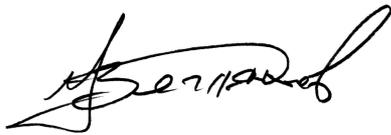


На правах рукописи



Бегляков Вячеслав Юрьевич

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГЕОХОДА С ПОРОДОЙ ЗАБОЯ

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Кемерово – 2012

Работа выполнена в Юргинском технологическом институте (филиале) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук,  
Аксенов Владимир Валерьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Хорешок Алексей Алексеевич

кандидат технических наук  
Копытин Валерий Александрович

Ведущая организация: ООО «Юргинский машзавод»

Защита состоится 20 марта 2012 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.102.01 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28. Факс (3842) 36-16-87

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Автореферат разослан «\_\_\_» февраля 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



А.Г. Захарова

## Общая характеристика работы

### Актуальность работы.

Освоение подземного пространства, связанное на протяжении многих веков с добычей полезных ископаемых и со строительством подземных сооружений различного назначения, всегда базировалось на технологии проведения выработок.

Следует ожидать, что интенсивность освоения подземного пространства странами мирового сообщества, включая Россию, уже в ближайшее время будет существенно увеличиваться. Остро встают задачи повышения скорости проходки и снижения стоимости работ.

Существующие горнопроходческие системы и технологии проведения горных выработок не соответствуют задачам, возникающим при интенсификации освоения подземного пространства.

На основании ряда проведенных исследований был предложен отличный от традиционного инновационный подход к процессу проведения горных выработок, основная идея – рассматривать проходку выработок, как процесс движения твердого тела (проходческого оборудования) в твердой среде. Данный подход лежит в основе геовинчестерной технологии проведения горных выработок, базовым функциональным элементом которой является геолод.

В настоящее время ведутся работы по созданию нового поколения геолодов. Одной из основных систем геолода является *исполнительный орган* (ИО). Существующие исполнительные органы проходческих систем не соответствуют особенностям работы геолода. Отсутствуют конструктивные решения ИО геолодов, учитывающие влияние формы *поверхности взаимодействия исполнительного органа геолода с породой забоя* (ПВ) на условия разрушения породы. Сдерживающим фактором в разработке компоновочных и конструктивных решений ИО геолодов является отсутствие методик определения параметров рациональных ПВ. Поэтому работа, направленная на обоснование параметров поверхности взаимодействия исполнительного органа геолода с породой забоя является актуальной.

**Цель работы** – обоснование параметров поверхности взаимодействия исполнительного органа геолода с породой забоя и получение предпосылок к уменьшению энергоемкости разрушения породы.

**Идея работы** заключается в обеспечении смещения значений главных напряжений в породе забоя в сторону растяжения.

### Задачи:

1. Разработать схемные решения ПВ и модель взаимодействия ИО с породой забоя;
2. Определить влияние параметров ПВ на *напряженно-деформированное состояние* (НДС) породы забоя;
3. Обосновать рациональную форму ПВ.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач в работе использовался комплекс методов, включающий:

- математическое моделирование взаимодействия ИО с породой;
- метод конечных элементов (МКЭ);
- применение ограничений и допущений при формировании условий задач;

- выявление, графическое отображение и анализ зависимостей НДС породы от геометрических параметров поверхности взаимодействия ИО с породой забоя и способов приложения нагрузок;
- сравнительный анализ различных форм забоя и схем приложения нагрузок.

#### **Научные положения, выносимые на защиту:**

- преимущества формы забоя с уступом, выявленные на этапе моделирования процесса силового взаимодействия ИО геохода с породой забоя, позволяют определить комплекс характеристик ПВ, которые должны использоваться в качестве исходных данных к проектированию ИО геоходов;
- значения главных напряжений в породе в точке забоя зависят от отношения  $(r/h_g)$  радиальной координаты  $r$  точки к шагу  $h_g$  винтовой линии движителя, причем зависимость НДС от расстояния до оси выработки в центральной области забоя проявляется сильнее, чем в периферийной области, а размер центральной области зависит от шага движителя геохода.
- рациональная форма образующей забоя обеспечивает контролируемое смещение главных напряжений в породе забоя, причем увеличение угла между образующей забоя и фронтальной плоскостью выработки приводит к смещению напряжений в сторону растяжения, а влияние угла наклона образующей в центральной области забоя проявляется сильнее, чем в периферийной области.

**Достоверность и обоснованность научных положений,** выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, обеспечиваются корректностью допущений при разработке условий задач математического моделирования; гарантируются использованием фундаментальных положений механики, сопротивления материалов, прикладной математики, доказываются логической сходимостью результатов исследований, проводимых на разных этапах работы.

#### **Научная новизна работы:**

- разработаны схемные решения ПВ, введены понятия элементов и параметров ПВ, определены принципы их классификации;
- разработаны модели взаимодействия исполнительного органа геохода с породой забоя, определено влияние параметров ПВ на НДС породы забоя;
- определено влияние угла наклона образующей забоя на параметры уступа и на НДС породы забоя;
- получены рациональные формы образующей забоя и ПВ, обеспечивающие смещение главных напряжений в породе в сторону растяжения;

#### **Практическая ценность работы:**

- полученный комплекс характеристик ПВ может и должен использоваться в качестве исходных данных при проектировании ИО геоходов;
- исходные данные для проектирования ИО геоходов позволяют создать рациональные конструктивные решения, добиться уменьшения удельной энергоемкости разрушения породы;
- обоснованный в работе способ приложения нагрузок при моделировании взаимодействия ИО с породой позволяет упростить процесс и расширить область применения моделирования при научных исследованиях процессов взаимодействия элементов горных машин с геосредой.

**Реализация выводов и рекомендаций работы.** Результаты работы использовались при выполнении государственных контрактов № 78-ОПН-07п от

10 августа 2007 г. и № 26-ОП-08 от 04 февраля 2008г. «Разработка специальной технологии проходки аварийно-спасательных выработок в завалах при ликвидации техногенных катастроф».

**Личный вклад автора:**

- разработаны схемные решения ПВ, определены и систематизированы геометрические признаки поверхности забоя, а также оценки их влияния на работу и характеристики ИО геохода;
- созданы модели взаимодействия ИО геохода с породой забоя;
- определено влияние на НДС породы геометрических параметров: угла наклона ПВ, отношения толщины срезаемого слоя к диаметру исполнительного органа, отношения расстояния между уступами к толщине срезаемого слоя;
- определена рациональная форма ПВ и разработано конструктивное решение ИО геохода, соответствующее рациональной форме ПВ;

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и получили одобрение на: VI, VII Всероссийских научно-практических конференциях с международным участием «Инновационные технологии и экономика в машиностроении» (г. Юрга, 2008, 2009 гг.), X, XI, XII международных научно-практических конференциях «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности» (г. Кемерово, 2008, 2009, 2010 гг.), Международной конференции «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений» (г. Донецк, 2009 г.), I, II Международных научно-практических конференциях с элементами научной школы для молодых ученых «Инновационные технологии и экономика в машиностроении» (г. Юрга, 2010, 2011 гг.).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 12 печатных работ, в том числе 6 работ опубликовано в изданиях, входящих в перечень ВАК, и получен 1 патент на изобретение РФ.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения, изложенных на 139 страницах машинописного текста, содержащих 92 рисунка, 17 таблиц, список литературы из 77 наименований.

