

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
КАРАГАНДИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 622.242.5

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель УПО
_____ Л.М.Султанова
«___» _____ 2020 г.

ОТЧЕТ
ПО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
МАГИСТРАНТА СПЕЦИАЛЬНОСТИ
6M072400 – «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ»

«Исследование работы исполнительного органа проходческого комбайна
КСП32 в условиях шахты Казахстанской»

(2 семестр, 1 кредит)

Зав.кафедрой ТОМ и С

В.В. Юрченко

Научный руководитель

Н.С. Малыбаев

Магистрант

Е.Б.Акбасов_

Караганда 2020

Содержание

	Введение	
1	Тенденции формирования парка проходческих комбайнов на шахте Казахстанская	5
1.1	Оценка функциональных возможностей существующих конструкций исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия	6
1.2	Технологические схемы применения проходческих комбайнов	11
2	Анализ программных элементов при разработке расчетной схемы взаимодействия элементов исполнительного органа проходческого комбайна	13
2.1	Анализ методик исследований напряженно-деформированного состояния пород разрушающего инструмента горных выемочных машин	17
3	Исследование и разработка параметров исполнительного органа проходческого комбайна КСП32 в условиях шахты Казахстанской	20
3.1	Последовательность выбора системы разработки	22
3.2	Анализ результатов исследований параметров разрушения горных пород исполнительным органом	25
	Заключение	27
	Список используемой литературы	29

Введение

Угольная промышленность является основной сырьевой и энергетической базой для всех отраслей народного хозяйства, а каменный уголь – единственным стратегическим энергоносителем, имеющимся в недрах нашей страны. Обеспечение конкурентоспособности угольных шахт может быть достигнуто путем роста нагрузок на очистные забои до 5 тысяч и более тонн в сутки. Основным фактором, сдерживающим рост нагрузки на современные добычные комплексы, является отставание в подготовке нового фронта очистных работ, т.е. недостаточно высокие темпы проходки при проведении подготовительных выработок.

Прохождение выработок механизированным способом при помощи проходческих комбайнов на сегодняшний день является наиболее эффективным, позволяющим уменьшить время технологических операций и повысить темпы проходки до 300 м в месяц и более. Необходимость обеспечения все более высоких темпов проходки приводит к проблеме повышения технического уровня проходческих комбайнов.

Применение существующих математических моделей и методов оптимального проектирования этих машин возможно лишь при корректном задании режимов их работы, которые могут быть получены только в результате натурного эксперимента. Данные эксперимента также могут быть использованы при проверке адекватности математических моделей рабочих процессов и обосновании путей дальнейшего совершенствования проходческих машин.

Поэтому получение экспериментальных данных о фактических режимах работы двигателя исполнительного органа (ИО) проходческого комбайна, его загруженности и затратах времени на выполнение операций при реализации технологического цикла обработки забоя стреловидным исполнительным органом проходческого комбайна является актуальной научной задачей.

Важнейшим звеном в технологическом процессе горнодобывающего предприятия является проведение подготовительных горных выработок, от темпов проходки и качества которых в значительной мере зависит эффективная работа всего добывающего комплекса. Поэтому соответствие конструктивных и режимных параметров исполнительных органов проходческих комбайнов горн геологическим условиям эксплуатации является основным фактором, влияющим на показатели процесса проходки подземных горных выработок.

Прочность пород шахты Казахстанской изменяется в очень широких пределах, как по площади, так и по глубине залегания. Предел прочности на сжатие составляет 10–200 МПа, алевролитов 8–140 МПа, аргиллитов 6–70 МПа, каменного угля 8–24 МПа.

Процесс разрушения горного массива проходческими комбайнами избирательного действия, несмотря на неоспоримые достоинства комбайновой технологии проведения подготовительных выработок, имеет следующие существенные недостатки: большой выход мелких фракций разрушенного угля вследствие его пера измельчения; за счет этого высокая запыленность воздуха в выработке, в десятки раз превышающая допустимые санитарные нормы; высокая энергоемкость процесса разрушения и большой расход режущего инструмента при разрушении абразивных и крепких включений.

Объектом исследования являются экспериментальное получение и анализ характеристик рабочего процесса разрушения забоя исполнительным органом проходческого комбайна, позволяющих оценить эффективность использования комбайна.

В задачи исследования входят: Изучить методы получения анализ характеристик рабочего процесса разрушения забоя исполнительным органом проходческого комбайна.

1. Тенденции формирования парка проходческих комбайнов на шахте Казахстанская

Проходческим комбайном (ПК) называется комбинированная горная машины для механизированного проведения горных выработок. Применение проходческих комбайнов дает возможность совместить во времени основные технологические операции проходческого цикла:

▶ отделение горной породы от массива, ее погрузку в транспортные средства, крепление выработанного пространства и пыле гашение в призабойной зоне.

Исполнительные органы проходческих комбайнов по конструктивным признакам подразделяются на избирательные (стреловидные), непрерывного действия (качающиеся) и буровые (роторные и планетарные). Отличительный признак этих трех групп заключается в различии схем разрушения забоя.

Избирательные исполнительные органы одновременно обрабатывают только часть забоя, которая предопределяется конструктивными размерами коронки. Стреловидный исполнительный орган выполняется в виде подвижной консольной рукояти с резцовой коронкой на конце, имеющей возможность перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

В зависимости от типа коронки стреловидные исполнительные органы подразделяются на органы с коронками коническими, барабанными, сферическими, лучевыми, дисковыми [1].

Качающиеся исполнительные органы представляют собой органы, отбойная часть которых в одном из направлений (по высоте или ширине) соответствует размеру проводимой выработки и имеет возможность совершать качательные движения в вертикальной или горизонтальной плоскостях для обработки всей площади забоя.

Эти исполнительные органы подразделяются на: буровые, корончатые и комбинированные. Горно-подготовительные работы должны обеспечивать своевременную подготовку выемочных столбов при раскroyке полей шахт.

Интенсификация проходческих работ на шахте Казахстанская осуществляется путем использования проходческих комбайнов непрерывного и избирательного действия. Темпы проведения выработок этими комбайнами составляет от 390 до 907 м/мес.

Проходческие комбайны избирательного действия со стреловидными исполнительными органами, проигрывая по скорости проведения горных выработок комбайнам непрерывного действия, обладают, вместе с этим,

способностью адаптироваться к разрушению структурно-неоднородных забойных массивов и к изменению формы, размеров сечения выработок [2].

На шахте Казахстанская в эксплуатации в период с 2007 по 2012 годы находились комбайны 1ГПКС, П110, КП21, СМ-130, DBT Bucyrus, MD-1100, Bolter Miner MB670, Sandvik MR340, Joy 12CM30, Joy 12CM18, Joy 12CM15 [2].

С течением времени структура парка комбайнов существенно изменилась. За этот же период, например, количество комбайнов 1ГПКС в объединении уменьшилось в 12,5 раз, а темпы проходки ими выработок снизились с 357 м/мес до 160 м/мес [3]. Динамика изменения парка проходческих комбайнов свидетельствует о том, что с 2007 по 2012 годы количество комбайнов КП-21 производства АО «Копейский машзавод» возросло с 14,5% до 52%.

Анализ парка комбайнов в объединениях Кузбасса показывает, что техническая политика этих угольных компаний ориентирована на широкое применение проходческих комбайнов КП21.

1.2 Оценка функциональных возможностей существующих конструкций исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия

От совершенства конструкции исполнительного органа существенно зависят производительность и эффективность проходческих комбайнов.

Именно процесс взаимодействия исполнительного органа с разрушаемым массивом определяет удельные энергозатраты разрушения, характер и величину внешних нагрузок, действующих от разрушаемого массива на комбайн, а, следовательно, оказывает значительное влияние на производительность и надежность проходческого комбайна.

Основными классификационными признаками исполнительных органов являются схемы обработки и разрушения забоя, а также конструктивное исполнение рабочего органа [4]. Проходческие комбайны избирательного действия разрушают угольный массив сплошным фрезерованием резцами, установленными на исполнительном органе, выполненном в виде коронки, расположенной вдоль продольной или поперечной оси комбайна (рисунки 1.1) [4].

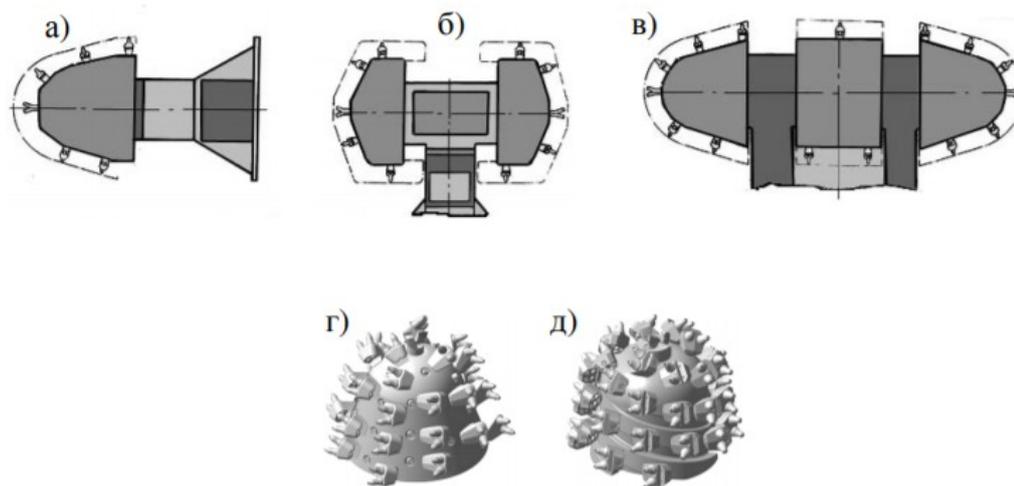


Рисунок 1.1 – Конструктивные формы исполнительных органов проходческих комбайнов: а – продольно-осевая (радиальная); б – поперечно-осевая (аксиальная); в – аксиальная (комбинированная); г, д – варианты промышленных образцов радиальных коронок.

На шахте Казахстанская ведутся работы по проектированию новых конструкций коронок для комбайнов со стреловидным исполнительным органом. Это позволит совместить в одной конструкции две коронки: угольную и породную [4].

