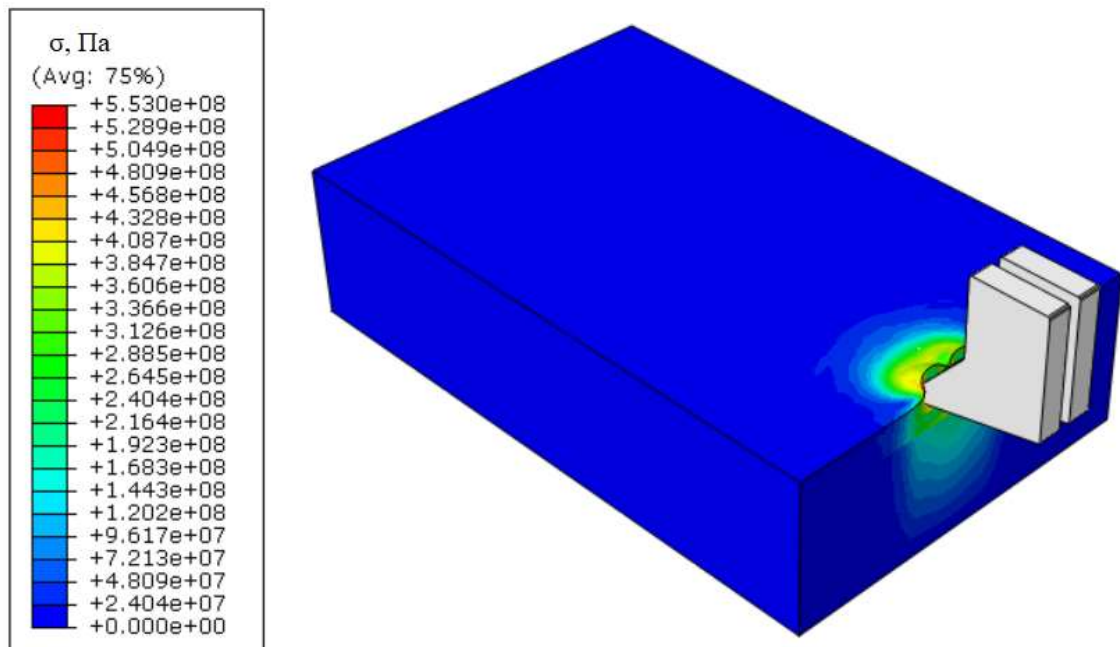
Рисунок 3.17 – Граничные условия разрезаемой модели с парными резцами

#### Результаты численного моделирования

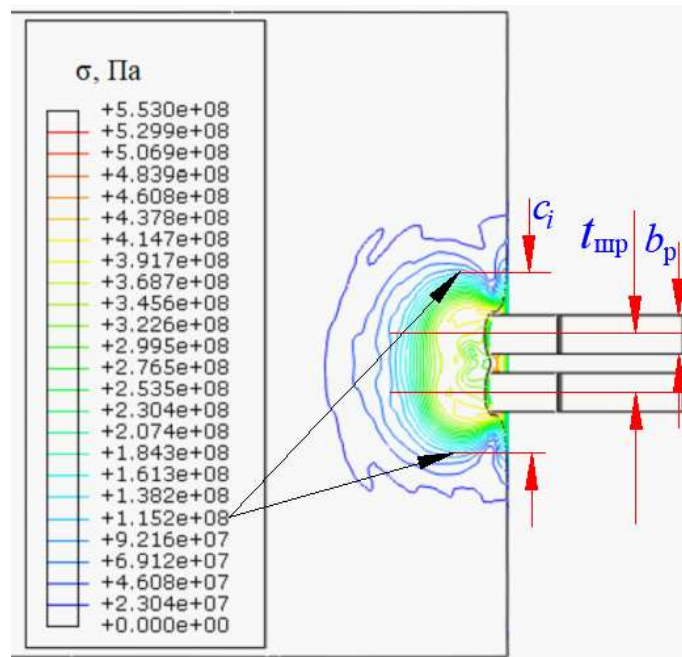
На рисунке 3.18 представлены картины распределения напряжения в массиве при резания угля парными резцами, полученные в численном расчете. Напряжение распределяется в соответствии с замкнутыми кривыми вокруг резца, чем ближе к резцу, тем больше напряжение в массиве.

Из результатов моделирования процесса резания угля (рисунок 3.18) получено: в зоне с  $\sigma_i = 11,52$  МПа (рисунок 3.18, б) напряжение больше, чем значение главного напряжения разрушения угля  $\sigma_{max} = 10$  МПа (таблица 3.6) [53,

73]. При этом, ширина зоны напряжения больше ширины режущей кромки резца  $b_p$  в 2,99 раза и в 1,58 раза при резании одним резцом.



а



б

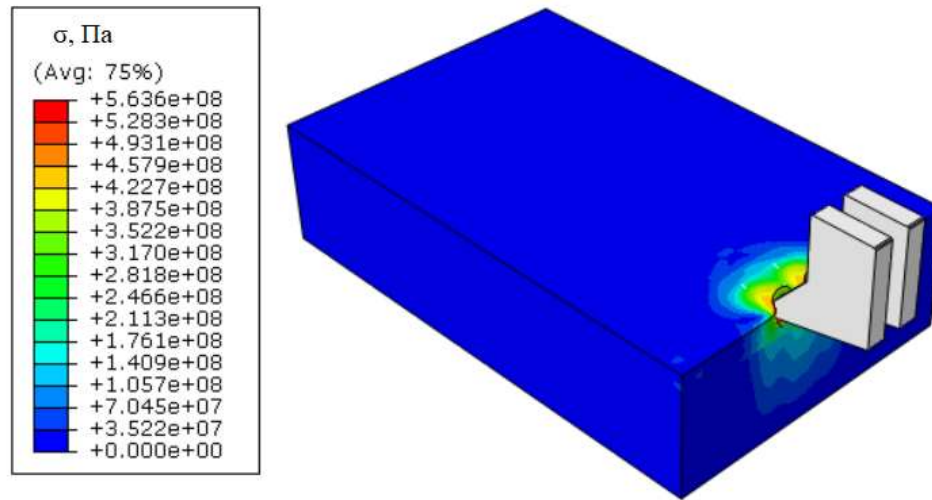
Рисунок 3.18 – Распределение напряжений ( $\sigma$ ) при резании парными резцами

(шаг установки резцов  $t_{шп} = 1,5 b_p$ ):

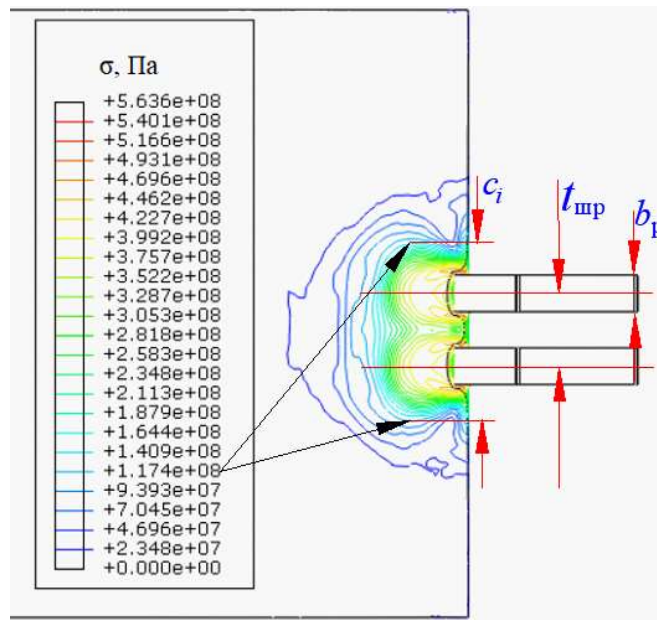
а – зона напряжений в массиве; б – напряжения с изолиниями равных значений

**При шаге установки резцов  $t_{\text{шр}} = 2 b_p$**

На рисунке 3.19 представлены картины распределения напряжений в органическом стекле в массиве полученное в численном расчете. Напряжение распределяется в соответствии с замкнутыми кривыми вокруг резца, чем ближе к резцу, тем больше напряжение в массиве.