**Основное содержание работы**

**В первой главе** приведен обзор основных способов механизированной проходки горных выработок. Приведено краткое описание нового развивающегося вида проходческого оборудования – геоходов, (рисунок 1) устройство и теоретическое обоснование основных принципов работы которых, изложены в работах А.Ф. Эллера, В.В. Аксенова и В.Ф. Горбунова.

Приведен обзор конструктивных решений ИО геоходов, а также методов решения задач контактных взаимодействий упругих тел, программных продуктов, позволяющих решать эти задачи с применением ЭВМ.

**Во второй главе** приведено описание особенностей работы геохода, в соответствии с которыми разработаны требования к ИО геохода:

- соответствие геометрических параметров ИО геохода, параметрам его винтового движителя;
- разрушение забоя на шаг движителя за один оборот головной секции;

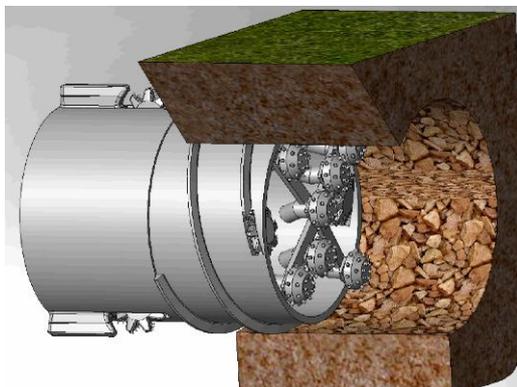


Рисунок 1 – Конструктивное исполнение геохода

– работоспособность и возможность размещения привода и инструмента в условиях ограниченного пространства;

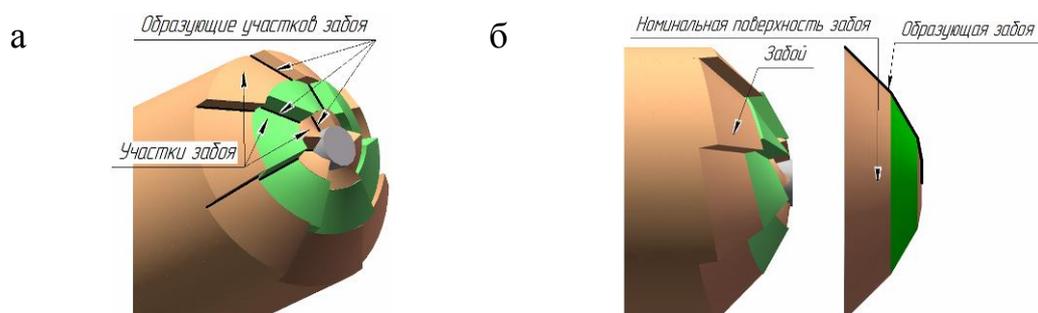
С учетом особенностей работы ИО и требований к нему определены требования к ПВ, основные из которых:

– обеспечение смещения главных напряжений в породе в зоне контакта с инструментом в сторону растяжения;

– возможность размещения разрушающего инструмента и механизмов.

Введены понятия номинальной поверхности забоя и её образующей.

На рисунке 2а представлена поверхность забоя, которая рассматривается как совокупность участков, каждый из которых представляет из себя участок винтовой поверхности с соответствующей образующей. На рисунке 2б представлены номинальная поверхность и образующая забоя.



а – участки поверхности забоя, б – номинальная поверхность

Рис. 2. Поверхность забоя выработки геохода

Любой достаточно короткий участок образующей можно охарактеризовать расстоянием до оси выработки  $r$  и углом наклона образующей  $\alpha$  к фронтальной плоскости выработки (рисунок 3)

Определен список геометрических параметров ПВ и предложена их классификация по подчиненности (иерархии) и первичности (зависимости).

По подчиненности выделены два уровня геометрических параметров:

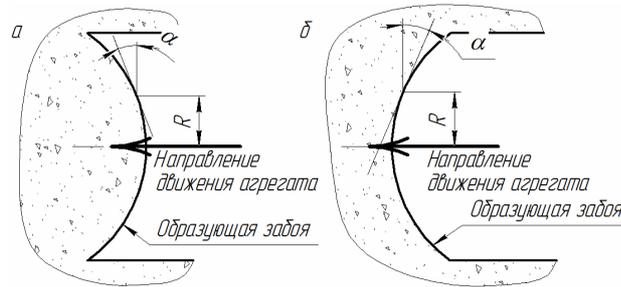
– *первый уровень (качественный)* – параметры, которые дают общую характеристику форме поверхности взаимодействия, определяют тип формируемого забоя по наличию или отсутствию тех или иных признаков;

– *второй уровень (количественный)* – характеризуют параметры *первого уровня*, дают численное представление о тех или иных признаках;

По признаку первичности выделены две группы параметров:

– *первичные (независимые)* – параметры, значения которых напрямую определяются соответствующими конструктивными параметрами исполнительного органа, движителя или других систем геохода;

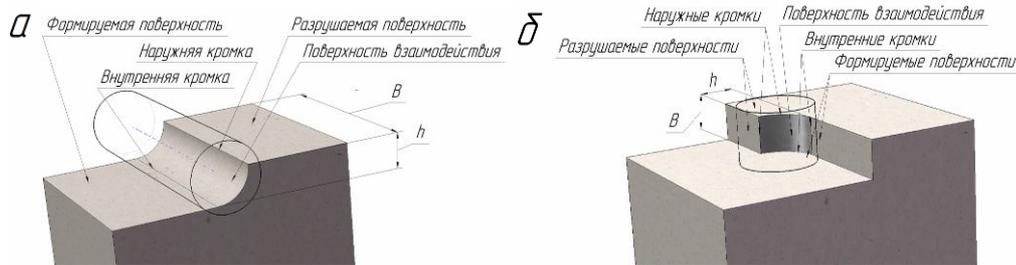
– *вторичные (зависимые)* – параметры, значения которых определяются автоматически в результате формирования первичных параметров.



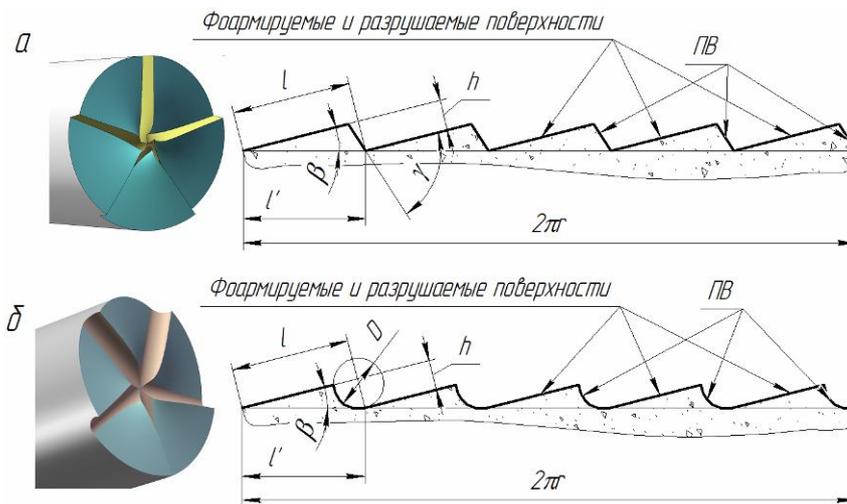
а) с наружным расположением ПВ, б) с внутренним расположением ПВ  
Рисунок 3– Вариант номинальной формы и образующей заобя

В данной работе актуальны параметры поверхности, формирующей уступ.

На рисунке 4 показаны основные элементы уступа. На рисунке 5 представлены развертки цилиндрических сечений заобя с уступами и основные геометрические параметры уступа.