Характерной особенностью работы проходческих комбайнов избирательного действия является невозможность точного воспроизведения заданного профиля выработки и, как следствие, значительные переборы породы (до 20 % от площади проходимой выработки) даже при наличии автоматизированной системы управления проходческим комбайном [5].

Выбор схемы отработки забоя определяется многими факторами: крепостью породы, наличием в ней равнопрочных включений, углом наклона выработки, состоянием ее бортов и пород кровли, водопротоком в забое и прочими горн геологическими особенностями.

Возможные варианты схем отработки, опробованные при работе комбайнов избирательного действия в угольной промышленности, могут быть условно поделены на две группы: обработка сечения по контуру, а затем разрушение оставшейся центральной части (керн) и последовательное разрушение проходами резцовой коронки (горизонтальные и вертикальные, восходящие и нисходящие резы) [5].

В процессе обработки поверхности выработки исполнительным органом с продольно-осевой коронкой можно обеспечить довольно ровный (по сравнению с аксиальной коронкой) профиль выработки. Такой исполнительный орган в принципе может с одной позиции создавать приемлемый пространственный рельеф боковых поверхностей выработки, если коронка и центр поворота стрелы соответствуют профилю выработки.

Конусность коронки подбирается, как правило, исходя из условия обеспечения ровной поверхности почвы выработки. При этом возникают переборы породы при обработке кровли и боковых поверхностей выработки, поскольку размеры и форма выработок могут быть самыми различными [6].

Обработка забоя стреловидным исполнительным органом с продольно осевой коронкой горизонтальными слоями предпочтительнее с точки зрения равномерности поступления горной массы по фронту погрузки, однако при разрушении крепких пород на продольно-осевую коронку действует значительная внешняя нагрузка.

При этом основная компонента главного вектора внешней нагрузки направлена противоположно направлению подачи коронки, вследствие чего принимается обработка забоя вертикальными слоями как наилучшая с точки зрения устойчивости проходческого комбайна.

Работа комбайна по горизонтальным и вертикальным слоям обуславливает два режима работы продольно-осевой коронки – режим попутного и встречного фрезерования. В первом режиме резец входит в контакт с горным массивом с нулевой толщиной стружки. При встречном фрезеровании момент входа резца в контакт с горным массивом характеризуется наличием значительной по величине толщины стружки, что сопровождается дополнительными динамическими нагрузками.

Практика показывает, что при очень крепких породах работа коронок в режиме встречного фрезерования практически невозможна из-за высокой динамической загруженности комбайна. Обработка забоя стреловидными исполнительными органами с поперечно осевой коронкой предусматривает следующий порядок действий. Сначала производится вруб в нижней части сечения выработки на глубину H , кратную вылету коронки относительно корпуса редуктора.

Вруб осуществляется двумя-тремя переменными перемещениями коронки вдоль оси стрелы с боковым сдвигом между перемещениями. Затем подачей стрелы в горизонтальной плоскости создается рассечка у основания забоя глубиной H .

Далее следуют попеременные перемещения коронок в направлении снизу-вверх на величину $0,06-0,15$ м в зависимости от конструкции коронки и в горизонтальной плоскости. Для проходческих комбайнов с аксиальными коронками (сферической формы), полный цикл обработки забоя арочной формы включает значительное количество последовательных операций: фронтальная зарубка; вертикальная зарубка; боковой рез.

Возможна также схема обработки забоя вертикальными полосами. Очевидно, что ввиду конструктивных особенностей стреловидного исполнительного органа с поперечно-осевой коронкой качество обработки забоя хуже, чем при работе исполнительного органа с продольно-осевой коронкой, наблюдается характерная волнистость профиля продольного сечения выработки.

Следует отметить, что исполнительный орган с поперечно-осевой коронкой предпочтительнее с точки зрения обеспечения устойчивости проходческого комбайна, чем исполнительный орган с продольно-осевой коронкой, так как усилие поворота, которое необходимо приложить к стреле для ее перемещения, в первом случае значительно меньше, чем во втором.

Это вызвано тем, что при горизонтальной подаче поперечно-осевой коронки на усилие поворота оказывают влияние только силы подачи на резцах, но не силы резания, которые расположены в плоскостях, перпендикулярных направлению подачи.

Также можно отметить и недостатки исполнительного органа этого типа: ниже качество обработки забоя, чем при работе исполнительного органа с продольно-осевой коронкой, что отрицательно сказывается на трудоемкости процесса крепления выработки и ее устойчивости; невозможность проведения водосточной канавки и осуществления селективной выемки полезного ископаемого.

Таким образом, для обоих типов корончатых исполнительных органов основными недостатками являются: низкое качество поверхности и точности контура выработки, что отрицательно сказывается на возможности механизации процесса крепления [5]. Низкая точность воспроизведения заданного контура выработки во многом обусловлена недостаточной устойчивостью проходческого комбайна.

Устойчивость комбайна зависит от ряда факторов: величины и точки приложения вектора внешней нагрузки; продольной и поперечной баз комбайна; наличия специальных распорных устройств; массы комбайна, положение его центра масс [6].

Общеизвестно, что за пределами приемных столов погрузочных устройств комбайнов образуются практически “мертвые” зоны формирования штабелей продуктов разрушения на почвах выработок (рисунок 1.2) [6].

На рисунке 1.2, б представлена схема образования откосов из продуктов разрушения горных пород в припортовых зонах (коридорах) проходческих забоев для типовых комбайнов избирательного действия: B_v и H_v – ширина и высота выработки.

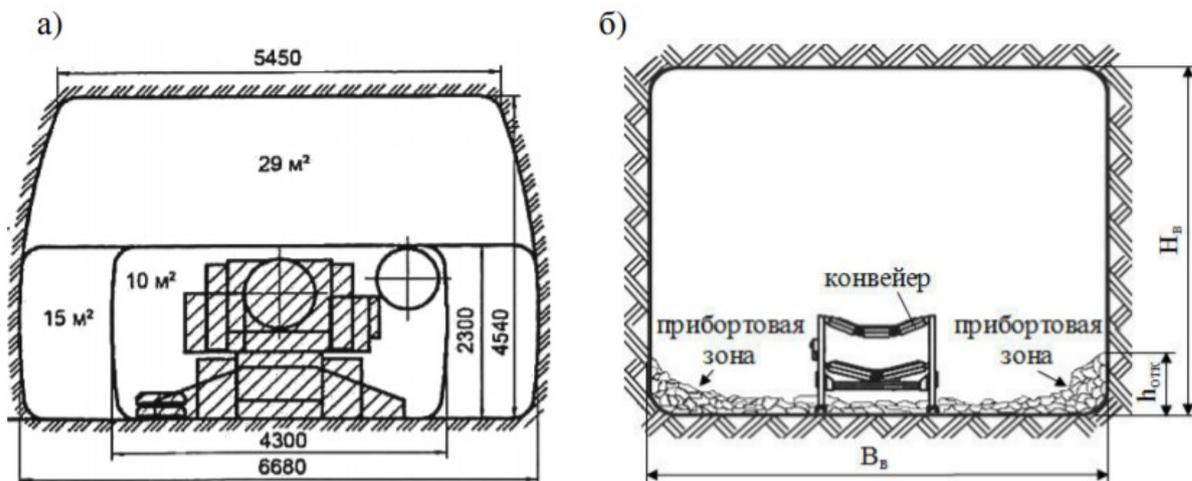


Рисунок 1.2 – Примеры форм поперечных сечений проводимых горных выработок проходческим комбайном КП-21: а – при работе комбайна; б – припортовые зоны.

Дозагрузка продуктов разрушения в этих зонах заставляет проходческий комбайн работать в режиме обычной челноковой погрузочной машины по коридорам этих мертвых припортовых зон штабеля продуктов разрушения (рисунок 1.3). На рисунках 1.2, 1.3 рассмотрены особенности работы типовых проходческих комбайнов избирательного действия по параметрам ширины выработки ($B_{в}$, м) и ширины приемного стола питателя ($B_{п.с.}$, м).

Анализ рабочего процесса [7] показывает, что питатели во всех типах используемых проходческих комбайнов практически не перекрывают ширины призабойного пространства, оставляя в припортовых зонах коридоры ($B_{в} - B_{п.с.}$) с нулевой погрузочной способностью.

Это приводит к образованию припортовых откосов (рисунок 1.2, б, 1.3) из продуктов разрушения забоя высотой $h_{отк}$ от 0,6 до 0,8 диаметра коронок исполнительного органа комбайна [6].

Перемещения и маневровые операции в припортовых пространствах проходческой выработки помимо потерь времени могут привести к поломкам элементов возведенной крепи. По данным производителей высота откосов не погруженных продуктов разрушения в призабойной части может составлять $h_{отк} = 500 - 700$ мм (рисунок 1.3, б).

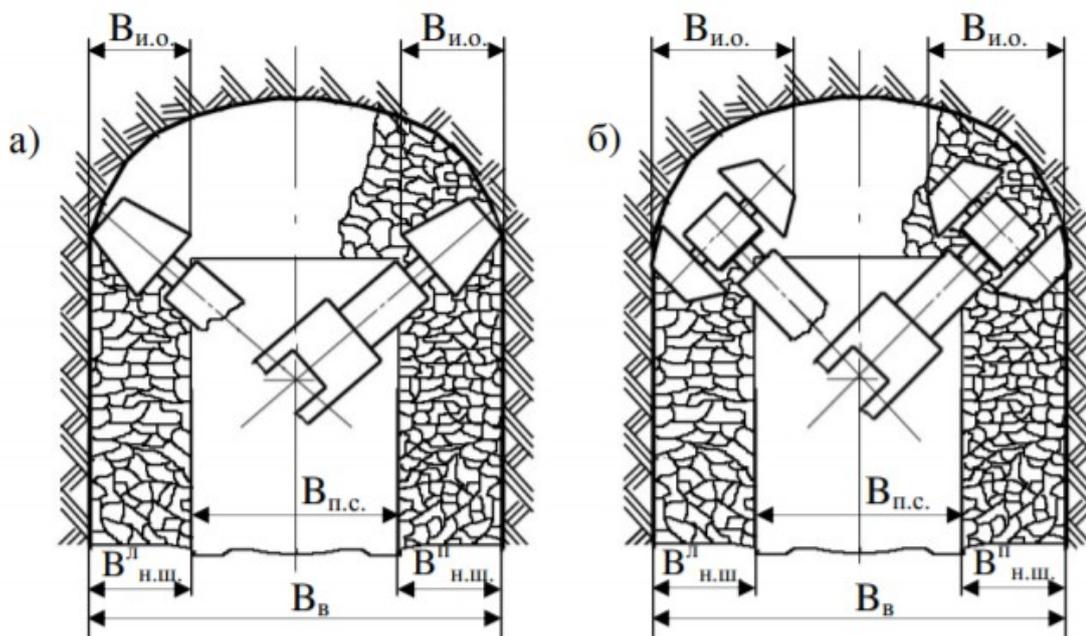


Рисунок 1.3- Варианты формирования припортовых полос из штабеля не погруженных продуктов разрушения типовыми исполнительными органами проходческих комбайнов избирательного действия:

а – при эксплуатации радиальных коронок;

б – при эксплуатации аксиальных коронок;

$B_{и.о.}$ – припортовая рабочая ширина исполнительного органа;

$B_{л.н.ш.}$ – ширина не погруженного штабеля продуктов разрушения у левого борта;

$B_{п.н.ш.}$ – ширина не погруженного штабеля продуктов разрушения у правого борта;

$B_{в.}$ – проектная ширина выработки;

$B_{п.с.}$ – ширина приемного стола питателя погрузочного устройства.