а



б

Рисунок 3.19 – Распределение механических напряжений ( $\sigma$ ) при резании парными резцами

(шаг установки резцов  $t_{\text{шр}} = 2 b_p$ ):

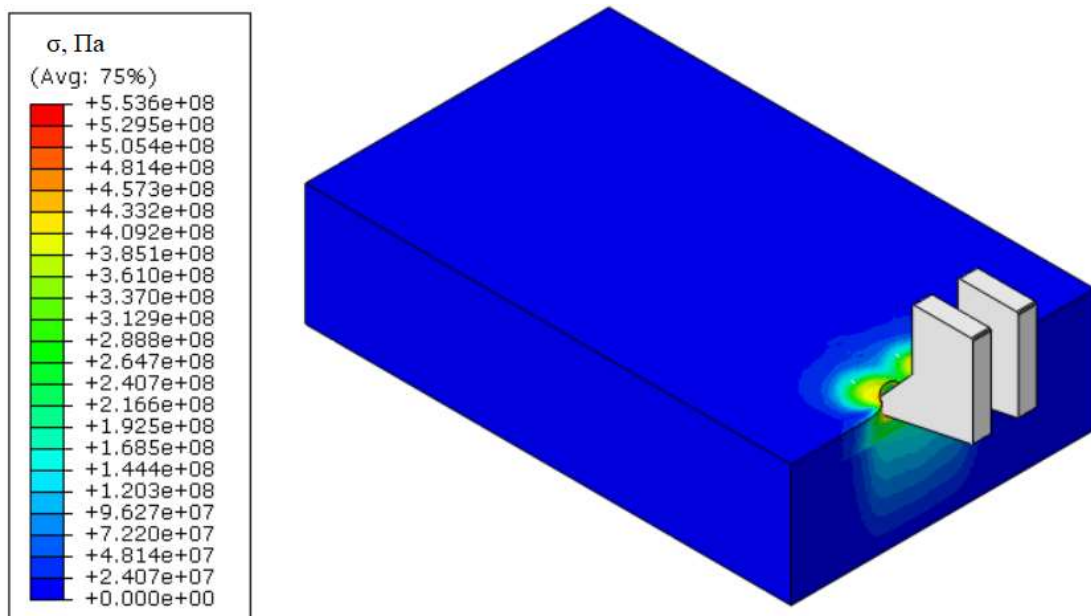
а – зона напряжений в массиве; б – напряжения с изолиниями равных значений

Из рисунка 3.19 результатов моделирования процесса резания угля следует: в зоне  $\sigma_i = 11,74$  МПа значение напряжения (рисунок 3.19, б) больше, чем значение главного напряжения разрушения угля  $\sigma_{\max} = 10$  МПа (таблица 3.6) [53, 73]. При этом, ширина зоны напряжения больше ширины режущей кромки резца  $b_p$  в 4,67 раза и больше в 1,7 раз при резании одним резцом. Линия распределения напряжений представляет собой бесшовную кривую, но начали появляться складки, но не большие, и напряжения в этих местах все еще превышают максимальный предел текучести материала. Если посмотреть на распределение напряжений, то режущие зубья работают очень эффективно, поддерживая друг друга, оказались более эффективными, чем результаты процесса резания с шагом установки рецов  $t_{\text{шр}} = 2b_p$ .

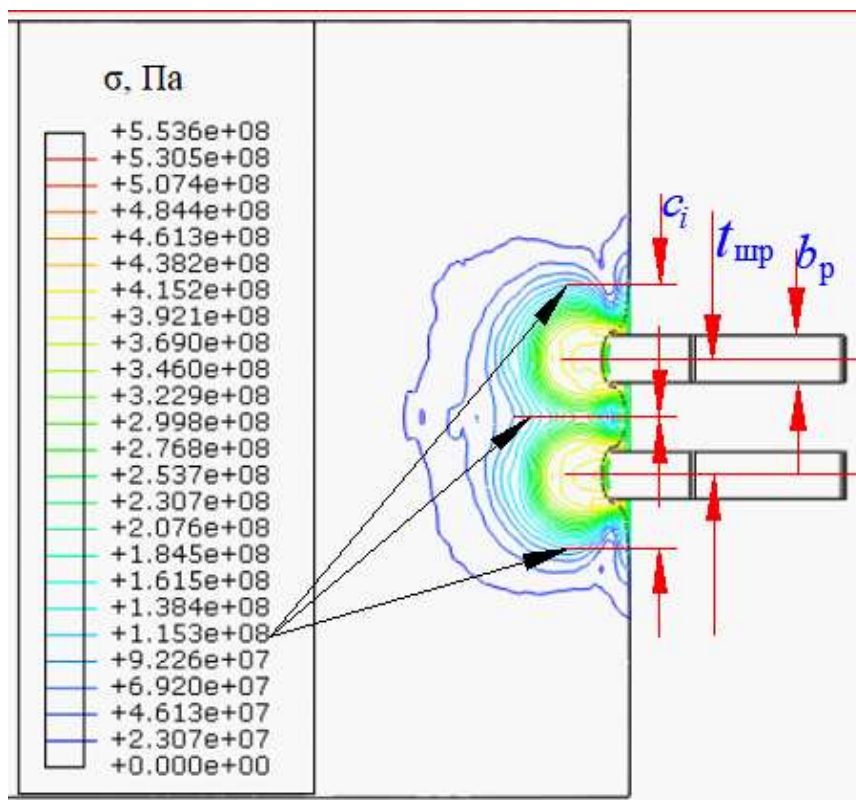
**При шаге установки рецов  $t_{\text{шр}} = 2,5 b_p$ .**

На рисунке 3.20 представлены картины распределения напряжения угля в массиве полученное в численном расчете. Напряжение распределяется в соответствии с замкнутыми кривыми вокруг резца, чем ближе к резцу, тем больше нагрузка в массиве.

Результата моделирования процесса резания угля следует: в зоне  $\sigma_i = 11,53$  МПа значение напряжения (рисунок 3.20, б) больше, чем значение главного напряжения разрушения угля  $\sigma_{\max} = 10$  МПа (таблица 3.6) [53, 73]. При этом ширина зоны напряжения больше ширины режущей кромки резца  $b_p$  в 2,65 раза и меньше в 0,95 раз при резании одним резцом. Общая кривая, отражающая распределение напряжений в массиве между двумя резцами, характерна наличием трещин и напряжениями в этих положениях, меньшими критического напряжения материала. Таким образом, видно, что при расположении режущих парных резцов с шагом установки резцов  $t_{\text{шр}}$  большим в  $2,5 b_p$  они не поддерживают друг друга. Размер фрагментов частиц разрушения значительно уменьшается при резании парными резцами с шагом резания, равным (1,5 и 2,0)  $b_p$  (ширины режущей кромки резца). В небольшой зоне напряжений между двумя резцами образуются более мелких сколы, что увеличивает расход энергии и снижает эффективность процесса.



а



б

Рисунок 3.20 – Распределение напряжений ( $\sigma$ ) при резании парными резцами  
(шаг установки резцов  $t_{шп} = 2,5 b_p$ ):

а – зона напряжении в массиве; б – напряжения с изолиниями равных значений

Длина среза, по направлению скорости резания, одиночного и парного срезов практически не изменяется. В процессе парного среза в массиве образуются сопряжённые зоны распределения напряжений с характерными линиями замкнутых дуг. На рисунке 3.18, 3.19 зоны напряжений объединены изолиниями равных напряжений, что создаёт условия для образования более крупных сколов. Между соседними сопряженными зонами напряжений образуются области, вызывающие появление небольших сколов. При установившемся режиме резания, отличном от эталонного, с постоянной толщиной среза ( $h = 3$  мм), действующие усилия резания и удельные энергозатраты зависят не только от сопротивляемости и показателя степени хрупкости массива, но и от условий осуществления срезов. Поэтому определение усилий резания базируется на величине удельной энергии резания в эталонном режиме. На рисунках 3.16 и 3.23 (по результатам моделирования) представлено изменение сил резания за срез во времени одним резцом и парными резцами с разными шагами резания. При резании парными резцами с шагом установки резцов  $t_{\text{шр}} =$

1,5 и  $2b_p$  силы резания меньше, чем силы при резании одним резцом и силы, полученные при резании парными резцами с шагом установки резцов  $t_{\text{шр}} = 2,5b_p$ .

На рисунке 3.23 представлены силы резания парными резцами с разными шагами установки резцов. Из рисунка 3.23 видно, что сила при резании парными резцами с шагами установки резцов  $t_{\text{шр}} = 1,5$  и  $2 b_p$  меньше, чем при резании с шагом установки резцов  $t_{\text{шр}} = 2,5 b_p$ .

На рисунке 3.23 представлено изменение силы при резании парными резцами с разными шагами установки резцов ( $t_{\text{шр}} = 1,5; 2$  и  $2,5 b_p$ ):

**зона I** – начало процесса резания. Силы резания устойчиво увеличиваются и достигают максимальных значений: при шаге установки резцов  $t_{\text{шр}} = 1,5; 2; 2,5 b_p$  силы достигают соответственно значений  $Z = 13973,3; 13025,5; 20076,5$  Н;

**зона II** – стационарный режим резания:



- при шаге установки резцов  $t_{\text{шр}} = 1,5 b_p$  усилие резания изменяется от 13973,3 до 15233,3 Н при неизменном значении оценки математического ожидания;

- при шаге установки резцов  $t_{\text{шр}} = 2 b_p$  усилие резания изменяется от 13025,5 до 15477,8 Н при неизменном значении оценки математического ожидания;

- при шаге установки резцов  $t_{\text{шр}} = 2,5 b_p$  усилие резания изменяется от 20076,5 до 15477,8 Н при неизменном значении оценки математического ожидания;

**зона III** – процесс резания заканчивается. При шаге установки резцов ( $t_{\text{шр}} = 1,5; 2; 2,5 b_p$ ) усилие от значения величин  $Z = 15233,3; 15477,8; 15477,8$  Н и снижается до нуля.