а) с цилиндрической ПВ, б) с линейной ПВ  
Рисунок 4 – Уступ заобя и его элементы



$l, l'$  – расстояние по нормали к кромке и по окружности во фронтальной плоскости;  $h$  – толщина срезаемого слоя;  $\gamma$  – угол наклона ПВ к формируемой поверхности;  $D$  – диаметр инструмента.

а) заобя с линейным профилем ПВ, б) с цилиндрической ПВ  
Рисунок 5 – Развертки цилиндрических сечений заобя

Параметры, характеризующие размеры и форму уступа: толщина срезаемого слоя  $h$ ; радиус поверхности взаимодействия  $D/2$ ; расстояние между уступами  $l$ , угол  $\gamma$  наклона ПВ к формируемой поверхности, относительная инструментальная высота  $h/D$ , – относительное расстояние  $l/h$ .

Форма образующей номинальной поверхности забоя является комплексной геометрической характеристикой исполнительного органа и ПВ, которая учитывает конструктивное исполнение ИО.

Одним из основных признаков, характеризующих ПВ, является наличие или отсутствие уступа на поверхности забоя. Уступ является структурным элементом ПВ и сам, в свою очередь, состоит из элементов.

**В третьей главе** введены понятия локальных и фоновых напряжений. Выделены уровни напряжений:

– *первый уровень напряжений* – локальные (элементные) напряжения, которые формируются в зоне контакта породы забоя с резцом, зубом шарошки или другим разрушающим инструментом;

– *второй уровень напряжений* – суммарные (фоновые) напряжения, которые формируются исполнительным органом (шнеком, коронкой, барабаном и т. п.). Напряжения, которые являются результатом сложения напряжений первого уровня, всех контактных (локальных) воздействий;

Распределение напряжений первого уровня вдоль произвольной оси можно выразить через обобщенный многочлен типа:

$$\sigma = \frac{A_1}{x} + \frac{A_2}{x^2} + \frac{A_3}{x^3} \dots \frac{A_n}{x^n} \quad \text{при } x > x_0 \quad (1)$$

где  $x$  – расстояние до точки контакта,  $x_0$  – расстояние от точки контакта до точки, в которой напряжения достигают предела прочности (расстояние до границы области разрушения),  $A_i$  – эмпирические константы.

Градиент фоновых напряжений  $\sigma_\Sigma$  значительно меньше, чем локальных, поэтому с некоторым приближением значение фоновых напряжений в пределах локальной зоны можно считать постоянной величиной. Выражение (1) с учетом фоновых напряжений примет вид:

$$\vec{\sigma} = \vec{\sigma}_\Sigma + \left( \frac{A_1}{x} + \frac{A_2}{x^2} + \frac{A_3}{x^3} \dots \frac{A_n}{x^n} \right) \quad (2)$$

Графики на рисунке 6 иллюстрируют влияние фоновых напряжений на значение главных напряжений и размер зоны разрушения от превышения предела прочности на срез. О размерах зоны разрушения можно судить по площади сектора  $T$ , отсеченного кривой паспорта прочности от кругов Мора.

Связь между удельной энергоемкостью разрушения  $A_V$  породы, силой резания  $F$ , площадью поперечного сечения борозды  $S$ , остающейся от резца, и длиной пути  $L$ , пройденного резцом, определяется выражением:

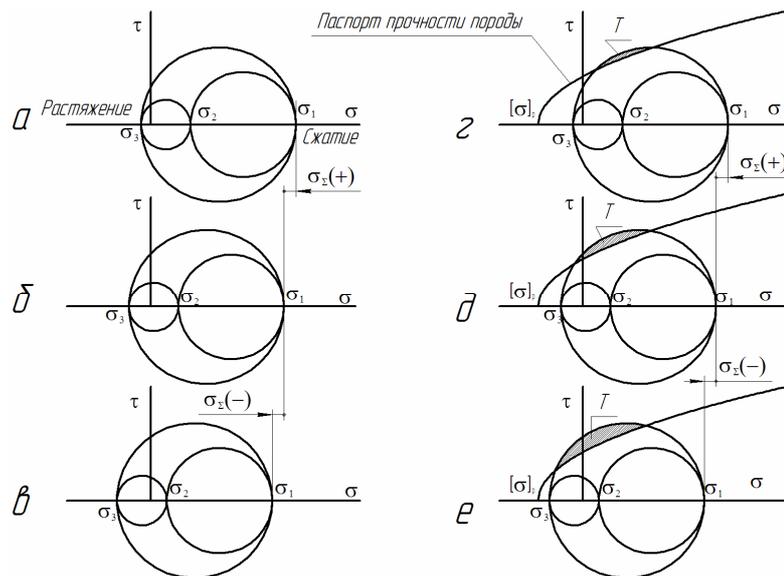
$$A_V = \frac{A}{V} = \frac{F \cdot L}{S \cdot L} = \frac{F}{S}, \quad (3)$$

Это позволяет утверждать, что смещение фоновых напряжений к области растяжения создает предпосылки к снижению удельной энергоемкости разрушения породы и снижению требований к энерговооруженности ИО.

При моделировании суммарная нагрузка от всех резцов ИО заменялась на эквивалентные распределенные нормальную и касательную нагрузки, приложенные к ПВ. Применимость такой замены подтверждается сходностью результатов моделирования воздействия на ПВ группы резцов и распределенной нагрузки. Для определения величин распределенных нагрузок в качестве прототипа брали ИО щита ММЩ-1. Применялись значения нагрузок:

- нормальная распределенная нагрузка  $q_n = 2,5 \text{ МПа}$
- касательная распределенная нагрузка  $q_t = 0,6 \text{ МПа}$

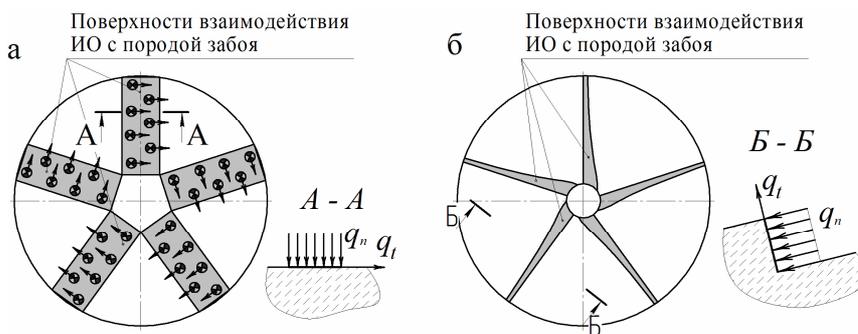
При моделировании применялись модели выработки с толщиной законтурного массива 6 м, разбитые на конечные элементы размерами  $\Delta = 25 \text{ мм}$  у поверхности забоя и  $\Delta = 650 \text{ мм}$  в остальной части массива, с плавным переходом на 8-ми слоях.



а), г) сжимающие напряжения  $\sigma_z$ , б), д) отсутствие  $\sigma_z$ , в), е) растягивающие  $\sigma_z$   
Рисунок 6 – Смещение кругов Мора фоновыми напряжениями

**В четвертой главе** определено влияние уступа и его параметров на напряжения в породе забоя.

Для определения влияния уступа на работу ИО рассмотрены модели взаимодействия ИО с породой (рисунок 7).