Поскольку в конвейерном штреке ленточный конвейер сдвигается к непроходному борту на расстояние до 200–400 мм, то не зачищенные откосы могут заштуковать холостую ветвь конвейера. При наличии влаги может произойти запилровка конвейерной ленты.

Поэтому при проходке горных выработок необходимо механизировать процессы разрушения, дробления негабаритов и погрузки разрушенного массива угольных пластов и пресекаемых горных пород на транспортные средства. А это, в свою очередь, предъявляет повышенные требования к износостойкости пород разрушающего инструмента и узлам его крепления, к элементам транспортирования и погрузки продуктов разрушения в призабойной зоне, к обеспечению механизированного способа дробления негабаритов, оперативной взаимозаменяемости основных функциональных элементов проходческих комбайнов избирательного действия при ремонтах в рабочем пространстве на месте их эксплуатации [7].

1.2 Технологические схемы применения проходческих комбайнов

При интенсификации выемки тонких пластов необходимыми требованиями к ПК являются: высокая производительность; скорость перемещения ПК; усилия, приложенные к массиву для его разрушения; температура нагрева элементов приводов и рабочих органов; действующие нагрузки в приводах исполнительных механизмов.

Предлагаемая система перемещения проходческого комбайна состоит из трех секций механизированной крепи поддерживающего типа, таким образом, перемещение проходческого комбайна производится путем передвижки секций крепи, что одновременно позволяет передвижку конвейера. В процессе работы произведена поддержка породы кровли, что позволяет повысить устойчивость проходческого комбайна. Управление такой системой перемещения проходческого комбайна значительно упрощается тем, что для передвижки комбайна требуется только управление механизированной крепью, не включая дополнительно никаких электроприводов.

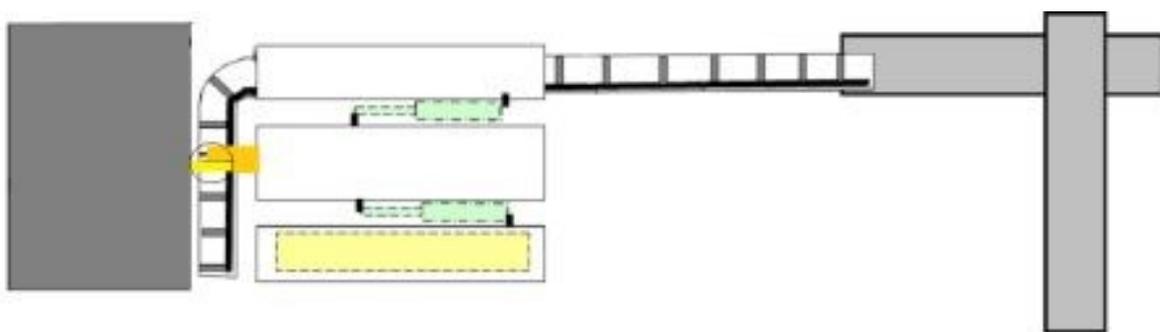


Рисунок 1.1 – Структура ходовой части ПК вид сверху.

Для анализа влияния интенсивности выемки тонкого пласта на темпы был произведен расчет длины суточной проходки зависящей от суточной производительности на пластах различной мощности $m=(0,5;0,7)$ м.

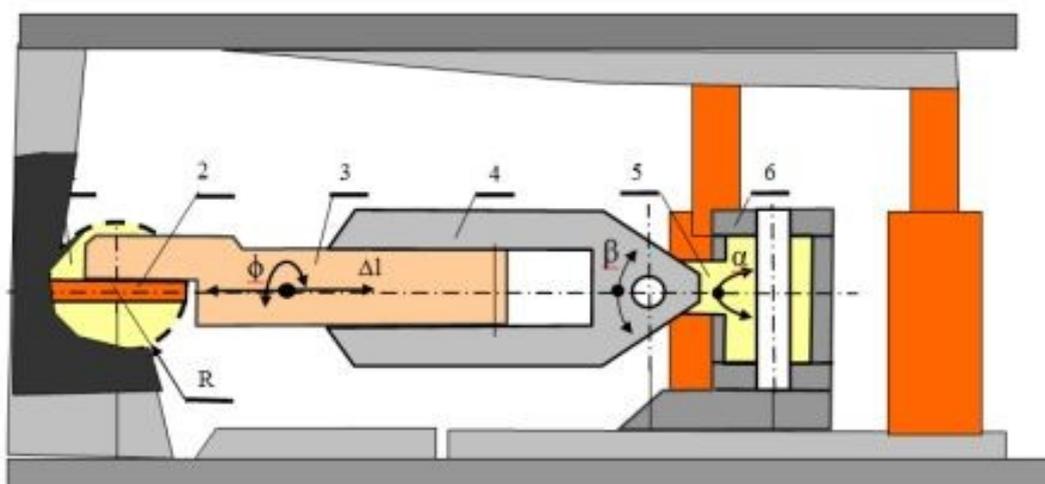


Рисунок 1.2 – Структура проходческого комбайна для проведения подготовительных выработок при интенсивной выемке тонких пластов.

Одним из возможных направлений обеспечения высоких темпов проходки, является сокращение времени, затрачиваемого на маневровые операции путем повышения технического уровня проходческого комбайна.

Способность комбайна обеспечить совмещение операций во времени позволяет значительно сократить длительность рабочего цикла прохождения выработки и сокращение времени, затрачиваемого на монтаж и демонтаж комбайна, а возможность прохождения выработок с высоким качеством боковых поверхностей и почвы – значительно повысит эффективность его работы за счет снижения объема забутовки. Возможность работы комбайна по крепким породам с меньшей энергоемкостью и более высокой производительностью.

Для повышения технического уровня проходческого комбайна для эффективной проходки подготовительных выработок при интенсивной выемке тонких пластов была предложена структура системы перемещения ПК, в которой исключается ходовая часть ПК.

Предлагаемая структура системы перемещения значительно образом изменяет и всю конструкцию проходческого комбайна. Система перемещения комбайна состоит из трех секций механизированной крепи, что обуславливает перемещение ПК вдоль линии забоя за счет передвижки крепи меж секционными гидродомкратами и передвижку скребкового конвейера. Механизированная крепь обеспечивает поддержку породы кровли забоя, тем самым повышается устойчивость комбайна. Для простоты крепления кровли и боковых поверхностей подготовительных выработок, выемка разрушаемого массива производится прямоугольным сечением выработок.

2. Анализ программных элементов при разработке расчетной схемы взаимодействия элементов исполнительного органа проходческого комбайна

Известные конструкции рабочих органов проходческих комбайнов имеют ту или иную степень ремонтпригодности, но степень их адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации является недостаточной.

Конструкции исполнительных органов позволяют расширить область применения проходческих комбайнов на разрушение структурно-неоднородных сред забойных массивов горных пород, включая негабариты, причиной появления которых являются процессы отжима и внезапных выбросов угля, породы, газа в призабойные пространства подземных горных выработок.

Основной научно-технический результат предлагаемых исполнительных органов заключается в повышении эффективности проведения горных выработок путем совмещения процессов разрушения, дробления и погрузки в исполнительном органе проходческого комбайна. На рисунках 2.1–2.4 представлены конструкции исполнительных органов с дисковым и резцовым инструментами на многогранных призмах.

Исполнительные органы проходческих комбайнов избирательного действия могут иметь два варианта конструктивного исполнения (рисунок 2.1) и содержат стрелу 1 с двумя разрушающе-погрузочными коронками 2, кинематически связанных между собой через раздаточный редуктор.

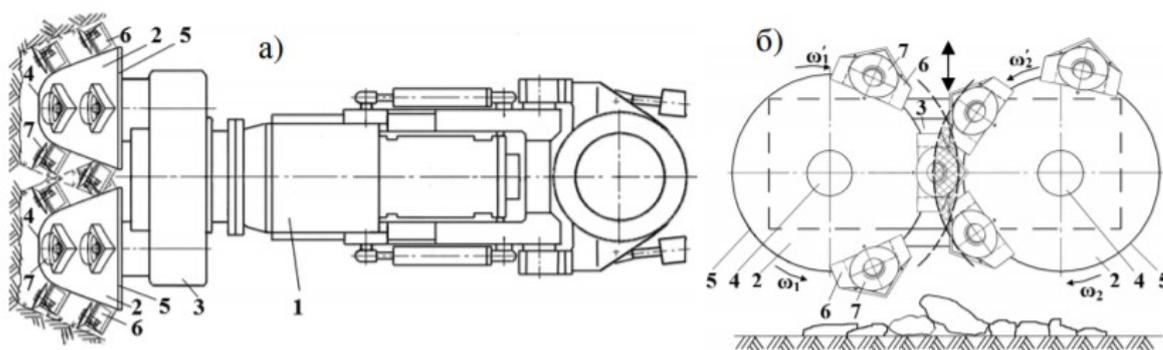


Рисунок 2.1 – Исполнительный орган с двумя радиальными реверсивными коронками: а – конструктивная схема; б – схема дробления негабаритов; 1 – стрела; 2 – разрушающе-погрузочные коронки; 3 – раздаточный редуктор; 4, 5 – меньшее и большее основание коронок; 6 – трехгранная призма; 7 – дисковый инструмент.