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

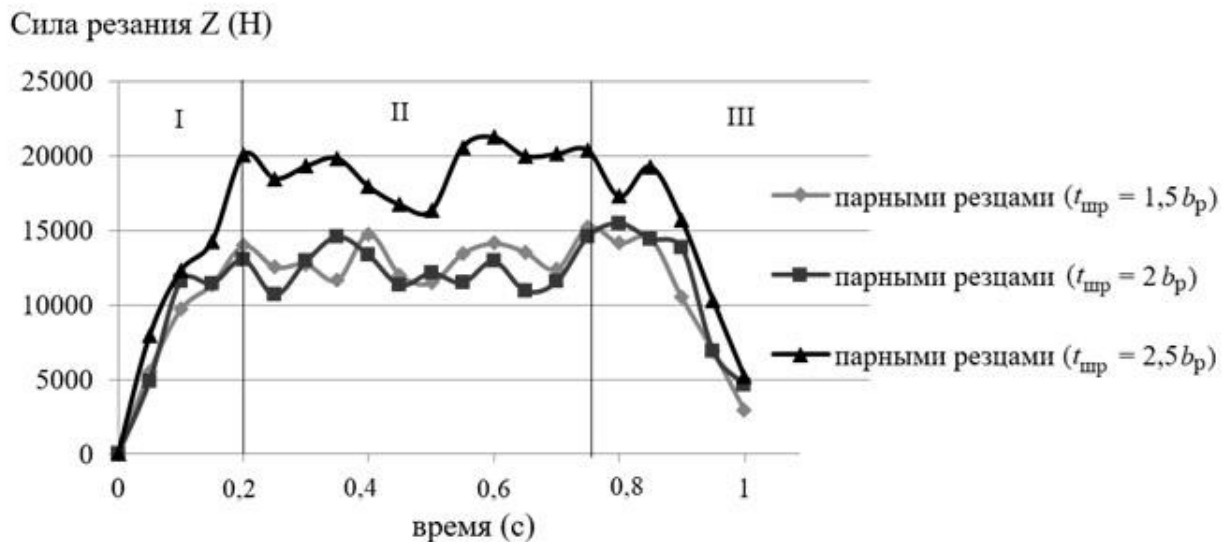


Рисунок 3.23 – силы резания на резцы

Из рисунков 3.10, 3.16 и 3.23 следует что при резании парными резцами с шагом установки  $t_{\text{шр}} = 2 b_p$  силы резания наименьшие, ширина фрагментов сколов наибольшая. Это подвешдает наличие рациональных срезов по уровню их эффективности и возможность выбора рациональных значений параметров парных срезов по сравнению с одиночными и групповыми срезами.

### 3.3 Выводы по главе 3

На основе результатов моделирования и экспериментальных исследований процесса резания органического стекла и угля с использованием программного обеспечения ABAQUS можно сделать следующие общие выводы:

- в процессе отделения породы от массива парными срезами увеличивается выход крупных фракций по сравнению с одиночным срезом;
- при шаге резания  $t_{\text{шр}} = 2 b_p$  образуются фрагменты с наибольшей площадью сколов;
- при использовании парных и групповых срезов возможно образование совмещенных зон напряжений в массиве, обуславливающих увеличение размеров фрагментов сколов в 1,3-1,8 раза;
- при резании породы парными резцами с шагом резания ( $t_{\text{шр}} = 2 b_p$ ) силы резания на отдельном резце меньше, чем при резании одним резцом или парными резцами с шагом резания ( $t_{\text{шр}} = 1,5$  и  $2,5 b_p$ );
- предлагаемые рациональные парные, подрезные и групповые срезы по форме и площади сечений обеспечивают возможность формирования более энергоэффективных последовательно-групповых схем расстановки резцов на шнековых исполнительных органах очистного комбайна.

## ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ ФОРМ СЕЧЕНИЙ СРЕЗОВ

### 4.1 Анализ форм сечений срезов

Ранее экспериментально при резании углей было установлено, что связь между параметрами соседних срезов, осуществляемых резцами ШИО очистных комбайнов, практически отсутствует, а появление передовых выколов и их размеры не связаны с параметрами предшествующих сколов. При этом исследовались используемые в шнековых исполнительных органах последовательные в пространстве и времени срезы. В то же время показано, что существует взаимная связь между параметрами смежных срезов, законы распределения которых описываются гамма-распределением. Средние значения параметров срезов, их коэффициенты вариации и взаимной корреляции зависят от свойств среды, параметров инструмента и режима резания. Следовательно, анализ традиционных схем расстановки резцов на шнековых исполнительных органах (последовательный, шахматный) и срезов не исключают возможность создания новых типов срезов, далее рассматриваемых (подрезных, парных и групповых) и последовательно групповых схем расстановки резцов, которыми будут создаваться взаимозависимые поля напряжений в массиве, обеспечивающие большую эффективность процесса отделения угля от массива.

### 4.2 Последовательный и подрезной срезы

Исследуемые срезы по форме их сечений, условиям среза и по наличию плоскостей обнажения (рисунок 4.1) подобны последовательному срезу. В зависимости от значений толщины ( $h$ ) и ширины ( $t$ ) срезов, их соотношений, а также от расположения поверхностей обнажения разрушаемого массива процесс резания будет протекать в различных условиях [21]. В практике оснащения резцами исполнительных органов очистных комбайнов наиболее часто используются последовательный срез (рисунок 4.1) и последовательная схема расстановки резцов.

Они наиболее исследованы и закономерности, их определяющие, приняты за исходные при поиске и обосновании других типов срезов.

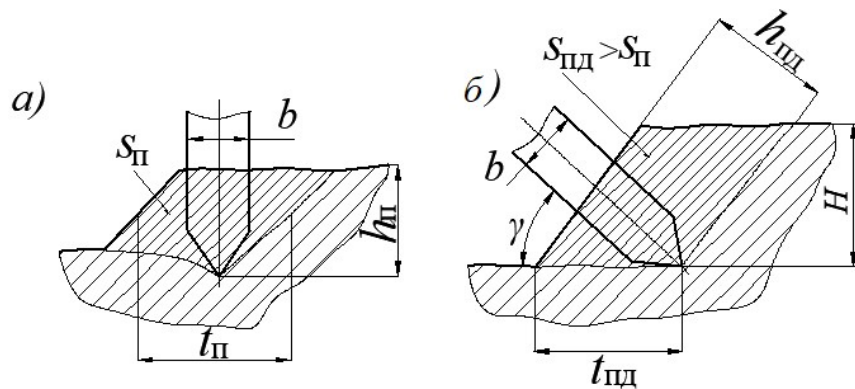


Рисунок 4.1 – Сечения срезов: а – последовательный; б – подрезной

где:  $S_{\Pi}$ ,  $S_{\Pi\Delta}$  – площади сечений срезов;  $h_{\Pi}$ ,  $h_{\Pi\Delta}$  – толщины срезов;  
 $t_{\Pi\Delta}$ ,  $t_{\Pi}$  – ширина срезов;  $b$  – диаметр резца.

Последовательный срез (рисунок 4.1) формируется при перемещении резца вдоль уступа высотой с углублением в массив (уступ) на толщину среза  $h_{\Pi}$  с двумя плоскостями обнажений. Положение оси резца к поверхности забоя по нормали, при этом срез сопровождается односторонним развалом борозды среза, обнажение забоя одностороннее, боковые нагрузки односторонние, по распределению сил-не уравновешен. Поверхность забоя после срезов не является выровненной.

Подрезной срез формируется при перемещении резца вдоль уступа высотой  $H$  с двумя плоскостями обнажений и наклоне оси резца к поверхности забоя под углом  $\gamma$  (рисунок 4.1, б), близким к  $90^0$ , сопровождается односторонним развалом борозды среза. Поверхность забоя после срезов не является выровненной. Высота уступа  $H$  может быть несколько большей, чем толщина последовательного среза ( $t_{\Pi}$ ) (рисунок 4.1 а, б), а удельный расход энергии ( $H_w$ ) несколько меньший, чем удельный расход энергии при последовательном срезе.

#### 4.3 Обоснование парных и групповых срезов и последовательно- групповой схемы расстановки резцов на шнековых исполнительных очистных органах

Результаты проведенных исследований позволили сформулировать гипотезу: «при осуществлении смежными резцами исполнительного органа подрезных, парных и групповых срезов в около резцовых зонах массива могут быть

образованы совмещенные локальные критические области напряжений, обеспечивающие, при существующих ограничениях по радиальному вылету резцов, отделение угля от массива срезами большей ширины и площади сечений и, следовательно, снижение удельного расхода энергии и объёмов мелких классов угля и пыли, образуемых в процессе резания» [17, 55].

Парный срез (рисунок 4.2) формируется двумя одинаковыми по размеру сближенными резцами, установленными без опережения и параллельно друг другу.

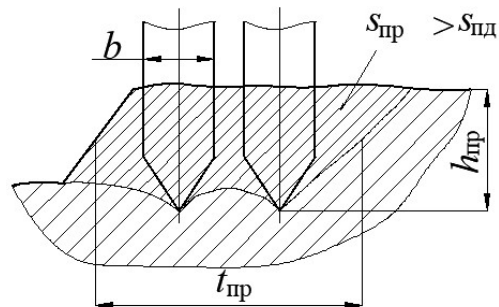


Рисунок 4.2 – Сечения парного среза:  $S_{пр}$  – площадь сечений парного среза;  $h_{пр}$  – толщина парного среза;  $t_{пр}$  – ширина парного среза.

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 ( $S_{пр}$ ) по углю (4.1-4.2):

при  $h \geq 1$  см:

$$t_{пр} = t_{опт} \cdot K_{пр} = (1,25 \cdot h + b_p + 1,25) \cdot K_x \cdot K_{пр} \quad (4.1)$$

$$S_{пр} = h \cdot (1,25 \cdot h + b_p + 1,25) \cdot K_x \cdot K_{пр} \quad (4.2)$$

где  $t_{опт}$  – оптимальный 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 [4].