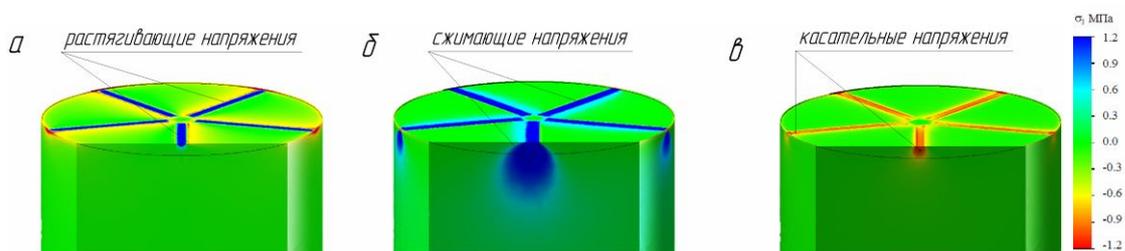
а) плоский забой, б) забой с уступом

Рисунок 7 – Схема модели взаимодействия ИО с породой забоя

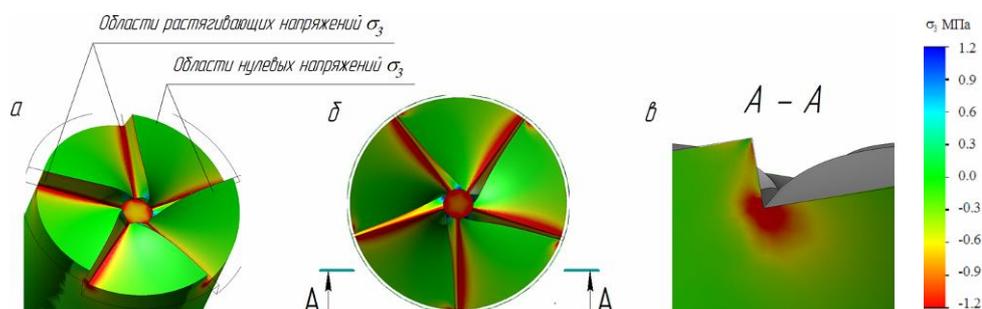
На рисунке 8 представлены эпюры напряжений в породе плоского забоя. Области растягивающих главных напряжений  $\sigma_3$  (рисунок 8а) находятся за пределами ПВ, в области ПВ главные напряжения  $\sigma_3$  расположены в сжимающей области, из чего вытекает, что имеет место трехосное сжатие. В породе забоя с уступом в области ПВ главные напряжения  $\sigma_3$  (рисунок 9) расположены в растягивающей области, что исключает трехосное сжатие, причем, растягивающие напряжения распространяются на значительную глубину.

При моделировании взаимодействия ИО, формирующего уступ, с породой забоя варьировалось направление приложения касательных нагрузок. При лю-

бых направлениях касательных нагрузок наличие уступа приводит к смещению главных напряжений в сторону растяжения.

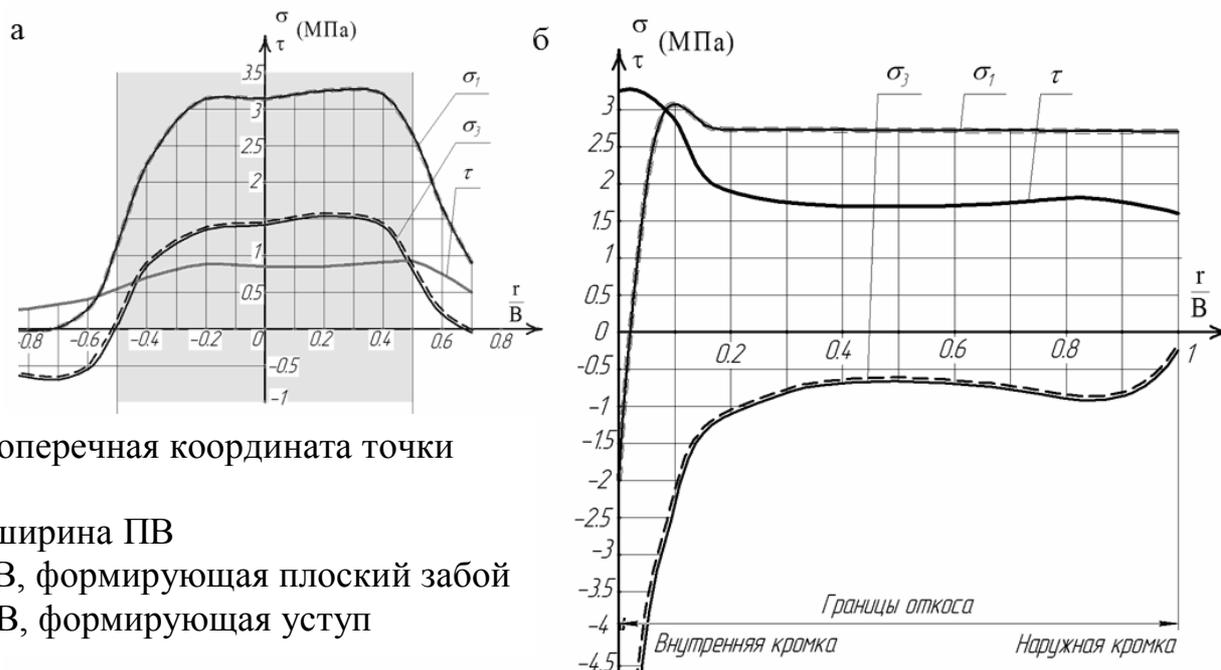


а) главные напряжения  $\sigma_3$ , б) напряжения  $\sigma_1$ , в) касательные напряжения  $\tau$   
Рисунок 8 – Эпюры напряжений на срезе плоского заоя.



а) общий вид, б) вид на забой, в) распределение по профилю уступа  
Рисунок 9 – Эпюры главных напряжений  $\sigma_3$  в забое с уступом

На рисунке 10 приведены графические зависимости распределения напряжений по поперечным сечениям ПВ. Из сравнения графиков видно, что по всему сечению ПВ, формирующей уступ, значения главных напряжений смещены в направлении растяжения по отношению к ПВ, формирующей плоский забой.



$r$  – поперечная координата точки ПВ,  
 $B$  – ширина ПВ  
а) ПВ, формирующая плоский забой  
б) ПВ, формирующая уступ

Рисунок 10 – Распределение напряжений по поперечному сечению ПВ

Смещение главных напряжений в сторону растяжения создает предпосылки к снижению удельной энергоёмкости разрушения породы и делает ПВ, формирующую уступ, предпочтительной.

Для исследования влияния на НДС породы были выбраны три изменяемых параметра (рис 5): угол  $\gamma$  наклона ПВ, отношение  $h/D$  толщины срезаемого слоя к диаметру инструмента (относительная высота) и отношение  $l/h$  расстояния между уступами к толщине срезаемого слоя (относительное расстояние).

Для оценки влияния угла  $\gamma$  наклона ПВ на НДС породы была создана модель с изменяемым углом  $\gamma$  (рисунок 11). При моделировании изменяли угол  $\gamma$  от  $10^\circ$  до  $140^\circ$  с шагом в  $10^\circ$ , определяли касательные  $\tau$  и главные напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  напряжения в области ПВ и сравнивались распределения напряжений по ПВ при разных углах наклона  $\gamma$ .