В первом варианте исполнительного органа корпус каждой из разрушающе погрузочных коронок 2 выполнен в виде усеченной конической поверхности, объединяющей меньшее основание 4 со стороны забоя с большим основанием 5 со стороны раздаточного редуктора 3.

На наружных поверхностях каждой из разрушающе-погрузочных коронок 2 жестко закреплены трехгранные призмы 6 с дисковыми инструментами 7 без возможности монтажа-демонтажа по неизменяемым вариантам схем набора.

Во втором варианте корпус каждой из коронок выполнен в виде усеченной многогранной пирамиды с возможностью монтажно-демонтажных операций с изменяемыми вариантами схем набора трехгранных призм по ширине захвата. Для повышения эффективности монтажно-демонтажных операций узла крепления дискового инструмента в трехгранных призмах исполнительных органов в виде радиальных разрушающе-погрузочных коронок проходческих комбайнов избирательного действия в призабойном пространстве подземной горной выработки, представлен вариант конструктивного исполнения (рисунок 2.2, а).

Конструкция содержит трехгранную призму 1, дисковый инструмент 2, установленный с возможностью вращения на жестко закрепленной цапфе-втулке 3 с дистанционными торцевыми шайбами 4 в виде упорных подшипников, зафиксированных в осевом направлении внутренней торцевой поверхностью буртика оси 5, которая размещена внутри цапфы-втулки 3 и сопряжена с ней цилиндрической поверхностью и шпоночным соединением со шпонкой-фиксатором 6 и имеет глухое резьбовое отверстие, внутри которого размещен крепежный винт 7, зафиксированный от поворота через стопорную шайбу 8 и собственную шестигранную головку, жестко прижатую к торцу цапфы-втулки 3. По второму варианту конструкция содержит сквозное резьбовое отверстие внутри оси 5.

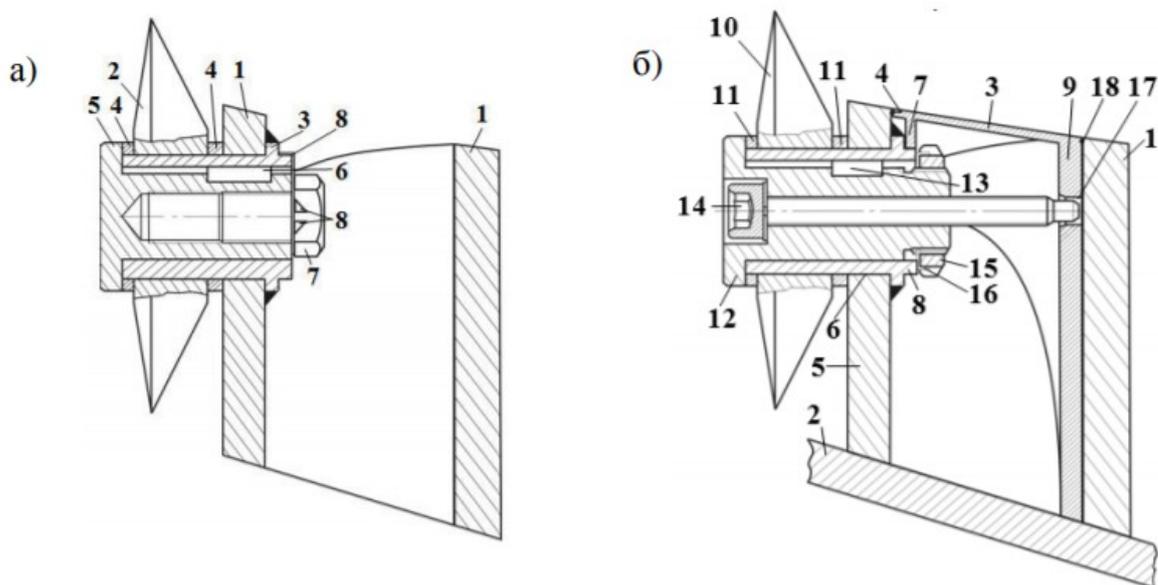


Рисунок 2.2 – Варианты узла крепления дискового инструмента в трехгранной призме: а – с глухим резьбовым отверстием; в – с трехгранной крышкой.

Для защиты внутреннего пространства трехгранной призмы с узлом крепления дискового инструмента от проникновения разрушенной горной массы при эксплуатации комбайна, а также для повышения эффективности монтажных и демонтажных операций, предложена конструкция на рисунке 2.2, б.

Конструкция содержит трехгранную призму 1, жестко закрепленную на наружной поверхности разрушающе-погрузочной коронки 2 и трехгранную крышку 3 с технологическими камерами-канавками 4 для демонтажа. Конструкция трехгранной призмы 1 включает в себя забойную грань 5 со сквозным цилиндрическим отверстием 6. Трехгранная крышка 3 имеет опорную перегородку 7 с полуцилиндрическим зевом, опирающимся на неподвижную цапфу-втулку 8, а с другой стороны имеет крепежную стойку 9, опирающуюся на поверхность корпуса разрушающе-погрузочной коронки 2. Цапфа-втулка 8 жестко закреплена на внутренней поверхности забойной грани 5 трехгранной призмы 1, консольная часть которой проходит через отверстие 6 во внешнее пространство.

Дисковый инструмент 10, установленный с возможностью вращения на цапфе-втулке 8 с дистанционными торцевыми шайбами 11, зафиксированных в осевом направлении внутренней торцевой поверхностью упорного буртика оси 12, которая размещена внутри цапфы-втулки 8. Наружная цилиндрическая поверхность оси 12 с упорным буртиком через шпонку-фиксатор 13 соединена подвижно в осевом направлении с внутренней поверхностью цапфы-втулки 8.

Ось 12 содержит сквозное резьбовое отверстие, внутри которого размещен крепежный винт 14 с цилиндрической головкой и шестигранным углублением под ключ и с упорным торцом в виде конуса, переходящим в цилиндрическую ступень, которая переходит в фаску с участком длинной резьбы крепежного винта 14.

Для фиксации от осевого смещения по шпоночному соединению, ось 12 имеет консольный участок с внешней резьбой во внутреннем пространстве трехгранной призмы 1 для размещения круглой шлицевой гайки 15 и стопорной много лапчатой шайбы 16. Цилиндрическая поверхность крепежного винта 14 размещена в конически-цилиндрическом отверстии 17 крепежной стойки 9 и фиксирует от перемещений трехгранную крышку 3 с уплотнительным кольцом 18.

Для осуществления пылеподавления при разрушении, дроблении и погрузке горной массы трехгранными призмами с дисковым инструментом с обеспечением возможности проведения монтажно-демонтажных операций в призабойном пространстве в процессе эксплуатации проходческого комбайна избирательного действия предлагается устройство пылеподавления на рисунке 2.3.

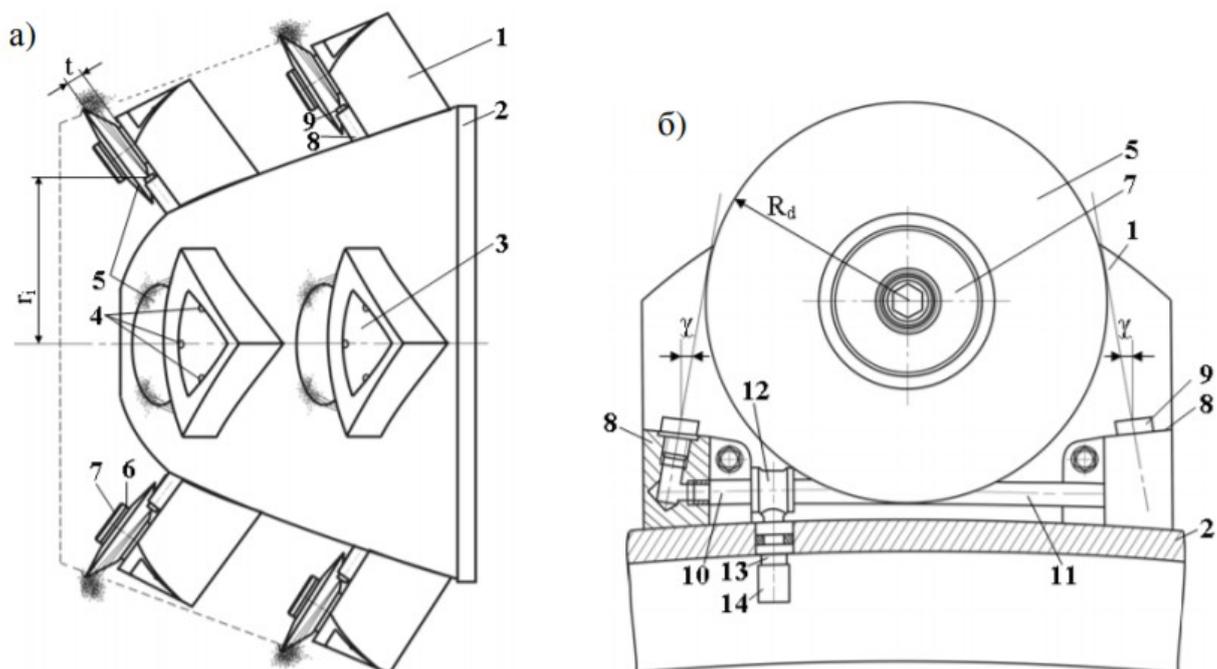


Рисунок 2.3 – Реверсивная коронка проходческого комбайна с дисками:
 а – общий вид коронки; б – схема формирования струй системы пылеподавления.

Данное устройство содержит трехгранную призму 1, жестко закрепленную на наружной поверхности разрушающе-погрузочной коронки 2 и трехгранную крышку 3 с технологическими камерами-канавками 4. Дисковый инструмент 5 установлен с возможностью вращения на цапфевтулке с дистанционными торцевыми шайбами 6, зафиксированными в осевом направлении внутренней торцевой поверхностью упорного буртика оси 7.