Дальнейшее увеличение сечения среза может быть достигнуто групповыми срезами (рисунок 4.3), формируемыми группами резцов, обеспечивающими совмещенные срезы в целесообразной последовательности во времени и по площади забоя.

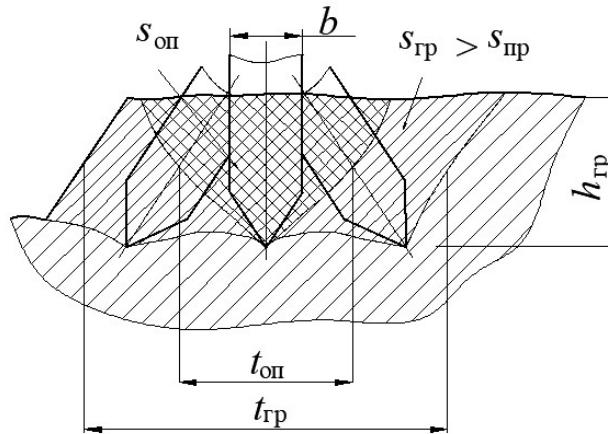


Рисунок 4.3 – Парный сечения среза

где:  $S_{гр}$  – площадь сечений группового среза;  $h_{гр}$  – толщина группового среза;  
 $t_{гр}$  – ширина группового среза;  $t_{оп}$  – ширина опережающего среза.

Условия среза характеризуются наличием, как правило, двух поверхностей обнажений. Срез сопровождается односторонним или двусторонним развалом борозды среза, в зависимости от схемы расстановки резцов на исполнительном органе, 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 (4.3-4.4):

при  $h \geq 1$  см:

$$t_{гр1} = (t_{опт} + 2t_{нд}) \cdot K_{гр} = (1,25 \cdot h + b_p + 1,25 + 2h \cdot \operatorname{tg} \psi) \cdot K_x \cdot K_{гр} \quad (4.3)$$

$$S_{гр1} = h \cdot (1,25 \cdot h + b_p + 1,25 + 2h \cdot \operatorname{tg} \psi) \cdot K_x \cdot K_{гр} \quad (4.4)$$

где:  $t_{гр1}$  – ширина группового среза, мм;  $K_{гр}$  – коэффициент ширины группового среза;  $h$  – толщина среза;  $\psi$  – 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 шнековых исполнительных органах (рисунок 4.4) [20, 60], лопасти которого оснащены специальными резцедержателями для групповых резцов,

расположенных с резцедержателями для резцов в чередующихся плоскостях вращения. Дополнительные резцедержатели 3 выполнены с четырьмя гнездами для установки группы резцов, причем опережающее гнездо парных резцов 4 выполнено для установки в параллельных плоскостях вращения сближенных, без опережения друг друга, парных резцов 7. Последующие левый резец 8 и правый резец 9 установлены в гнезде левого резца 5 и в гнезде правого резца 6 (рисунок 4.4, а) нормально к соответствующим боковой левой поверхности борозды парного среза 14 (рисунок 4.4, в) и боковой правой поверхности борозды парного среза 15 (рисунок 4.4, г) опережающего парного среза 10 (рисунок 4.4, б) и с отставанием от опережающего резца не менее чем на половину радиального вылета резца.

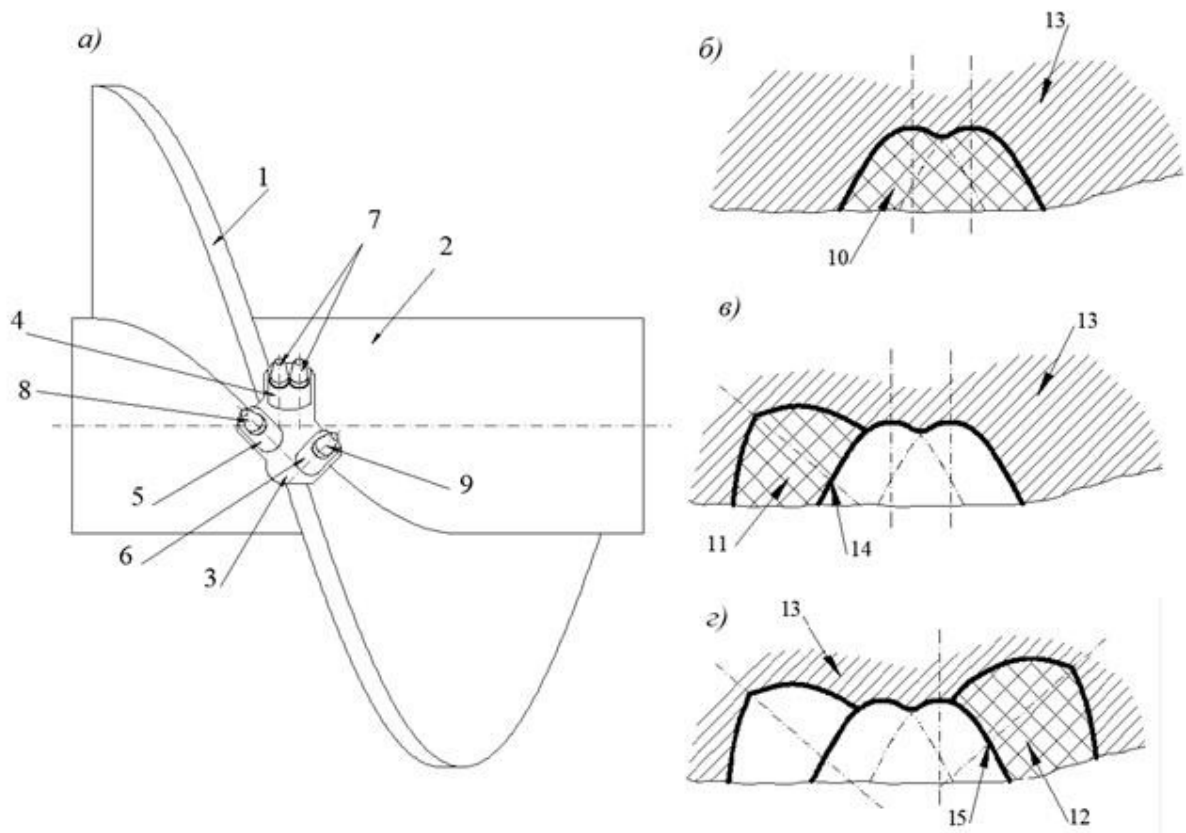


Рисунок 4.4 – Схемы установки резцов на лопасти (а) и ступени формирования сечения группового среза (б, в, г)

Совместное использование энергоэффективных парного опережающего и двух подрезных срезов, образующих групповой срез второй ступени с общим

полем напряжений в подрезцовом пространстве массива, создает 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 шнековых исполнительных органов (4.5-4.6):

$$t_{гр2} = (t_{пр} + 2t_{нд}) \cdot K_{гр} = 2((1,25 \cdot h + b_p + 1,25) + h \cdot tg\psi) \cdot K_x \cdot K_{гр} \quad (4.5)$$

$$S_{гр2} = h \cdot ((1,25 \cdot h + b_p + 1,25) + 2h \cdot tg\psi) \cdot K_x \cdot K_{гр} \quad (4.6)$$

Использование энергоэффективных подрезных, парного и группового срезов с общим для каждого полем напряжений в подрезцовом пространстве массива, создающих благоприятные условия для скалывания целиков тангенциальными резцами, позволяют уменьшить пылеобразование, выход мелких классов угля и удельный расход энергии, улучшить гранулометрический состав добываемого угля и снизить ограничение по производительности. Техничко-экономическая эффективность технического решения заключается: в увеличении выхода крупных фракций в процессе добычи угля шнековыми очистными комбайнами; в снижении удельного расхода энергии, интенсивности пылеобразования и выхода мелких классов в процессах отделения угля от массива забоя шнековыми исполнительными органами очистных комбайнов; в увеличении толщины среза и шага расстановки резцов на исполнительных органах; в увеличении площади сечения срезов использованием эффекта парности сколов и формированием групповых и комбинированных срезов.