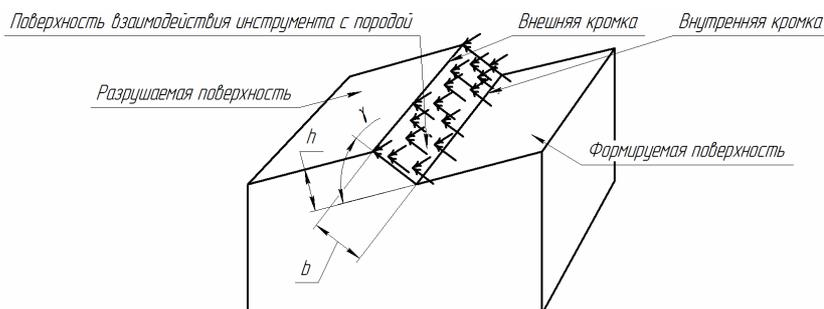
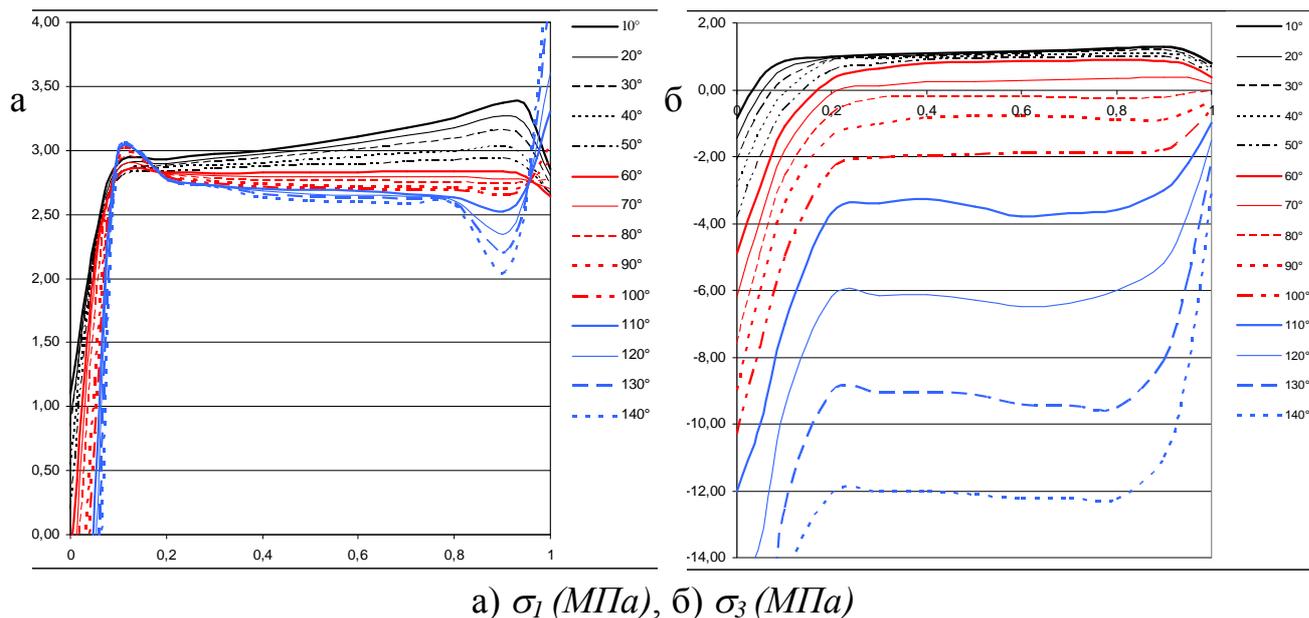


Рисунок 11 – Общий вид модели для оценки влияния угла наклона ПВ на НДС породы забоя

На рисунке 12 представлены графические зависимости, отражающие влияние угла  $\gamma$  на распределение главных напряжений по ПВ. Из графиков видно, что с увеличением угла  $\gamma$  значения главных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  смещаются в сторону растягивающей полуоси, а при углах  $\gamma < 70^\circ$  на всей ПВ имеет место трехосное сжатие, при  $\gamma > 70^\circ$  в области внутренней кромки ПВ трехосное растяжение, в остальных областях ПВ одноосное растяжение.



а)  $\sigma_1$  (МПа), б)  $\sigma_3$  (МПа)

Рисунок 12 – Распределение главных напряжений  $\sigma_1$  (МПа) по ПВ в зависимости от угла её наклона

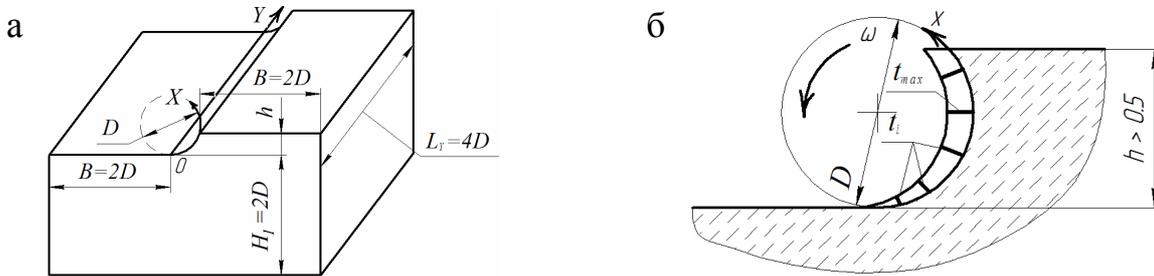
Анализ НДС породы забоя показал, что с увеличением угла наклона ПВ:  
– значения главных напряжений смещаются в направлении растягивающих напряжений на всей ПВ;

- увеличивается значение касательных напряжений на всей ПВ;
- уменьшается область распространения зон с трехосным сжатием на ПВ;
- увеличивается распространение зон с трехосным растяжением на ПВ;
- при углах  $\gamma < 70$  преобладает трехосное сжатие, при углах  $\gamma > 70$  трехосное сжатие исчезает;

Из результатов моделирования можно сделать следующие выводы:

- 1) угол наклона ПВ влияет на напряжения в породе забоя;
- 2) увеличение угла наклона ПВ приводит к смещению главных напряжений в сторону растяжения;
- 3) увеличение угла наклона ПВ создает предпосылки к уменьшению удельной энергоёмкости разрушения породы и снижению требований э энерговооруженности ИО.

Чтобы оценить влияние относительной высоты уступа  $h/D$  была создана модель участка забоя с изменяемой относительной высотой уступа (рисунок 13 а).



а) участок уступа, б) распределение глубины резания и интенсивности нагрузки  
Рисунок 13 – Модель участка уступа с изменяемой относительной высотой

При моделировании изменяли высоту  $h$  от 50 до 400 мм с шагом 50 мм, что соответствовало отношению  $h/D$  от 1/8 до 1.

К ПВ прикладывались радиальная (нормальная) и окружная (касательная) неравномерно распределенные нагрузки. Было принято допущение, что сила резания пропорциональна глубине резания (рисунок 13 б).

Интенсивность распределенных нагрузок определяли из условий пропорциональности глубине резания и равенства максимальной силы резания:

$$q_n = \frac{t \cdot q_{nmax}}{t_{max}} \quad \text{и} \quad q_t = \frac{t \cdot q_{tmax}}{t_{max}}, \quad (4)$$

где  $t$  – глубина резания, максимальные интенсивности нагрузок в местах максимальной глубины резания  $q_{nmax} = 2.48 \text{ МПа}$  и  $q_{tmax} = 0,59 \text{ МПа}$ . Закон изменения глубины резания задавался приближенно квадратным полиномом:

$$t = ax^2 + bx + c, \quad (5)$$

где  $0 < x < l$  – круговая координата периметра, выраженная в долях от длины дуги поперечного среза ПВ, а коэффициенты  $a$ ,  $b$ , и  $c$  для каждой высоты уступа отдельно определялись аппроксимацией значений, полученных графическим построением.