На поверхности внешней забойной грани трехгранной призмы 1 размещены две бонки 8. На верхней поверхности каждой бонки 8 установлены форсунки 9 под углом атаки γ . Выходные сопла форсунок 9 размещены на радиусе r_i относительно оси вращения разрушающе-погрузочной коронки 2 в плоскости параллельной плоскости забойной грани трехгранной призмы 1 внутри пространства, ограниченного расстоянием t .

При этом оси выходных сопел форсунок 9 расположены в плоскости, пересекающей обод дискового инструмента 5 с кольцевой режущей кромкой по сегменту, хорда которого удалена от оси вращения дискового инструмента 5 на $4/5$ его радиуса R_d . Патрубки 10 и 11 присоединены к бонкам 8, и между собой соединены тройником 12, который в свою очередь присоединен к ниппелю 13 с обратным клапаном 14. Для повышения эффективности монтажно-демонтажных операций в призабойном пространстве подземной горной выработки при замене узла крепления дискового инструмента в трехгранной призме предлагается устройство (рисунок 2.4).

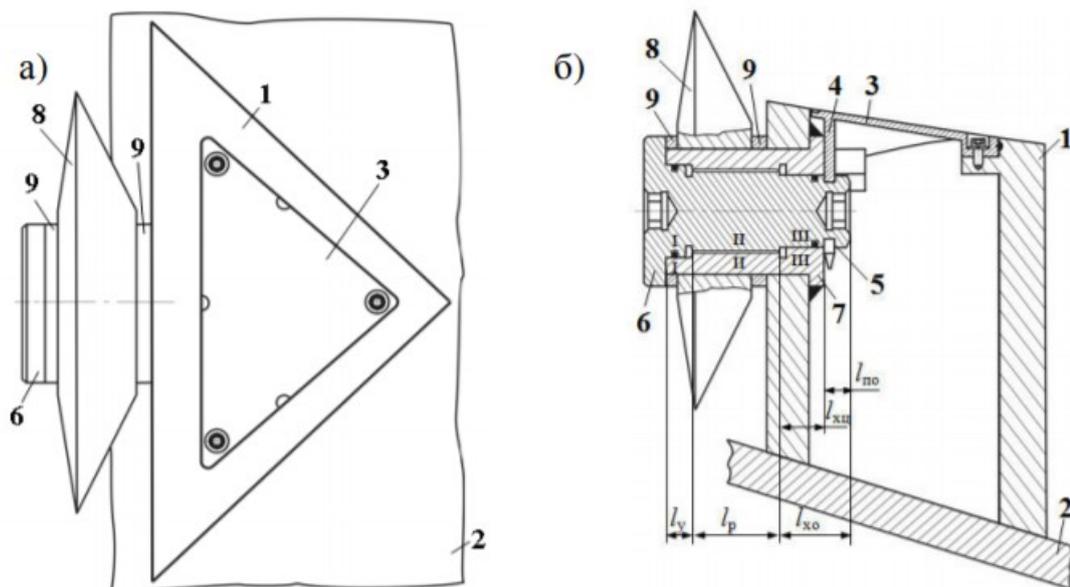


Рисунок 2.4 – Устройство трехгранной призмы с узлом крепления дискового инструмента: а – вид сверху; б – радиальное сечение.

Предлагаемый узел крепления дискового инструмента на рабочем органе горного комбайна содержит трехгранную призму 1, жестко закрепленную на наружной поверхности коронки 2 проходческого комбайна и трехгранную крышку 3. Со стороны передней грани внутренняя поверхность трехгранной крышки 3 содержит опорную силовую стойку-фиксатор 4, которая в виде единой пластины, содержащей конструктивно-сопряженные между собой внутренний полуцилиндрический зев с двумя направляюще-ориентирующими усами из прямоугольных призм, толщина которых меньше ширины проточки 5 оси 6 с упорным буртиком на величину допустимого осевого люфта.

2.1 Анализ методик исследований напряженно-деформированного состояния породоразрушающего инструмента горных выемочных машин

Для изучения вопросов напряженного состояния породоразрушающего инструмента были проанализированы методики различных испытаний. Исследования напряженного состояния тангенциальных поворотных резцов (ТПР) с различными формами головной части и технологическими дефектами.

Рассмотрено влияние различных дефектов на прочность ТПР, расчет производился с использованием численного метода (метода конечных элементов). Вид конечного элемента и его размер оказывают существенное влияние на достоверность результатов расчета.

Метод конечных элементов (МКЭ) основан на идеализации сплошного тела (континуума) совокупностью конечных элементов, взаимодействующих между собой в конечном числе узловых точек и вполне подходит для предварительного суждения о напряжениях и деформациях. Для расчета автором была использована система Ansys 9.0 интегрированная в программный комплекс Solid Works 2007.

Эта программа позволяет выполнять расчеты двух- и трехмерных тел для случаев плоского и объемного напряженного-деформированного состояний, результаты вычислений соответствуют 3 (теория максимальных касательных напряжений) и 4 (критерий максимальной энергии формообразования) теории прочности и выводятся в качестве напряжений по Мизесу и интенсивности напряжений. В качестве конечного элемента был выбран SOLID 95 (рисунок 2.5), применяемый при расчетах трехмерных тел и представляющий собой объемный шестигранник подобный SOLID 45, но имеющий не 8, а 20 узлов.

К узлам, находящимся в вершине, добавлены промежуточные узлы на серединах сетки. Он поддерживает элементы вырожденной формы: четырехугольные, призматические, пирамидальные. Объектом для расчета принята упрощенная модель резца. Упрощение заключалось в принятии корпуса резца и твердосплавной вставки, как однородной конструкции. На рисунке 2.6 представлено приложение нагрузки к ТПР.

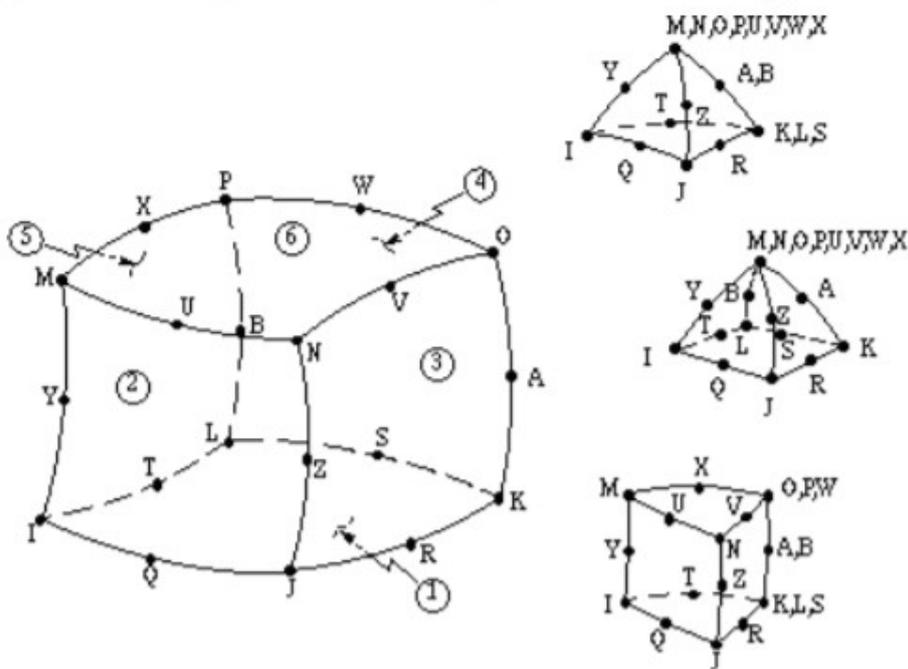


Рисунок 2.5 – Элемент SOLID 95.

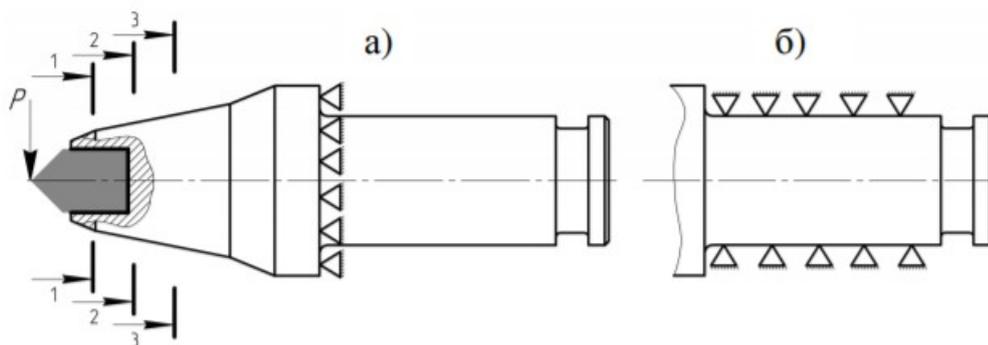


Рисунок 2.6 – Приложения нагрузки и ограничений к ТПР: а – головная часть резца представлена жесткозакрепленной консольной балкой; б – закрепление, моделирующее неполную посадку резца, Р – изгибающая сила.

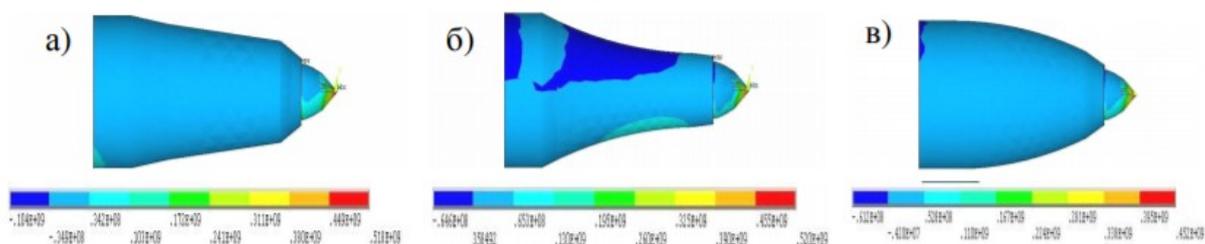


Рисунок 2.7 – Напряженное состояние головных частей (S1): с линейной (а), с вогнутой (б), с выпуклой (в) образующей.