Предлагается устройство шнекового исполнительного органа на рисунке 4.5:

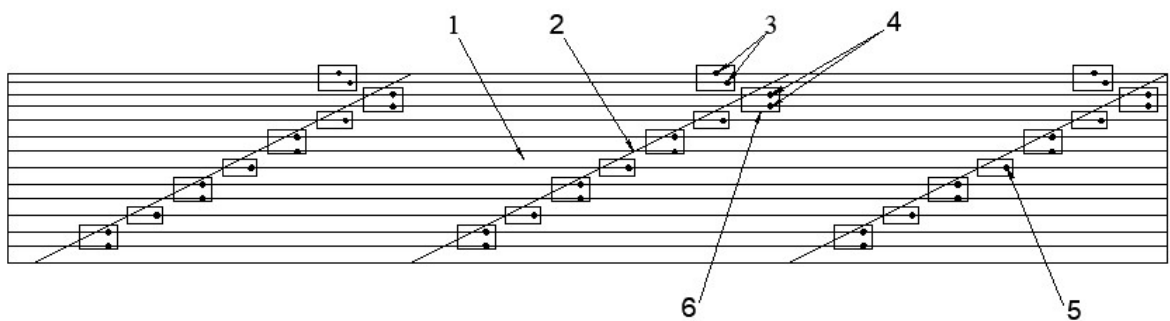


Рисунок 4.5 – Схема расстановки резцов на исполнительном органе



Исполнительный орган очистного комбайна включает горизонтальный цилиндрический барабан 1 (рисунок 4.5), на котором жестко закреплены винтовые лопасти 2. На винтовых лопастях в забойной части исполнительного органа жестко закреплены резцедержатели 6 (рисунок 4.5), в которые установлены тангенциальные парные поворотные сближенные резцы 4 без опережения друг друга и с возможностью поворота резцов вокруг их продольных осей. На винтовых лопастях 2, между резцедержателями с тангенциальными парными поворотными сближенными резцами 4 в забойной части исполнительного органа, жестко закреплены резцедержатели, в каждом из которых установлены нормально к открытой поверхности подрезной правый резец от них, перпендикулярной к оси вращения цилиндрического барабана. На винтовых лопастях 2 в угловой зоне исполнительного органа жестко закреплены резцедержатели, в которые установлены парные сближенные угловые левые резцы 3 нормально к левой плоскости вращения от них.

Каждый из угловых левых резцов 3 и подрезных правых резцов 5 направлены в борт образуемых на поверхности массива 9 межрезцовых целичков 10 (рисунок 4.6), погашаемых в каждом технологическом цикле обработки забоя, образуемых между парными сближенными срезами, что обеспечивает получение крупно-среднего скола.

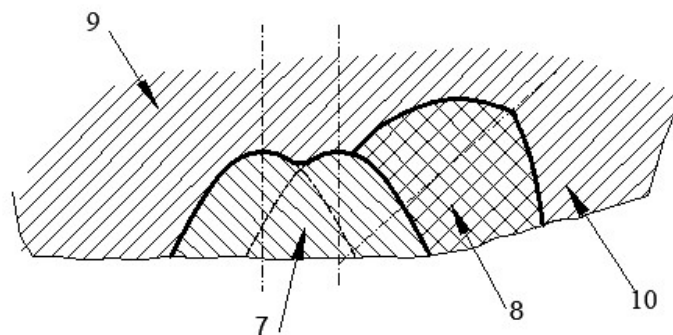


Рисунок 4.6 – Схема формирования группового сечения среза резцами забойной группы

Исполнительный орган очистного комбайна работает следующим образом. В стационарном режиме работы по выемке угля под действием сил подачи и момента вращения цилиндрический барабан 1 исполнительного органа комбайна

совершает вращательное и поступательное движения. При этом резцы шнекового исполнительного органа комбайна, установленные в резцедержателях 6, жестко закрепленных на винтовых лопастях 2 исполнительного органа комбайна, совершают в призабойном пространстве движение по гипоциклоидным траекториям, при этом периодически взаимодействуют с угольным массивом 9 (рисунок 4.6), осуществляя срезы серпообразной формы. Парные сближенные резцы 4 осуществляют парные срезы 7 (рисунок 4.6) и, при дальнейшем вращении шнека, подрезной правой резец 5 и угловые левые резцы 3, направленные в борт образуемых на поверхности массива 9 межрезцовых целичков 10, осуществляют единственный подрезной правый срез 8 (рисунок 4.6) и подрезной парный левый срез 11 (рисунок 4.7). Подрезной правый срез 8 и подрезной парный левый срез 11 обеспечивают увеличение площади сечений срезов по сравнению с типовыми последовательными срезами, что обуславливает снижение удельного расхода энергии и повышение выхода частиц крупно-среднего класса в каждом срезе. Установка подрезных правых резцов 5 направленных в борт межрезцовых целичков, и угловых левых резцов 3 обеспечивает увеличение при разрушении массива 9 ширины межрезцовых целичков за счет расположения скальвателей под оптимальным углом, снижение энергоемкости разрушения, улучшение гранулометрического состава добываемого угля и производительности комбайна.

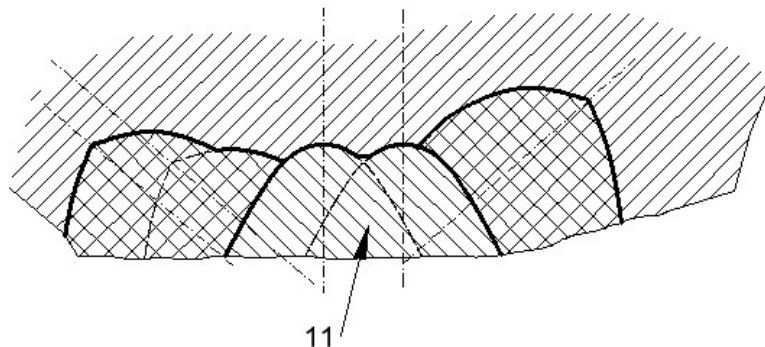


Рисунок 4.7 – схема формирования сечения среза в угловой зоне

Использование энергоэффективных подрезного, парного и группового срезов с общим для каждого из них полем напряжений в около резцовом

пространстве массива создает благоприятные условия для скалывания тангенциальными резцами целичков с большей площадью сечений срезов, что обуславливает уменьшение пылеобразования, выход мелких классов угля, снижение удельного расхода энергии, улучшение гранулометрического состава добываемого угля и увеличивает максимально возможную производительность. [22].

Предложенные парные, подрезные и групповые типы срезов и последовательные групповые схемы расстановки резцов на шнековых исполнительных органах обеспечивают увеличение площади сечения срезов и улучшение гранулометрического состава угля, снижение удельного расхода энергий и пылеобразования, что повышает эффективность использования очистного комбайна со шнековыми исполнительными органами.

Технико-экономическая эффективность предложенных технических решений в процессе добычи угля шнековыми исполнительными органами достигается повышением гранулометрического состава угля увеличением площади сечения срезов за счет эффекта парности срезов, подрезных и групповых срезов.

#### **4.4 Выводы по главе 4**

1. Повышение эффективности процесса отделения угля от массива достигается использованием подрезных, парных и групповых срезов со сближенными резцами, создающими общее поле напряжений, увеличивающих площадь сечений срезов и объем последовательных элементарных сколов.

2. Увеличение сечения и объемов элементарных срезов обеспечивают снижение удельного расхода энергии, выхода мелких классов и пылеобразования.

3. Последовательно-групповая схема расстановки резцов на шнековых исполнительных органах обеспечивает возможность интенсификации процесса отделения угля от массива и повышение максимально возможной производительности очистных комбайнов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи - обоснование структуры и параметров шнековых исполнительных органов 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 исполнительными органами 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,

повышения эффективности разрушения хрупких пород при отделении их от массива и сужение 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 и схем расстановки резцов.

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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ШИО – шнековый исполнительный орган;

ГРИ – горный рабочий инструмент;

КМОЗ – комплексно-механизированный очистного забоя;

$A$  – мощность энергии, потребляемой электродвигателями комбайна при значении скорости подачи, стремящейся к нулю, кВт;

$B$  – приращение мощности энергии, потребляемой электродвигателями комбайна,

с увеличением скорости подачи на 1 м/мин,  $\frac{\text{кВт}}{\text{м/мин}}$ ;

$B_3$  – ширина захвата исполнительного органа, м;

$b$  – диаметр резца, мм;

$b_k$  – конструктивная ширина режущей части резца, мм;

$c$  – ширина фрагмента скола, мм;

$D$  – диаметр исполнительного органа по режущим кромкам резцов, м;

$d$  – диаметр частиц (кусков) угля, м;

$E$  – модуль упругости (модуль Юнга), МПа;

$e$  – превышение верхней точки резцедержателя над серединой его гнезда в месте заделки резца, мм;

$H_w$  – удельный расход энергии, кВт·ч/т;

$v_n$  – скорость подачи, м/мин;

$h_o$  – толщина среза, см;

$h_{\text{опт}}$  – оптимальная толщина среза, см;

$h_{\text{max}}$  – максимальная толщина стружки, см;

$h_{\text{min}}$  – минимальная толщина среза, см;

$v_p$  – скорость резания, м/мин;

$P$  – мощность энергии, потребляемой из сети двигателями привода резания комбайна, кВт;

$Q$  – производительность выемочной машины, т/час;

$H$  – мощность пласта, м;

$\gamma$  – плотность угля в массиве, т/м<sup>3</sup>;

$S_1, S_2$  – площадь сечения;

$\varphi$  – угла положения резца, град;

$\varphi_i$  – текущее значение угла положения резца, град;

$z$  – число резцов в линии резания, шт;

$n$  – частота вращения исполнительного органа, об/мин;

$t_{\text{шр}}$  – шаг установки резцов, см;

$t_{\text{опт}}$  – оптимальные шаги резания, мм;

$t_6$  – область блокированный шага резания, мм;

$N_o$  – количество основных признаков качества, шт;

$N_{\text{всп}}$  – количество вспомогательных признаков качества, шт;

$N_{\text{вн}}$  – количество признаков качества, формируемых внешними элементами, шт;

$l_p$  – радиальный вылет инструмент, см;

$m_k$  – ширина резцедержателя в месте возможного контакта с поверхностью резания, см;