На рисунке 14 представлены эпюры главных напряжений  $\sigma_3$  в области поверхности взаимодействия. Из рисунка видно, что при увеличении относительной высоты уступа увеличивается распространение растягивающих напряжений в породе.

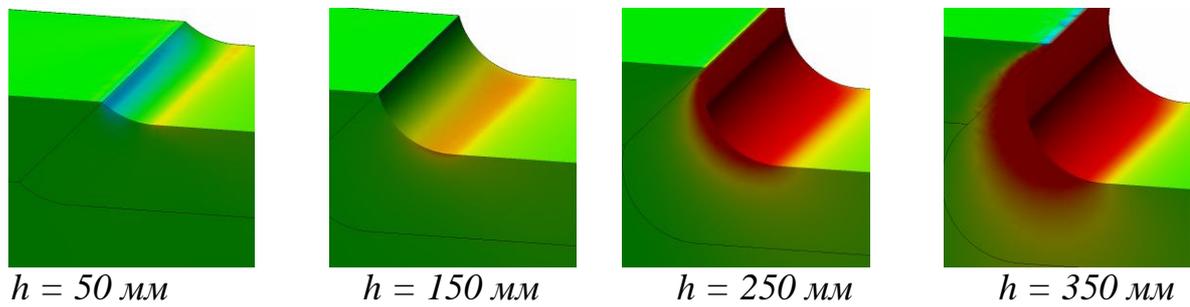
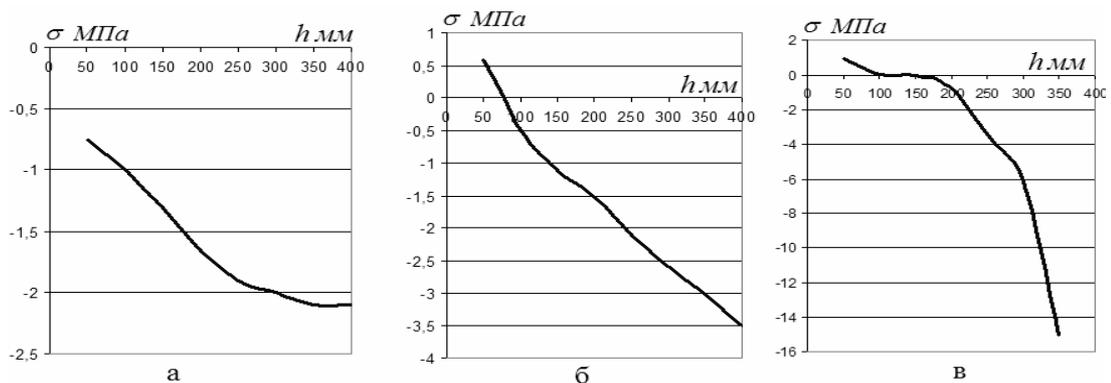


Рисунок 14 – Эпюры главных напряжений  $\sigma_3$  в области ПВ при высоте уступа  $h$

Графики зависимостей главных напряжений от относительной высоты уступа показаны на рисунке 15.



а) в области внутренней кромки, б) в центральной части, в) в области наружной кромки

Рисунок 15 – Зависимость  $\sigma_3$  (МПа) от относительной высоты уступа

При высоте уступа  $h < 0.25D$  на ПВ преобладает трехосное сжатие, а с увеличением относительной высоты уступа главные напряжения в области внутренней кромки и в центральной области смещаются в сторону растяжения. В области внешней кромки модуль напряжений увеличиваются, что можно объяснить усилением влияния концентратора напряжений в данной области.

При высоте уступа  $h > 0.6D$  значения фоновых напряжений в области верхней кромки превышают предел прочности на растяжение, что может привести к неконтролируемому скалыванию крупных кусков породы.

Исследования НДС уступов различной высоты показали, что с увеличением относительной высоты уступа:

- значения главных напряжений смещаются в направлении растягивающих напряжений на всей поверхности рабочей поверхности;
- увеличивается значение касательных напряжений на всей рабочей поверхности;
- создаются предпосылки к снижению удельной энергоёмкости разрушения породы.

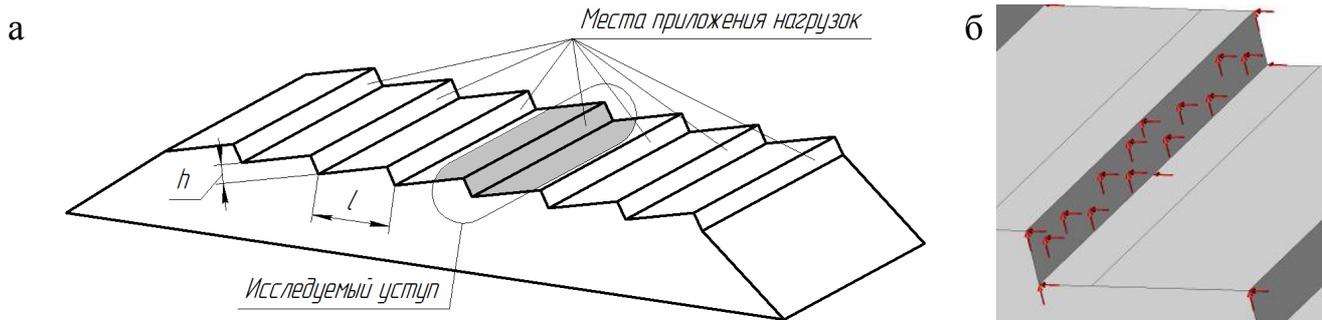
Толщина срезаемого слоя  $h$  и расстояние между уступами  $l$  определяются выражениями:

$$h = \frac{h_g}{n} \cos \beta \quad \text{и} \quad l = \frac{2\pi r}{n} \cos \beta, \quad (6)$$

где  $h_g$  – шаг винтовой линии движителя,  $r$  – расстояние до оси выработки,  $n$  – количество уступов на данном расстоянии,  $\beta$  – угол подъема винтовой линии.

Относительное расстояние между уступами равно:  $l_h = \frac{l}{h} = \frac{2\pi r}{h_e}$  (7)

Чтобы оценить влияние относительного расстояния  $l_h$  между уступами на НДС породы и исключить влияние других геометрических параметров была создана модель в виде прямого каскада уступов с профилем, соответствующим развертке цилиндрического сечения выработки (рис. 16).

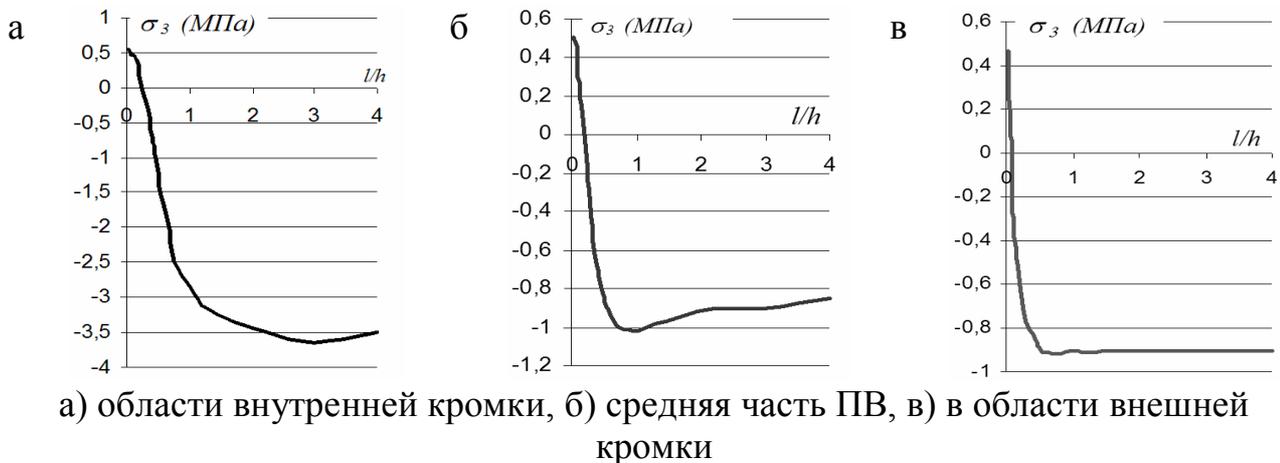


а) общий вид модели, б) схема приложения нагрузок

Рисунок 16 – Развертка участка забоя.