Результаты расчета представлены напряжениями, действующими на главных площадках (S1, S2, S3), а также нормальными напряжениями (S_x , S_y , S_z) и эквивалентными напряжениями. Исследование напряженного состояния головных частей тангенциальных поворотных резцов позволяет оптимизировать их конструкцию и определить область применения той или иной формы головной части резца.

Сравнение напряжений возникающих в теле резца позволило сделать вывод, что наиболее прочной является выпуклая головная часть, а наименее - вогнутая. Наибольшее распространение для получения информации о напряженно-деформированном состоянии материалов, подвергающихся обработке давлением, получил программный комплекс DEFORM-3D.

Положительным аспектом программы DEFORM-3D является и то, что геометрию инструмента и заготовки можно импортировать из CAD (CAE) программ (систем автоматического проектирования - Компас, SolidWorks, Autodesk Inventor, CATIA и др.), что существенно облегчает построение объектов, имеющих сложную конфигурацию. Также программа дает возможность моделировать весь технологический процесс производства изделия, включая термическую и механические обработки.

3. Исследование и разработка параметров исполнительного органа проходческого комбайна КСП32 в условиях шахты Казахстанской

В процессе проходки горной выработки, перед каждым рабочим циклом, первоначально осуществляют зарубку двух корончатого исполнительного органа на ширину захвата B_3 , разрушающе-погрузочными коронками 13, 14 (рисунок 3.1, б). При этом стрела перемещается по направлению движения $1'$ от кровли выработки к почве с постепенным телескопическим удлинением по стрелке K от $B_3 = 0$ до требуемой величины B_3 и после этого производят подъемно-поворотное перемещение стрелы по стрелке L от почвы к кровле выработки по направлению движения $2'$. На рисунке 3.2 представлено начальное положение коронки для иллюстрации взаимного расположения трехгранных призм с дисковыми инструментами в центральной зоне пересечения траекторий движения. При этом бесконтактный режим вращения трехгранных призм с дисковыми инструментами в центральной зоне обеспечен их относительным сдвигом в зоне выступов и впадин на угол $22,5$ градуса. На рисунке 3.2, а, б представлено движение коронки вверх и вниз соответственно.

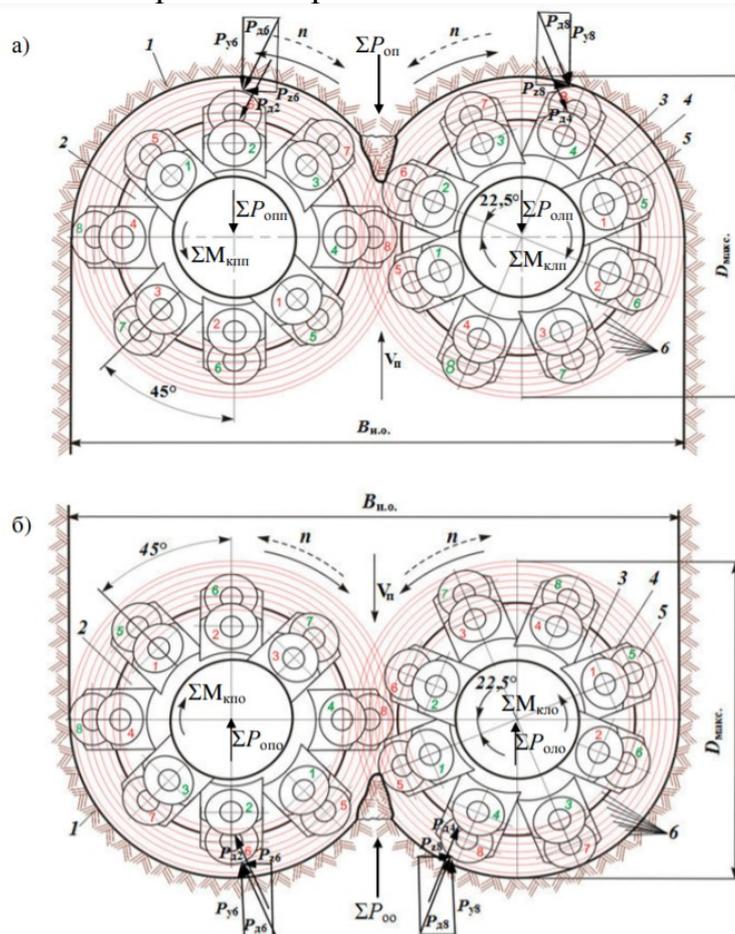


Рисунок 3.2 – Траектории движения трехгранных призм и дискового инструмента с пересечением без контакта в центральной зоне проходческого забоя: 1 – врубовая поверхность; 2 и 3 – радиальные правая и левая коронки;

4 – трехгранная призма; 5 – дисковый инструмент; 6 – семейство окружностей перемещения лезвий дисков; Ви.о. – ширина исполнительного органа; D_{макс.} – диаметр максимальной окружности перемещения лезвий дискового инструмента, а) б) $\Sigma P_{оп}$ $\Sigma M_{кпп}$ $\Sigma M_{клп}$ $\Sigma P_{олп}$ $\Sigma M_{кпо}$ $\Sigma M_{кло}$ $\Sigma P_{опо}$ $\Sigma P_{оло}$ $\Sigma P_{опп}$.

В соответствии со схемой набора (рисунок 3.2) и количеством одинаковых групп дисков на трехгранных призмах осуществляется поворот каждой радиальной группы дисков на условно фиксированные угловые положения через 45 градусов. Это составляет в контакте с забоем в секторе его охвата на 180° восемь условных фиксированных положений внедрения диска в забой за один полный цикл оборотов двух реверсивных радиальных коронок.

При этом положении коронок с поворотом на 45 градусов обеспечено бесконтактным, кинематическим связанным размещением в зоне пересечения траекторий движения трехгранных призм с дисками №4 и №8 правой коронки с опережением на 22,5 градуса трехгранных призм с дисками №2 и №6 левой коронки при встречном направлении вращения со стороны поверхности забоя и соответственно с отставанием на 22,5 градуса от левой коронки при попутном направлении вращения.

$\Sigma P_{опп}$, $\Sigma P_{олп}$ – суммарные осевые усилия на правой и левой коронках при подъеме стрелы;

$\Sigma P_{опо}$, $\Sigma P_{оло}$ – суммарные осевые усилия на правой и левой коронках при опускании стрелы;

$\Sigma P_{опб}$, $\Sigma P_{олб}$ – суммарные осевые усилия на правой или левой коронках при боковых перемещениях стрелы;

$\Sigma M_{кпп}$, $\Sigma M_{клп}$ – суммарные крутящие моменты на правой или левой коронках при подъеме стрелы;

$\Sigma M_{кпо}$, $\Sigma M_{кло}$ – суммарные крутящие моменты на правой и левой коронках при опускании стрелы;

$\Sigma M_{кпб}$, $\Sigma M_{клб}$ – суммарные крутящие моменты на правой и левой коронках при боковых перемещениях стрелы;

$V_{п}$ – направление скорости перемещения стрелы с коронками;

$\Sigma P_{оп} = \Sigma P_{опп} + \Sigma P_{олп}$ – суммарные осевые усилия на сдвоенных коронках при подъеме стрелы;

$\Sigma P_{оо} = \Sigma P_{опо} + \Sigma P_{оло}$ – суммарные осевые усилия на сдвоенных коронках при опускании стрелы;

$P_{y1} \dots P_{y8}$ – осевые усилия на каждом из восьми одиночных дисках;

$P_{z1} \dots P_{z8}$ – окружные усилия на каждом из восьми одиночных дисках;

$R_{д1} \dots R_{д8}$ – результирующие усилия на каждом из восьми одиночных дисках. Во время работы дисковый инструмент своей передней частью по дуге ОА внедряется в породу на глубину h (рисунок 3.2, б). При этом каждая точка его лезвия описывает циклоиду.

3.1 Последовательность выбора системы разработки

Важнейшим показателем, характеризующим эффективность работы проходческих комбайнов, является расход режущего инструмента, так как он влияет на себестоимость проходки и на производительность комбайна, поскольку для замены изношенного рабочего инструмента приходится останавливать комбайн, что снижает коэффициент готовности машины.

С увеличением удельного расхода резцов возрастает вероятность работы исполнительного органа с частично изношенным инструментом, что приводит к увеличению удельной энергоемкости процесса разрушения, увеличению динамических нагрузок и аварийности оборудования. Это особенно сказывается при работе по твердым включениям.

Таким образом, в связи с низкой прочностью и износостойкостью резцов работа проходческих комбайнов, оснащенных рабочими органами с резцовым инструментом при отработке пластов с твердыми включениями имеет ряд недостатков: большой износ и расход резцов; высокая динамичность работы; малая эффективность или невозможность применения комбайнов для проходки выработок в пластах с наличием большого количества твердых включений с высокой абразивностью.

В качестве альтернативного варианта повышение производительности и расширения области применения проходческих комбайнов на породы повышенной крепости предложен гидромеханический способ разрушения, заключающийся в комбинированном воздействии на породный массив высокоскоростных струй воды и механического инструмента.

Другим направлением создания эффективного пород разрушающего инструмента является использование дискового инструмента, нашедшего применение на рабочих органах буровых, очистных и проходческих горных машин и расширяющего область применения механического способа разрушения угольных пластов и пресекаемых горных пород в диапазоне предела прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$ от 12 до 100 МПа и выше.

Информация об условиях эксплуатации, свойствах и структуре забойных массивов формирует исходные данные для расчета нагрузок на породы разрушающем инструменте, рабочих органах и выборе типов исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия.

Представляют интерес результаты производственных исследований, в которых использованы дисковые инструменты на рабочих органах проходческих комбайнах избирательного действия для механического способа разрушения углей и крепких горных пород.

Общий вид, схемы набора и расстановки пород разрушающих инструментов на опытных образцах рабочих органов представлены на рисунках 3.3 – 1.11 со следующими элементами: 1 – коронка; 2 – дисковый

инструмент; 3 – резец; 4 – забурник; 5 – зарубиной диск; 6 – погрузочная лопасть.