$\psi$  – минимальная величина угла бокового развала, град;

$\Delta$  – высота контакта боковых граней резца с углом, см;

$S_{\text{ср}}$  – площадь сечения среза, м<sup>2</sup>;

$P_{\text{ср}}$  – мощность потока энергии, кВт;

$\lambda$  – степени измельчения, мм;

$\delta(0)$  – дельта-функция, характеризующая появление нулевых значений усилий резания;

$f_1(Z)$  и  $f_2(Z)$  – функции распределения соответственно на участках резания угля и про резания твердых включений;

$n_{\text{об}}$  – частота вращения исполнительного органа, об/мин;

$v_{\text{п. max}}$  – максимальная скорость подачи, м/мин;

$v_{\text{п. min}}$  – минимальная скорость подачи, м/мин;

$\sigma$  – предел прочности при растяжении (+23 °С), МПа;

$\sigma_{\text{max}}$  – напряжение разрушения, МПа;

$K_{\text{п}}$  – коэффициент Пуассона;

$q$  – коэффициент концентрации напряжений;



$r$  – радиус вершины трещины, мм;

$\sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{21}, \sigma_{23}, \sigma_{31},$  и  $\sigma_{32}$  – напряжения сдвига, МПа;

$\varepsilon_p$  – эффективная пластическая деформация, кг/мм;

$G$  – модуль сдвига, ГПа;

$D_1$  – постоянный урон;

$D_2$  – константа урона;

$Y$  – нормализованная когезионная прочность;

$R$  – нормализованный коэффициент упрочнения под давлением;

$C$  – коэффициент деформации;

$U$  – показатель закалки под давлением;

$t_{\Pi}$  – ширина последовательного среза, мм;

$K_{\Pi p}$  – коэффициент ширины парного среза;

$S_{\Pi}$  – площадь сечения последовательного среза, м<sup>2</sup>;

$S_{\Pi d}$  – площадь сечения подрезного среза, м<sup>2</sup>;

$S_{\Pi p}$  – площадь сечения парного среза, м<sup>2</sup>;

$S_{\Pi o}$  – площадь сечения опережающего среза, м<sup>2</sup>;

$S_{\Pi r}$  – площадь сечения группового среза, м<sup>2</sup>;

$h_{\Pi}$  – толщина последовательного среза, см;

$h_{\Pi d}$  – толщина подрезного среза, см;

$h_{\Pi p}$  – толщина парного среза, см;

$h_{\Pi r}$  – толщина группового среза, см;

$t_{\Pi d}$  – ширина подрезного среза, см;

$t_{\Pi o}$  – ширина опережающего среза, см;

$t_{\Pi r}$  – ширина группового среза, см.

### Список литературы

1. **Аксенов, В.В.** Геовинчестерная технология проведения горных выработок / В.В. Аксенов // – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН. 2004. – 264 с.
2. **Александров, А.Я.** Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела / А.Я. Александров, М.Х. Ахметзянов // – М.: Наука. 1973. – 576 с.
3. **Аршавский, В.В.** Промышленная проверка добычи ангидрита с применением проходческого комбайна 4ПП-2 в условиях рудника «Ангидрит» Норильского ГМК / В.В. Аршавский, С.Г. Зберовский // Горный журнал. 2000. – №2. – С.33–35.
4. **Барон, Л.И.** Коэффициенты крепости горных пород / Л.И. Барон // – М.: Наука. 1972. – 176 с.
5. **Берман, В.М.** Исследование и создание систем привода горных машин с турбомуфтами и объемными гидропередачами: Докт. дисс. / В.М. Берман // – М., ИГД им. А.А. Скочинского. 1971. – 433 с.
6. **Берон, А.И.** Резание угля / А.И. Берон, А.С. Казанский, Б.М. Лейбов, Е.З. Позин // – М.: Госгортехиздат. 1962. – 439 с.
7. **Берон, А.И.** Свойства горных пород при разных видах и режимах нагружения / А.И. Берон, Е.С. Ватолин, Е.И. Койфман // – М.: Недра. 1983. – 276 с.
8. **Бобров, В.Л.** Повышение износостойкости тангенциальных резцов проходческих комбайнов совершенствованием термической обработки при их изготовлении / В.Л. Бобров // – дис. канд. техн. наук: 05.05.06. – СПб. 2012. – 128 с.
9. **Богатов, А.А.** Ресурс пластичности металлов при обработке давлением / А.А. Богатов, О.И. Мижирицкий, С.В. Смирнов // – М.: Metallurgia. 1984. – 144 с.
10. **Боткин, А.В.** Научно-методические основы проектирования процессов углового прессования / А.В. Боткин // – Дисс. д.т.н. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет. 2013. – 282 с.
11. **Братченко, Б.Ф.** Угольная промышленность США. / Б.Ф. Братченко, В.Н. Хорин // – М.: Недра. 1971. – 312 с.
12. **Буевич, В.В.** Совершенствование исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов «Урал» / В.В. Буевич, Н.В. Чекмасов, Д.И. Шишлянников, В.В. Габов // Известия вузов Горный журнал. 2016. – № 4. – С. 52–55.
13. **Вернер, В.Н.** Исследование и обоснование рациональных параметров шнековых погрузочно-транспортирующих органов выемочных машин / В.Н. Вернер // – дис. ...доктора. техн. наук. Кемерово. 1999. – 319 с.
14. **Габов, В.В.** Особенности формирования элементарных сколов в процессе резания углей и изотропных материалов эталонным резцом горных машин / В.В. Габов, Д.А. Задков, Линь Нгуен Кхак // Записки горного института. 2019. Т. 236. – С. 153-161. DOI: 10.31897/PMI.2019.2.153.

15. **Габов, В.В.** Анализ измечения угля при добыче на шахтах Воркуты / В.В. Габов, А.А. Банников // Горное оборудование и электромеханика. 2011. – №2. – С. 9 – 12.
16. **Габов, В.В.** Исследование процесса формирования элементарных сколов при разрушении калийных солей перекрестными резами / В.В. Габов, Н.В. Чекмасов, А.Я. Бурак, Д.И. Шишлянников // Горное оборудование и электромеханика. 2011. – № 8. – С. 42–43.
17. **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.
18. **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 ВР Кубачека». 2019. – С. 111-114.
19. **Габов, В.В.** Особенности эксплуатации проходческих комбайнов на шахтах ОАО «Воркутауголь» / В.В. Габов, Д.А. Задков, ЛыковЮ.В., А.И. Гурымский, С.И. Шпилько // Горное оборудование и электромеханика. 2008. – №12. – С. 2-6.
20. **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.
21. **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.
22. **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.Д. Ключник, Д.Ч. До // Горный информационно аналитический бюллетень. 2020. – №4. – С. 3-14.
23. **Гетопанов В.Н.** Горные и транспортные машины и комплексы / В.Н. Гетопанов, Н.С. Гудилин, Л.И. Чугреев // – М.: Недра. 1991. – 305 с.
24. **Дворников, Л.Т.** Новые конструкции радиальных резцов, армированные сверхтвёрдым композиционным материалом, и технические средства для оценки их эффективности / Л.Т. Дворников, В.А. Корнеев, С.М. Никитенко, П.Д. Крестовоздвиженский // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении. 2017. – 99-106.
25. **Докукин, А.В.** Аналитические основы динамики выемочных машин / А.В. Докукин, Ю.Д. Красников, З.Я. Хургин // – М., Наука. 1966. – 160 с.
26. **Докукин, А.В.** Выбор параметров выемочных машин / А.В. Докукин, А.Г. Фролов, Е.З. Позин // – М. Наука. 1976. – 144 с.

27. **Докукин, А.В.** Динамические процессы горных машин / А.В. Докукин, Ю.Д. Красников, З.Я. Хургин, и др. // – М.: Наука 1972. – 212 с.
28. **Докукин, А.В.** Исследование и оптимизация гидropередач горных машин / А.В. Докукин, В.М. Берман, А.Я. Рогов, и др. // – М.: Наука. 1987. – 256 с.
29. **Докукин, А.В.** Статистическая динамика горных машин / А.В. Докукин, Ю.Д. Красников, З.Я. Хургин // – М.: «Машиностроение». 1978. – 239 с.
30. **Жабин, А.Б.** Оценка влияния абразивности горных пород на параметры породоразрушающих машин / А.Б. Жабин, А.В. Поляков, Е.А. Аверин, Ю.Н. Линник, В.Ю. Линник // Записки Горного института. 2019. Т. 240. – С. 621-627.
31. **Жабин, А.Б.** Состояние научных исследований в области разрушения горных пород резцовым инструментом на рубеже веков / А.Б. Жабин, А.В. Поляков, Е.А. Аверин, В.И. Сарычев // Известия Тульского государственного университета Науки о земле. 2018. – № 1. – С. 230–247.
32. **Задков, Д.А.** Способ отделения угля от массива при отработке трещиновато-слоистых угольных пластов / Д.А. Задков, А.А. Банников, Д.И. Шишлянников, К.П. Талеров, К.А. Головин // Горное оборудование и электромеханика. 2012. – № 2. – С. 30-33.
33. **Захаров, В.Н.** Зависимость проницаемости угольного пласта от газосодержания и действующих напряжений / В.Н. Захаров, О.Н. Малинникова, В.А. Трофимов, Ю.А. Филиппов // 2016. – №2. – С. 16-25.
34. **Иванов, К.М.** Математическое моделирование процессов обработки давлением / К.М. Иванов, А.В. Лясников, Л.А. Новиков, Э.Е. Юргенсон // – СПб.: Инвентекс. 1977. – 268 с.
35. **Козлов, С.В.** Основные проблемы технического переоснащения угольных шахт России. / С.В Козлов // – Москва. 1998. – 70 с.
36. **Колмогоров, В.Л.** Напряжения деформации разрушение / В.Л. Колмогоров // – М.: Металлургия. 1970. – 229 с.
37. **Крестовоздвиженский, П.Д.** Некоторые результаты наблюдений за работой очистных комбайнов на шахтах Кузбасса / П.Д. Крестовоздвиженский // Горный информационно-аналитический бюллетень – МГГУ – Москва. 2009. – Вып.6. – С. 121-124.
38. **Леванковский, И.А.** Расчет износостойкости поворотных резцов при работе проходческих комбайнов / И.А. Леванковский // Разрушение горных пород и композиционных материалов поворотными резцами: Сб научных трудов М: АГН. 1998. – Вып.1. – С.110-128.
39. **Линник, В.Ю.** Повышение эффективности функционирования шнековых исполнительных органов очистных комбайнов в различных условиях применения. Автореферат канд. дисс. / В.Ю. Линник // М, МГГУ. 2004. – С. 20.
40. **Максимов, А.Б.** Определение рациональных параметров шнековых грузчиков проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» / А.Б. Максимов, Д.И. Шишлянников, Н.В. Чекмасов // Известия УГГУ. 2019. – № 2 (54). – С. 97-101.