При моделировании изменяли отношение  $l/h$ , в диапазоне от 1/40 до 4.

На рисунке 17 представлены графические зависимости, отражающие зависимость главных напряжений  $\sigma_3$  на ПВ от отношения  $l/h$ .



а) области внутренней кромки, б) средняя часть ПВ, в) в области внешней кромки

Рисунок 17 – Графики зависимостей главных напряжений  $\sigma_3$  от относительного расстояния между уступами.

При значениях  $l/h < 1.25$  с уменьшением  $l/h$  главные напряжения смещаются к сжатию, а при  $l/h > 1.25$  зависимость носит неявный характер.

Учитывая, что относительное расстояние между уступами  $l_h$  влияет на НДС породы и зависит от расстояния до оси выработки и шага движителя, можно выявить характерные концентрические зоны на груди забоя (рисунок 18).

**В пятой главе** обоснована форма образующей забоя.

Если образующая забоя наклонена к фронтальной поверхности забоя под углом  $\alpha$  (рис. 5), то выражения (6) примут вид:

$$h = \frac{h_e}{n} \cos \beta \cos \alpha \quad \text{и} \quad l = \sqrt{\left(\frac{2\pi r}{n}\right)^2 - h^2} \quad (8)$$

А относительное расстояние между уступами:

$$l_h = \frac{l}{h} = \sqrt{\frac{h_6^2 + (2\pi r)^2}{h_6^2 \cos^2 \alpha}} - 1 \quad (9)$$



Рисунок 18 – Выделение концентрических зон на груди забоя

Учитывая, что параметр  $l_h$  влияет на напряжения в породе, задаётся условием  $l_h > l_{hкр}$ , которое обеспечивает максимальное смещение главных напряжений в направлении растяжения и получаем условие:

$$\operatorname{tg} \alpha \geq \sqrt{\frac{h_6^2 l_{hкр}^2 - (2\pi r)^2}{h_6^2 + (2\pi r)^2}} = \frac{dz}{dr} \quad (10)$$

где  $z$  и  $r$  – осевая и радиальные координаты произвольной точки образующей.

Интегрируя выражение (10), получим уравнение рациональной образующей забоя:

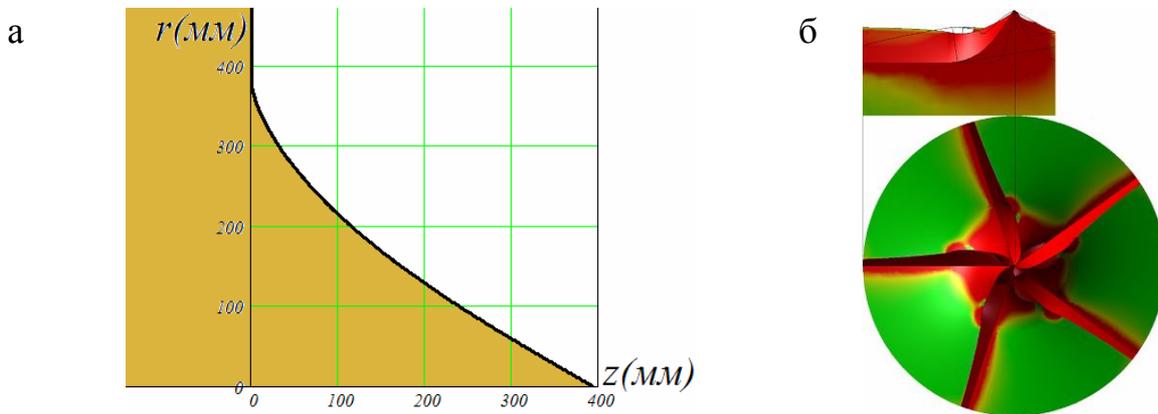
$$z(r) = \int_r^{r_{кр}} \sqrt{\frac{h_6^2 l_{hкр}^2 - (2\pi r)^2}{h_6^2 + (2\pi r)^2}} dr \quad (11)$$

Выражение (11) определено в диапазоне  $0 < r < \frac{h_6 l_{hкр}}{2\pi}$ , при  $r > \frac{h_6 l_{hкр}}{2\pi}$  угол наклона образующей  $\gamma$  не оказывает существенного влияния на условия резания и может быть выбран из конструктивных соображений.

На рисунке 19а представлена рациональная форма образующей забоя при  $l_{hкр} = 1,25$  и при шаге движителя  $h_6 = 1,5$  м, на рисунке 19в представлены эпюры главных напряжений  $\sigma_3$  в породе забоя рациональной формы.

Сравнение эпюр главных напряжений  $\sigma_3$  на рисунках 18 и 19б показало, что изменение формы забоя в центральной части позволило сместить главные напряжения в сторону растяжения.

С учетом полученных результатов исследований было разработано конструктивное решение ИО геолода (рисунок 20).



а) рациональная форма образующей, б) эпюры главных напряжений  $\sigma_3$

Рисунок 19 – Модель забоя рациональной формы

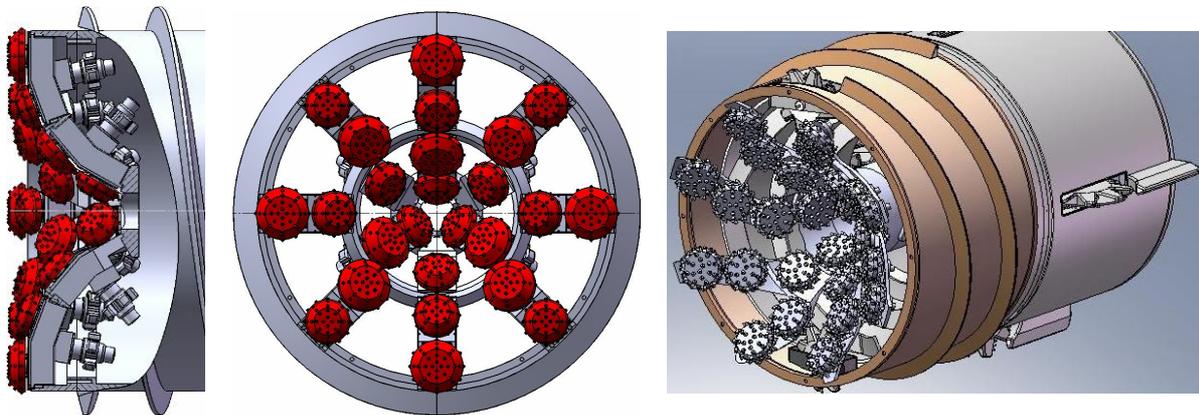


Рисунок 20 – Конструктивное решение исполнительного органа геогода

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации решена актуальная задача обоснования параметров формы поверхности взаимодействия исполнительного органа геогода с породой забоя, что вносит существенный вклад в горное машиностроение и экономику страны.