Методика и условия проведения производственных испытаний реализованы при проведении выработок по рудным и угольным пластам с твердыми включениями и прослойками с пределом прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ до 87 МПа и $\sigma_{сж}$ до 112 МПа. Испытания проводились в два этапа. Первый этап включал в себя следования комбайна, оборудованного серийным рабочим органом, второй – экспериментальным рабочим органом, оснащенный дисковыми инструментами. В процессе сравнительных исследований определялись силовые, энергетические показатели работы комбайна и удельный расход рабочего инструмента.

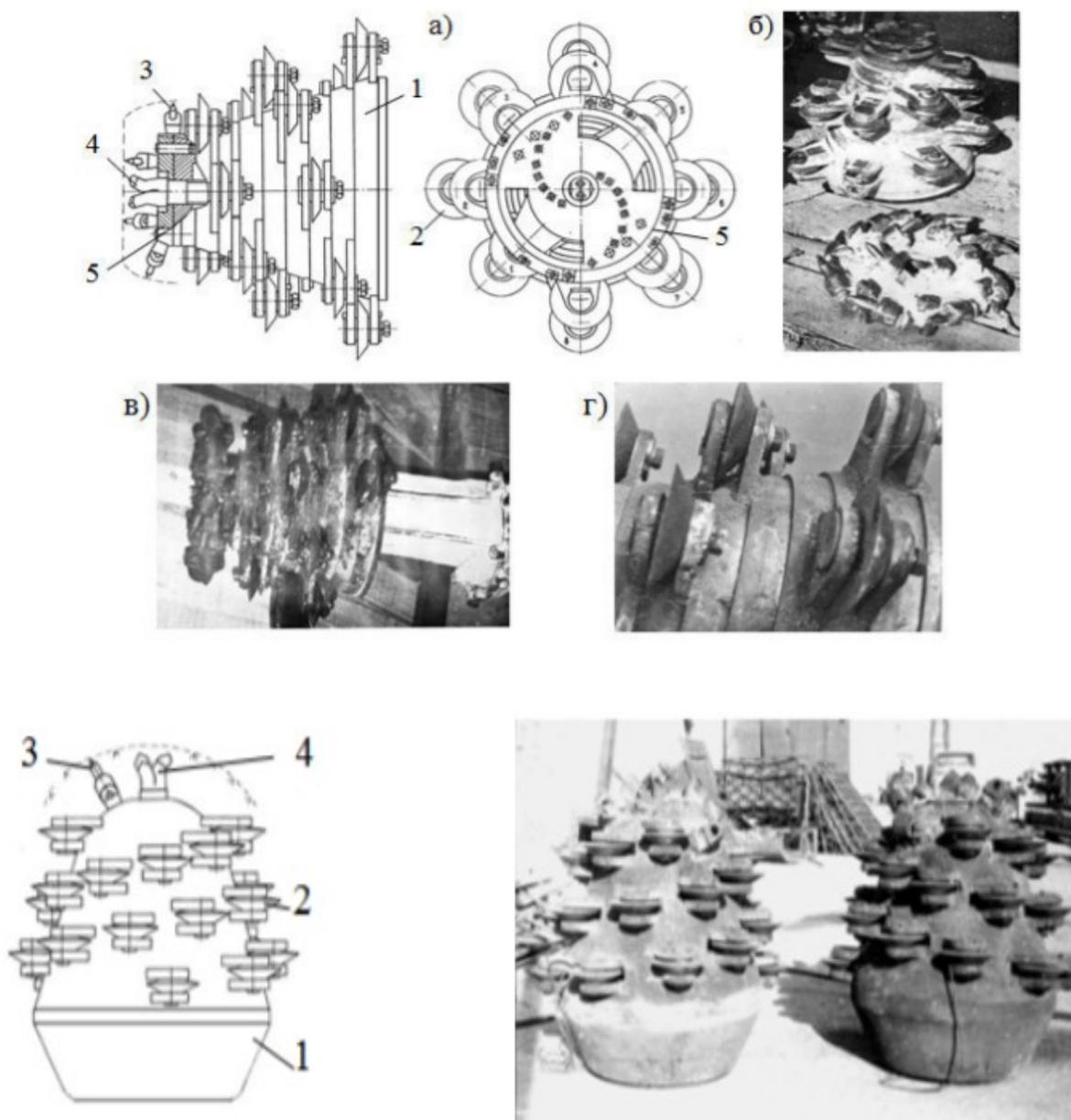


Рисунок 3.3 - Рабочий орган 1-го типа.

Основные элементы дискового инструмента имеют следующие геометрические параметры: диаметр $D = 0,16$ м, угол заострения $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 30 \div 35^\circ$. Во время испытаний была выявлена трудоемкость прямого забуривания телескопом стрелы рабочего органа из-за высоких осевых нагрузок. Конструкция рабочего органа показала более высокую работоспособность, особенно в режиме запаривания. На рабочем органе с погрузочными лопастями было отмечено налипание песчано-глинистых пород и резкое ухудшение погрузочной способности при работе в воды насыщенных пластах.

Удовлетворительная энергоемкость и расширенная область применения проходческих комбайнов по прочности горных пород были получены при эксплуатации коронок.

В целом обобщенный анализ известных исследований процесса разрушения горных пород и углей дисковыми инструментами показывает, что его влияние на режимы нагружения исполнительных органов различных горных машин носит неоднозначный характер, затрудняющий разработку универсальной модели напряженно-деформированного состояния отдельных узлов и деталей.

Это ограничивает возможности применимости известных методик расчета и проектирования проходческих комбайнов избирательного действия с дисковым инструментом на исполнительных органах. Кроме того, обобщенный анализ современного уровня развития горнопроходческой техники показывает, что в известных научных исследованиях и конструкторских разработках отсутствует информация о совмещении процессов разрушения, дробления негабаритов и погрузки разрушенной горной массы и реализации реверсивных режимов работы коронок на исполнительных органах проходческих комбайнов избирательного действия с дисковым инструментом.

Перспективным и важным направлением представляется разработка конструкции модульных блоков с узлами консольного крепления дискового инструмента на многогранных призмах корпусов рабочих органов проходческих комбайнов с целью снижения и повышения эффективности процесса монтажно-демонтажных операций при замене дисковых инструментов в призабойном пространстве.

3.2 Анализ результатов исследований параметров разрушения горных пород исполнительным органом

Использование конечно-элементных моделей различных вариантов конструкций консольных узлов крепления дискового инструмента к многогранным призмам (рисунок 3.4) позволяет в режиме статического нагружения при контакте с разрушаемыми забойными массивами определить параметры эквивалентных напряжений по критерию Мизера и деформации.

Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния консольного узла крепления дискового инструмента представлены на рисунках 3.5.

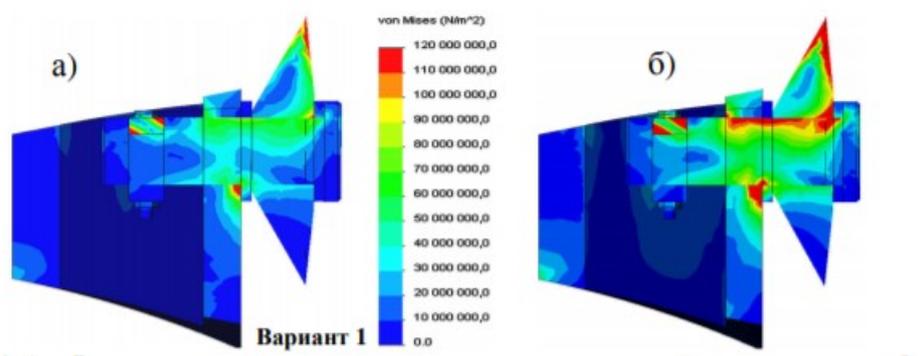


Рисунок 3.4– Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в узле крепления биконического дискового инструмента ($\varphi = 25^\circ + 5^\circ = 30^\circ$) для условий: а – $\sigma_{сж} = 70$ МПа; б – $\sigma_{сж} = 120$ МПа.

На рисунке представлены зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{экр}$ от диаметров D сопряженных конструктивных элементов консольных узлов крепления дискового инструмента к трехгранным призмам для разрушения забойного массива горных пород с $\sigma_{сж} = 70$ МПа.

Углы заострения дисков составляют: 1 – $\varphi = 5^\circ + 25^\circ$; 2 – $\varphi = 10^\circ + 20^\circ$; 3 – $\varphi = 15^\circ + 15^\circ$; 4 – $\varphi = 0^\circ + 30^\circ$. Характерные сечения проходят через лезвия дисков и пересекают следующие сопрягаемые элементы: - для первого варианта, а (диск, ось-цапфа), - для второго и третьего вариантов на рисунках, б, в (диск, цапфа, ось с упорным буртиком). Материал для всех деталей сталь 35ХГСА.

Для консольных узлов крепления дискового инструмента к забойным граням трехгранных призм зоны концентрации максимальных эквивалентных напряжений $\sigma_{экр}$ по критерию Мизера смещены к лезвию дискового инструмента с минимальным объемом в контакте с разрушаемым массивом при статическом нагружении с минимальным значением для всех типов биконических дисковых инструментов с вариантом крепления гайкой. При этом величина максимальных значений $\sigma_{экр}$ изменяется от 100 до 120

МПа для горных пород с $\sigma_{сж}$ от 70 МПа до 120 МПа, что значительно ниже предела текучести для стали 35ХГСА ($\sigma_T = 490$ МПа).

Максимальные уровни деформационных перемещений дискового инструмента в сопряженных конструктивных элементах узлов крепления не превышают 0,045 мм. При сравнении зависимостей $\sigma_{эКВ}$ от диаметра D по трем вариантам консольных узлов крепления видно, что на участке D = 140 мм для конического диска $\phi = 0^\circ + 30^\circ$: по вариантам 1 и 2 – $\sigma_{эКВ} = 105$ МПа, а для варианта 3 – $\sigma_{эКВ} = 100$ МПа.

При сравнении зависимостей на том же участке D = 140 мм для биконического диска $\phi = 15^\circ + 15^\circ$ получаем: для варианта 1 – $\sigma_{эКВ} = 51$ МПа, а для вариантов 2 и 3 – $\sigma_{эКВ} = 30$ МПа, то есть разница 21 МПа или 41%.