41. **Максимов, А.Б.** Повышение качества гранулометрического состава калийной руды, добываемой проходческо-очистными комбайнами «Урал-20Р» / А.Б. Максимов, Д.И. Шишлянников // Горное оборудование и электромеханика. 2018. – № 4. – С. 4-11.
42. **Максимов, А.Б.** Повышение количества обогатимых классов в калийной руде, добываемой проходческо-очистными комбайнами «Урал-20Р» / А.Б. Максимов // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования: материалы V Международной научно-практической конференции Горная и нефтяная электромеханика. 2018. – С. 116-122.
43. **Максимов, А.Б.** Повышение эффективности отделения калийной руды от массива резцами исполнительных органов выемочных комбайнов / Максимов А. Б., Д.И. Шишлянников, Н.В. Чекмасов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XVI Международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека». 2018. – С. 73-76.
44. **Максимов, А.Б.** Повышение эффективности процесса отделения калийной руды от массива резцами исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов / А.Б. Максимов // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования: материалы IV Международной научно-практической конференции Горная и нефтяная электромеханика. 2017. – С. 86-92.
45. **Максимов, А.Б.** Повышение эффективности процесса разрушения калийного массива планетарно-дисковыми исполнительными органами проходческо-очистных комбайнов типа «Урал-20Р» / А.Б. Максимов // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: материалы XI Всероссийской конференции. 2018. – С. 418-421.
46. **Максимов, А.Б.** Повышение эффективности процесса разрушения калийных массивов резцами проходческо-очистных комбайнов / А.Б. Максимов, Л.И. Старков, Н.В. Чекмасов, Д.И. Шишлянников // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования: материалы III Международной научно-практической конференции горная и нефтяная электромеханика. 2016. – С. 137-143.
47. **Максимов, А.Б.** Повышение эффективности процесса резания калийного массива планетарно-дисковыми исполнительными органами проходческо-очистных комбайнов / А.Б. Максимов // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: материалы X Всероссийской конференции. 2017. – С. 378-381.
48. **Максимов, А.Б.** Разработка устройства для самоустановки резца комбайна при разрушении горных пород / А.Б. Максимов, Л.И. Старков // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XV Международной научно-технической конференции «Чтения памяти В Р Кубачека». 2017. – С. 73-77.

49. **Малеев, Г.В.** Проектирование и конструирование горных машин и комплексов / Г.В. Малеев, В.Г. Гуляев, П.А. Бойко // – М.: Недра. 1988. – 268 с.
50. **Маметьев, Л.А.** Тенденции формирования парка проходческих комбайнов на шахтах Кузбасса / Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Вестн Кузбасского гос тех унив. 2013. – №2. – С. 14-16.
51. **Мастеров, В.А.** Теория пластической деформации и обработка металлов давлением / В.А. Мастеров, В.С. Берковский // – М.: Металлургия. 1989. – 400 с.
52. **Миничев, В.И.** Угледобывающие комбайны. Конструирование и расчет / В.И. Миничев // – М., Машиностроение. 1976. – 248 с.
53. **Михеев, О.В.** Подземная разработка пластовых месторождений: учебное пособие / О.В. Михеев, В.Г. Виткалов // Москва: Горная книга. 2001. – 488 с. ISBN 5-7418-0162-5.
54. **Морозов, В.И.** Очистные комбайны: Справочник. Под общей ред. В.И. Морозова / В.И. Морозов, В.И. Чуденков, Н.В. Сурина // – М.: Издательство МГГУ. 2006. – 650 с.
55. **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.
56. **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. – DOI:10.17580/gzh.2021.02.13.
57. **Нгуен, К.Л.** Обоснование геометрических и режимных параметров шнековых исполнительных органов, обеспечивающих эффективность погрузки угля на забойный конвейер / К.Л. Нгуен, В.В. Габов, В.С. Нгуен, Т.В. Ле, Д.А. Задков // Уголь. 2018. – №2. – С. 32-35. DOI: 10.18796/0041-55790-2018-2-00-00.
58. **Невский, С.А.** Многофазная модель пластической деформации металлов / С.А. Невский, В.Д. Сарычев, И.А. Комиссарова, В.Е. Громов // Вестник Тамбовского университета Серия: Естественные и технические науки. 2013. Т.18, Вып. 4. – С. 1848-1849.
59. **Павленко, С.В.** Комбайн КДК500 в забоях ООО «Шахтоуправление «Садкинское» / С.В. Павленко, А.О. Иванков, В.В. Косарев // Уголь. 2008. – №6. – С. 26-30.
60. 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.
61. **Подэрни, Р.Ю.** Угольная промышленность в США / Р.Ю. Подэрни // – М.: Недра. 1968. – 187 с.
62. **Позин, Е.З.** Измельчение углей при резании / Е.З. Позин, В.З. Меламед, С.М. Азовцева // – Москва: Наука. 1977. – 138 с.

63. **Позин, Е.З.** Исследование процесса разрушения углей механическим способом в ИГД им / Е.З. Позин, А.А. Скочинского // – Уголь. 1992. – С. 60-62.
64. **Позин, Е.З.** Разрушение углей выемочными машинами / Е.З. Позин, В.З. Меламед, В.В. Тон // – М.: Недра. 1984. – 287 с.
65. **Потураев, В.Н.** Вибрационные транспортирующие машины / В.Н. Потураев, В.П. Франчук, А.Г. Червоненко // – М.: Машиностроение. 1964. – 272 с.
66. **Прокопенко, С.А.** Повышение срока службы комбайновых резцов в угольных шахтах / С.А. Прокопенко // – Горное оборудование и электромеханика. 2014. – С. 24–28.
67. **Прокопенко, С.А.** Применение инновационных комбайновых резцов в шахтах / С.А. Прокопенко, В.С. Лудзиш // – Горная промышленность. 2012. – С. 56-60.
68. **Прокопенко, С.А.** Эволюция конструкции резцов для шахтных комбайнов / С.А. Прокопенко, В.С. Лудзиш // Горная промышленность – М: МГГУ. 2015. – №2 (120). – С. 65-66.
69. **Протасов, Ю.И.** Пылевыведение при разрушении горных пород / Ю.И. Протасов // Горный журнал Изв ВУЗов. 1993. – №1. – С. 51-53.
70. **Разумовский, И.А.** Интерференционно-оптические методы механики деформируемого твердого тела: учебное пособие. / И.А. Разумовский // – М.: МГТУ. 2007. – 240 с.
71. **Ржевский, В.В.** Проблемы горной промышленности и комплекса горных наук / В.В. Ржевский // – М., Изд-во МГИ. 1991. – 242 с.
72. **Рубец, Г.Т.** Статистическая оценка неоднородности изменчивости и разброса прочностных характеристик угля / Г.Т. Рубец, Н.Т. Бобро // Геотехническая механика: Межвед сб науч тр – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины. – № 73. – С. 77-83.
73. **Рубец, Г.Т.** Статистическая оценка неоднородности, изменчивости и разброса прочностных характеристик угля / Г.Т. Рубец, Н.Т. Бобро // Геотехническая механика: Межвед сб науч тр – Днепропетровск: ИГТМ НАН. 2007. Вип. 73. – С. 77-83.
74. **Рыбин, В.В.** Большие пластические деформации и разрушение металлов. / В.В. Рыбин // – М.: Металлургия. 1986. – 224 с.
75. **Скуднов, В.А.** Предельные пластические деформации металлов / В.А. Скуднов // – М.: Металлургия. 1989. – 176 с.
76. **Солод, В.И.** Горные машины и автоматизированные комплексы / В.И. Солод, В.И. Зайков, К.М. Первов // – М.: Недра. 1981. – 504 с.
77. **Солод, В.И.** Проектирование и конструирование горных машин и комплексов / В.И. Солод, В.Н. Гетопанов, В.М. Рачек // – М.: Недра. 1982. – 350 с.
78. **Талеров, М.П.** Повышение эффективности применения поворотных резцов проходческих комбайнов выбором рациональных геометрических параметров инструментов / Павлович Талеров Михаил // – дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 – СПб. 2012. – 147 с.