Основные результаты и выводы сводятся к следующему:

1. Значение фоновых напряжений, создаваемых суммарным воздействием ИО на породу забоя, позволяет оценить влияние формы ПВ на условия разрушения породы:

– смещение фоновых напряжений в сторону растяжения создает предпосылки к уменьшению удельной энергоёмкости разрушения породы и снижению требований к энерговооруженности ИО.

– применение распределенных нагрузок обеспечивает достоверность результатов при математическом моделировании взаимодействия ИО с горной породой.

2. Формирование и разрушение уступа в забое геогода является предпочтительным по сравнению с формированием плоского забоя т.к. создаёт предпосылки к снижению энергоёмкости разрушения породы.

Наличие уступа приводит к смещению главных напряжений  $\sigma_3$  в сторону растяжения на  $1,5...2,2$  МПа.

Параметрами определяющими форму и расположение уступов являются: угол ( $\gamma$ ) наклона ПВ, отношение толщины срезаемого слоя к диаметру ИО ( $h/D$ ) и отношение расстояния между уступами к толщине срезаемого слоя ( $l/h$ ).

При  $\gamma < 70^\circ$  на ПВ преобладает трехосное сжатие. С увеличением  $\gamma$  главные напряжения смещаются в сторону растяжения и растут касательные напряжения. При  $\gamma > 70^\circ$  трехосное сжатие полностью исчезает с ПВ и в области внутренней кромки появляется трехосное растяжение. Увеличение угла  $\gamma$  от  $10^\circ$  до  $120^\circ$  приводит к смещению главных напряжений  $\sigma_3$  в сторону растяжения на 4...6 МПа.

При отношении  $h/D < 0.3$  на ПВ преобладает трехосное сжатие. С увеличением  $h/D$  главные напряжения смещаются в сторону растяжения и растут касательные напряжения. При  $h/D > 0.5$  трехосное сжатие полностью исчезает с ПВ. Увеличение отношения  $h/D$  от 0,125 до 0,6 приводит к смещению главных напряжений  $\sigma_3$  в сторону растяжения на 2...2.5 МПа, при  $h > 0.6D$  фоновые напряжения превышают предел прочности породы.

С уменьшением отношения  $l/h$  в диапазоне от 0 до 1,25 главные напряжения смещаются в сторону сжатия, при  $l/h > 1,25$  зависимость главных напряжений от расстояния между уступами носит неявный характер.

3. При разрушении забоя с уступом на поверхности забоя выделено пять характерных концентрических зон, размер которых  $r$  зависит от шага движителя  $h_b$ . При радиальном расположении внутренней кромки уступа границы концентрических зон составили:

–  $0 < r < 0.16h_b$  – трехосное сжатие на всей ПВ, полностью утрачиваются преимущества уступа, необходимо применять способ разрушения, отличный от способа, применяемого в периферийных областях;

–  $0.16h_b < r < 0.32h_b$  – трехосное сжатие преобладает на ПВ;

–  $0.32h_b < r < 0.64h_b$  – на ПВ имеет место трехосное сжатие;

–  $0 < r < 0.2h_b$  – значения главных напряжений  $s_3$  в породе зависят от радиальной координаты, при приближении к центру выработки  $s_3$  смещаются в сторону сжатия;

–  $r < 0.2h_b$  – значения главных напряжений  $s_3$  в породе не зависят от радиальной координаты;

4. Изменение формы образующей забоя позволяет управлять отношением  $l/h$  и смещением главных напряжений в породе центральной области забоя.

При формировании выпуклой поверхности значения напряжений смещены в сторону растяжения по сравнению с вогнутой. Формирование выпуклой поверхности обеспечивается наружным расположением ПВ относительно забоя.

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:**

#### **Статьи в изданиях рекомендованных ВАК**

1. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Бегляков В.Ю., Бурков П.В., Блащук М.Ю., Сапожкова А.В. Компонентные решения машин проведения горных выработок на основе геовинчестерной технологии // Горный информационный аналитический бюллетень/ Москва, МГГУ, 2009– №1. С. 251-259.

2. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Бегляков В.Ю., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю., Сапожкова А.В. Разработка требований к основным системам геодога // Горное оборудование и электромеханика/ Москва, 2009– №5. С.3-7.

3. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Влияние динамических процессов, формирующихся в рабочих режимах, на силовые параметры ножевого исполнительного органа геодога // Горный информационный аналитиче-

ский бюллетень. Перспективы развития горно-транспортных машин и оборудования / Москва, МГГУ, 2009 – ОВ №10. С. 91-106.

4. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Синтез конструктивных решений исполнительных органов геходов // Горный информационный аналитический бюллетень. Горное машиностроение / Москва, МГГУ, 2010 – ОВ №3. С. 49-54.

5. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Бегляков В.Ю. Моделирование напряженно-деформированного состояния породы, создаваемого воздействием на неё исполнительного органа горной машины. // Горный информационный аналитический бюллетень. Горное машиностроение / Москва, МГГУ, 2011 – ОВ №5. С. 9-14.

6. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Бегляков В.Ю. Влияние суммарного воздействия исполнительных органов горных машин на напряжения в зоне действия отдельно взятого резца. // Горный информационный аналитический бюллетень. Горное машиностроение / Москва, МГГУ, 2011 – ОВ №5. С. 15-21.

### Статьи в прочих изданиях

7. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Обоснование необходимости создания исполнительного органа гехода для разрушения пород средней крепости // Материалы международной конференции «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений» 22-24 апреля 2009г., г. Донецк. – С. 2-4.

8. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Создание нового класса исполнительных органов проходческого оборудования // Тр. VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии и экономика в машиностроении». 21- 22 мая, 2009. г. Юрга. – Томск: Издательство ТПУ, 2009. - С.649-652.

9. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Разработка конструктивных решений исполнительных органов геходов// Тр. Международной школы-семинар для магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Хорста Герольда (Университет им. Отто-фон-Герике, Магдебург, Германия) «Новые технологии, материалы и инновации в производстве». 26-30 июня 2009. г. Усть-Каменогорск, Казахстан. . – Томск: Издательство ТПУ, 2009. – С85-89.

10. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Обоснования формы забоя выработки гехода // Сборник трудов Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых «Инновационные технологии и экономика в машиностроении». 20- 21 мая, 2010 г. / ЮТИ. – Томск: Издательство ТПУ, 2010. - С.492-496.

11. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Влияние уступа на НДС призабойной части горной выработки, при проходке геходом. Тр. XII межд. научно-практ. конф. «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности». Кемерово: ИУУ СО РАН, КузГТУ, ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского, ЗАО КВК «Экспо-Сибирь», 2010 – С. 216-224.

12. Патент на изобретение № 2418950 RU. Проходческий щитовой агрегат (геход) / В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков, Тимофеев В.Ю., Бегляков В.Ю., Блащук М.Ю. Опубликовано 20.05.2011 Бюл. №14.

Подписано к печати «\_\_\_» \_\_\_\_\_.201\_\_ г.  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная  
Плоская печать. Усл. печ. л. 1,10. Уч.-изд. л. 1.  
Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_\_. Цена свободная.  
ИПЛ ЮТИ ТПУ Ризограф ЮТИ ТПУ.  
652000, Юрга, ул. Московская, 17.