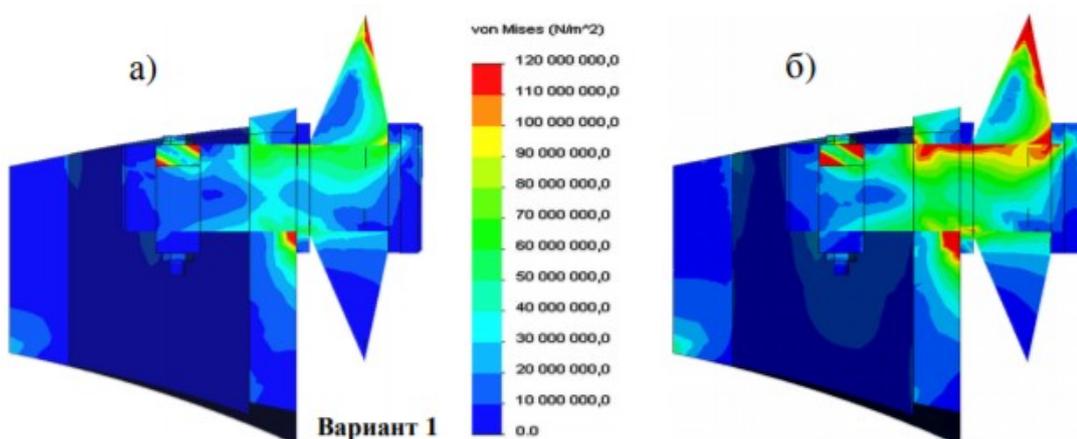


Рисунок 3.2 – Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в узле крепления биконического дискового инструмента ($\phi = 20^\circ + 10^\circ = 30^\circ$) для условий: а – $\sigma_{сж} = 70$ МПа; б – $\sigma_{сж} = 120$ МПа

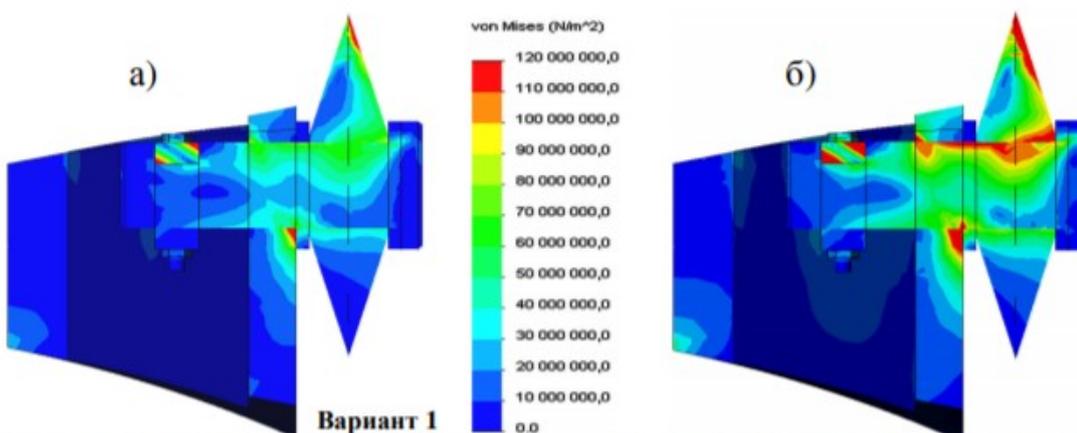


Рисунок 3.3 – Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в узле крепления биконического дискового инструмента ($\phi = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$) для условий: а – $\sigma_{сж} = 70$ МПа; б – $\sigma_{сж} = 120$ МПа

Заключение

В научно-исследовательской работе обоснованы и исследованы новые технические решения по разработке стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна с дисковым инструментом на многогранных призмах для проведения выработок в структурно-неоднородных горных породах, имеющие существенное значение для горного машиностроения.

Проведенные исследования позволили получить следующие результаты:

1. Обоснованы технические решения по совершенствованию и выбору конструктивных, кинематических и силовых параметров консольных узлов крепления дискового инструмента на многогранных призмах для совмещения процессов разрушения, дробления и погрузки горных пород при реверсивных режимах работы стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна.

2. Установлено, что усилия боковые P_x , подачи P_y и перекачивания P_z на отдельных дисковых инструментах прямо пропорционально зависят от прочности разрушаемого забойного массива $\sigma_{сж}$ (от 50 до 140 МПа) и при углах наклона продольной оси узла крепления дискового инструмента к оси вращения коронки ϕ_k (0° , 10° и 18°) соотносятся друг к другу $P_y = 3,1P_z$, $P_x = 1,22P_z$ и возрастают как при увеличении шага разрушения tr от 0,03 м до 0,055 м в 1,35 раза, так и при увеличении угла ϕ_k от 10° до 18° на: 12 % (для диска 1 с $\phi = 5^\circ+25^\circ$); 9,9 % (для диска 2 с $\phi = 10^\circ+20^\circ$); 8 % (для диска 3 с $\phi = 15^\circ+15^\circ$) и 14,4 % (для диска 4 с $\phi = 0^\circ+30^\circ$), имеют минимальные значения на биконическом дисковом инструменте ($\phi = 15^\circ+15^\circ$), а максимальные – на коническом ($\phi = 0^\circ+30^\circ$).

3. Определены зависимости эквивалентных напряжений $\sigma_{эkv}$ на отдельном дисковом инструменте с консольными узлами крепления к многогранным призмам от прочности горных пород, которые описываются полиномами шестой степени для трехгранных и четырехгранных призм с отдельными дисками, и четвертой степени для спаренных дисков на четырехгранных призмах.

4. Выявлены зоны максимальных эквивалентных напряжений $\sigma_{эkv}$, которые для консольных узлов крепления отдельного дискового инструмента к трехгранным призмам составляют 120 МПа, к четырехгранным призмам составляют 180 МПа при отдельном креплении двух дисков и 100 МПа при спаренном креплении двух дисков со смещением зон концентраций к кромкам дисков, поверхностям граней призм, обращенным в зону контакта с забойным массивом, местам расположения шпоночных и шлицевых соединений.

5. Установлено, что зависимости усилий P_y , P_z и моментов M_k на отдельных дисковых инструментах от контактной прочности R_k носят

прямолинейный характер, а зависимости моментов M_k от угла ρ фиксированных положений поворота коронок описываются полиномами третьей степени для левой коронки и полиномами шестой, четвертой степени для правой коронки.

6. Определено, что зависимости суммарных усилий ΣP_{yi} и крутящих моментов ΣM_k на отдельных коронках стреловидного исполнительного органа от угла ρ фиксированных положений поворота коронок описываются полиномами пятой степени с учетом периодичности входа и выхода дисковых инструментов из контакта с породой и реверсивных режимов работы.

Список использованной литературы

1. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за 2006 год / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2007. – № 3. – С. 23–29.
2. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за 2007 год / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2008. – № 3. – С. 39–46.
3. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за 2008 год / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2009. – № 3. – С. 45–52.
4. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за 2009 год / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2010. – № 3. – С. 34–42.
5. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за 2010 год / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2011. – № 3. – С. 37–45.
6. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за 2011 год / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2012. – № 3. – С. 40–50.
7. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за 2012 год / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2013. – № 3. – С. 78–90.
8. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за 2013 год / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2014. – № 3. – С. 53–66.
9. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2014 года / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2015. – № 3. – С. 56–71.
10. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2015 года / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2016. – № 3. – С. 58–72.
11. Штумпф, Г.Г. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна: Справочник / Г.Г. Штумпф, Ю.А. Рыжков, В.А. Шаламанов, А.И. Петров. – М.: Недра, 1994 – 447 с.
12. Кузнецов, В.В. Обоснование параметров и разработка исполнительного органа проходческого комбайна, оснащенного дисковым инструментом: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.В. Кузнецов. – Кемерово, 1992. – 16 с.
13. Нестеров, В.И. Опыт эксплуатации проходческих комбайнов избирательного действия (на примере шахт ОАО “СУЭК-Кузбасс”) / В.И. Нестеров, А.А. Хорешок, Б.Л. Герике, В.В. Кузнецов, Ю.В. Дрозденко, С.Г. Мухортиков // Горная техника: добыча, транспортировка и переработка полезных ископаемых: каталог-справочник, 2012. – СПб.: Славутич. – С. 20–23.
14. Хорешок, А.А. Выбор технологических схем и оборудования для отработки угольных пластов на шахтах ОАО "СУЭК-Кузбасс" / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, В.И. Нестеров, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 5. – С. 3–10.
15. Хорешок, А.А. Влияние условий эксплуатации горных комбайнов на конструкцию их исполнительных органов / А.А. Хорешок, А.М. Цехин,

А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – № 6. – С. 2–5.

16. Леванковский, И.А. Научные основы создания высокоэффективных инструментов для разрушения горных пород и породосодержащих композитов: автореф. дис. ... докт. техн. наук / И.А. Леванковский. – М., 2000. – 34с.

17. Хорешок, А.А. Производство и эксплуатация разрушающего инструмента горных машин: монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов, П.В. Бурков, С.П. Буркова, П.Д. Крестовоздвиженский ; Юрг. технолог. ин-т – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. – 296 с.

18. Крестовоздвиженский, П.Д. Повышение прочности тангенциальных поворотных резцов горных очистных комбайнов: дис. ... канд. техн. наук / П.Д. Крестовоздвиженский. – Кемерово, 2011. – 199 с.

19. Хорешок, А.А. Опыт эксплуатации рабочего инструмента исполнительных органов горных машин на шахтах Кузбасса / А.А. Хорешок, А.М. Цехин, В.В. Кузнецов, А.Ю. Борисов, П.Д. Крестовоздвиженский // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 4. – С. 8–11.

20. Габов, В.В. Особенности эксплуатации проходческих комбайнов на шахтах ОАО «Воркутауголь» / В.В. Габов [и др.] // Горн. оборудование и электромеханика. – 2008. – № 12. – С. 2–6.

21. Белич, Е.В. Испытание нового горно-режущего инструмента в шахтах Воркуты / Е.В. Белич, Л.М. Гусельников, Д.А. Задков, А.А. Подосенов // Горное. оборудование и электромеханика. – 2007. – № 8. – С. 2–5.