79. **Тон, В.В.** Статистические характеристики пути трения и изнашивания режущего инструмента / В.В. Тон // Научные сообщения / Акад Наук СССР Ин-т горного дела им АА Скочинского – М: ИГД. 1973. Вып. 113. – С. 140-145.
80. **Топчиев, А.В.** Горные машины – справочник / А.В. Топчиев, В.И. Ведерников // – М.: ГНТИЗд литературы по горному делу. 1960. – 384 с.
81. **Тургель, Д.К.** Горные машины и оборудование подземных разработок / Д.К. Тургель // – Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ. 2007. – 302 с.
82. **Унксов, Е.П.** Теория пластических деформаций металлов / Е.П. Унксов // – М.: Машиностроение. 1983. – 598 с.
83. **Филимонов, Н.А.** Выемочные и проходческие горные машины / Н.А. Филимонов // – М., Госуглетехиздат. 1959. – 428 с.
84. **Хорешок, А.А.** Повышение эффективности эксплуатации горных комбайнов / А.А. Хорешок, А.М. Цехин, В.М. Завьялов, В.В. Кузнецов, А.Ю. Борисов // Энергетическая безопасность России Новые подходы к развитию угольной промышленности: Тр Межд Науч-практ Конф Кемерово: ННЦ ГП-ИГД им АА Скочинского, ИУУ СО РАН, КузГТУ. 2009. – С.174-179.
85. **Хорешок, А.А.** Производство и эксплуатация разрушающего инструмента горных машин: монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, Цехин А.М. и др. // – Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2013. – 296 с.
86. **Хорин, В.Н.** Развитие техники для подземной добычи угля, калийных и марганцевых руд (работы института «Гипроуглемаш» за 1935 – 1985гг.) / В.Н. Хорин, С.Х. Клорикьян, и др. // – М.: Недра. 1985. – 360 с.
87. **Цыганков, Д.А.** Новая технология добычи крепких горных пород / Д.А. Цыганков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. – №3. – С. 98-102.
88. **Чекмасов, Н.В.** Методика проведения измерений режимов работы двигателей комбайнов / Н.В. Чекмасов, М.Г. Трифанов // ООО «РКЦ» – Пермь. 2001. – 12 с.
89. **Dewangan, S.** Characterization of Wear Mechanisms in Distorted Conical Picks After Coal Cutting / S. Dewangan, S. Chattopadhyaya // Rock Mech Rock Eng. 2015. – 18 p. DOI 10.1007/s00603-015-0726-x.
90. **Hongqing, Z.** Numerical simulation of the dynamic distribution characteristics of the stress, strain and energy of coal mass under impact loads / Z. Hongqing, F. Shuhao, Z. Yilong, W. Yan, G. Jinlin, L. Feng // Scientific RepoRtS. 2020. – 10:16849. DOI:10.1038/s41598-020-74063-3.
91. **Jing, X.** A Cutting Pattern Recognition Method for Shearers Based on Improved Ensemble Empirical Mode Decomposition and a Probabilistic Neural Network / X. Jing, W. Zhongbin, T. Chao, S. Lei, L. Xinhua // Sensors. 2015. – Vol. 15. – 27722-27737 pp.



92. **Jinxia, L.** Discrete Element Simulation of Conical Pick's Coal Cutting Process under Different Cutting Parameters / L. Jinxia, M. Chao, Z. Qingliang, G. Kuidong // Hindawi Shock and Vibration. 2018. – P. 9. DOI: 10.1155/2018/7975141.
93. **Johnson, G.R.** Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures, and pressures / G.R. Johnson, W.H. Cook // Engng Fract Mech. 1985. V.21, – №1 –P. 31-48.
94. **Johnson, G.R.** Constitutive model and data for metals subjected to large strains. High rates and high temperatures / G.R. Johnson, W.H. Cook // Proc of the 7th Intern symp on ballistics, Hague (Netherlands) Hague: Roy Inst of Engrs in the Netherlands,. 19–21 Apr. 1983. – P. 541-547.
95. **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. Volume 378, 012022. – P. 1-8. DOI: 10.1088/1755–1315/1378/1081/012095.
96. **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. Volume 378, 012025. – 1–9 pp. DOI: 10.1088/1755–1315/1378/1081/012022.
97. **Peng, S.S.** Longwall Mining / S.S. Peng // – U.S.: 2nd edition. October 2006. – 621 p.
98. **Prokopenko S.A.** New design of cutters for coal mining machines / S.A. Prokopenko, S.I. Kurzina // IOP Conf Series: Materials Science and Engineering 2015. 91, 012058. – P. 1-8. DOI:10.1088/1757-1899X/1091/1081/012058.
99. **Schwer, L.** Optional Strain-Rate Forms for the Johnson Cook constitutive model and the Role of the Parameter Epsilon 01 / L. Schwer // – Dynamore GmbH. 2007. – P. 17.
100. **Tiryaki, B.** A new computer program for cutting head design of roadheaders and drum shearers / B. Tiryaki, M. Ayhan, O.Z. Hekimoglu // 7th International Mining Congress and Exhibition of Turkey – IMCET 2001. 2001. – DOI:10.13140/2.1.4037.0247.
101. **Tran, X.H.** De an doi moi va hien dai hoa cong nghe nganh khai thac khoang san den nam 2015, tam nhin den nam 2025 / X.H. Tran // – Hanoi. 2009. – 64 p.
102. **Vinacomin.** Bao cao ket qua hoạt động của tập đoàn khai thác than khoáng sản Việt Nam "Vinacomin" giai đoạn 2005-2009 / Vinacomin // – Hanoi. 2010. – 56 p.
103. **Vinacomin.** Quyet dinh phe duyét quy hoạch phát triển ngành Than Việt Nam den nam 2020, co xet den nam 2030 / Vinacomin // – Hanoi. 2012. – 36 p.
104. **Wang, F.** Practice and prospects of fully mechanized mining technology for thin coal seams in China / F. Wang, S. Tu, Q. Bai // Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 2012. Vol.112, – №2. – P. 161-170.
105. **Xiahui, L.** Experiment on Conical Pick Cutting Rock Material Assisted with Front and Rear Water Jet / L. Xiaohui, L. Songyong, L. Lie, C. Xinxia // Hindawi

- Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering. 2015. – 9 p. DOI: 10.1155/2015/506579.
106. **Xueyi, Li.** Optimization design for roadheader cutting head by orthogonal experiment and finite element analysis / Li Xueyi, Lv Yonggang, Xu Shucui, Zeng Qingliang, Huang Binbing // Tehnički vjesnik 2016. – № 23. – P. 707-714. DOI: 710.17559/TV-20140925151139.
107. **Xueyi, Li.** Research on the Strength of Roadheader Conical Picks Based on Finite Element Analysis / Li Xueyi, Lv Yonggang, Zeng Qingliang, Wang Jintao // The Open Mechanical Engineering Journal. 2015. – № 9. – P. 521-526.
108. **Xueyi, Li.** Study on Roadheader Cutting Load at Different Properties of Coal and Rock / Li Xueyi, Huang Binbing, Ma Guoying, Zeng Qingliang // Hindawi Publishing Corporation The ScientificWorld Journal. 2013. – 8 p. DOI: org/10.1155/2013/624512.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А Патент на полезную модель



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акт о внедрении результатов работы



**ГРУППА КОМПАНИЙ УГОЛЬНОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ ВЬЕТНАМ  
«VINACOMIN»**



**Институт энергетической и горной механики**

565 Nguyen Trai, Thanh Xuan Nam, Thanh Xuan, Ha Noi

Tel: +84243.8545224 | Fax: +84243.8543154

Email: info@iemm.com.vn | Website: www.iemm.com.vn

### АКТ

о внедрении результатов диссертации Нгуен Ван Суан на тему «Обоснование параметров шнековых исполнительных органов очистного комбайна для повышения выхода крупных фракций угля» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Настоящим справкой подтверждаем, что в диссертационной работе аспиранта Нгуен Ван Суан на тему «Обоснование параметров шнековых исполнительных органов очистного комбайна для повышения выхода крупных фракций угля», выполненной в Санкт-Петербургском горном университете (Российская Федерация) в результате теоретических и экспериментальных исследований решена научная задача обоснования структуры и параметров шнековых исполнительных органов с последовательно-групповой схемой расстановки резцов, обеспечивающей на основе парных, подрезных и групповых срезов повышение сечений срезов и крупных фракций при добыче угля, снижение удельного расхода энергии при сохранении заданной производительности очистного комбайна.

После экспериментальных исследований и моделирования процесса отделения угля от массива шнековым исполнительным органом с последовательно-групповой схемой расстановки резцов разработка будет принята к опытно-промышленному внедрению в институте энергетической и горной механики в бассейне Куангнинь Вьетнама.

**Заместитель ректор института  
энергетической и горной  
механики**



KT. VIÊN TRƯỞNG  
PHÓ VIÊN TRƯỞNG

*Đỗ Trung Kiên*