

На правах рукописи



КУОЗА ВЛАДИСЛАВ ДМИТРИЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОХОДЧЕСКО-
ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ ПРИ НЕПОЛНОМ СЕЧЕНИИ ВЫРАБОТКИ**

Специальность 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины»

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученной степени
кандидата технических наук**

Пермь – 2026

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» на кафедре «Горная электромеханика»

Научный руководитель: – Доктор технических наук, профессор **Трифанов Геннадий Дмитриевич**, и.о. заведующего кафедрой «Горная электромеханика» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Официальные оппоненты:

**Сысоев
Николай Иванович**

– доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Горное дело» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»

**Задков
Денис Александрович**

– кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машиностроения ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

Ведущая организация

– Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева»

Защита состоится 09 апреля 2026 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета 24.2.423.02 на базе ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» в зале заседаний Ученого совета по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ГСП, ул. Куйбышева, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте – <http://www.urstu.ru/kuoza-vladislav-dmitrievic> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».

Автореферат диссертации разослан 13 февраля 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент

А.Е. Пелевин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Россия является ключевым поставщиком калийных удобрений на мировые рынки. Объемы запасов калийной руды оцениваются в 30 % от мировых. Освоение калийных месторождений осуществляется подземным способом с применением камерной системы разработки и оствлением межкамерных целиков.

Механизированная выемка полезного ископаемого обуславливается широким применением отечественных проходческо-очистных комбайнов с комбинированным планетарно-дисковым исполнительным органом. Уже более 30 лет основным поставщиком комбайнового оборудования является ОАО «Копейский машиностроительный завод» (г. Копейск, Челябинская область). В последнее время на калийных рудниках проходят промышленные испытания проходческо-очистных комбайнов нового типа, оснащенных плоско-дисковым исполнительным органом.

Добыча калийной руды проходческо-очистными комбайнами характеризуется двумя основными вариантами их работы: отработка полного сечения (глухой забой) и неполного сечения выработки. Работа комбайна неполным сечением выработка сопряжена с высокими динамическими нагрузками на приводные системы исполнительных органов, которые до настоящего времени остаются малоизученными.

Технологические параметры выработок, разрабатываемых проходческо-очистными комбайнами неполным сечением, и конструктивные параметры исполнительных органов оказывают существенное влияние на формирование нагрузок на приводные системы породоразрушающих инструментов, гранулометрический состав отбитой руды и энергоэффективность процесса отбойки калийного массива. Таким образом, обоснование технологических параметров выработок и исполнительных органов при работе проходческо-очистных комбайнов неполным сечением выработки является актуальной задачей.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в решение вопросов, связанных с исследованием нагрузок, действующих на приводные системы исполнительных органов, обоснованием рациональных параметров работы добывчных комбайнов и повышением показателей их надежности, внесли В.А. Бреннер, В.В. Габов, В.Н. Гетопанов, Л.Б. Глатман, А.В. Докукин, А.Б. Жабин, Э.А. Загривный, С.Л. Иванов, С.К. Кабиев, Л.И. Кантович, Н.Г. Картавый, Ю.Д. Красников, Е.З. Позин, В.М. Рачек, В.И. Солод, Г.И. Солод, С.В. Солод, Л.И. Старков, Н.И. Сысоев, Н.В. Чекмасов, Д.И. Шишлянников, И.Г. Шмакин и др.

Объект исследования – процесс разрушения калийного массива исполнительным органом проходческо-очистного комбайна.

Предмет исследования – конструктивные параметры исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов и технологические параметры выработок при работе неполным сечением.

Цель работы заключается в определении основных факторов, влияющих на эффективность работы проходческо-очистных комбайнов при неполном сечении выработки, и обосновании рациональных параметров работы планетарно-дискового исполнительного органа комбайна на основе исследований нагрузок, действующих на его приводную систему.

Идея работы. Определение рациональных технологических параметров работы планетарно-дискового исполнительного органа проходческо-очистного комбайна неполным сечением выработки, зависящих от высоты уступа забоя, и расширение области применения комбайнов снижением вероятности проскальзывания его гусениц.

Задачи темы исследования:

1. Анализ особенностей работы планетарно-дискового органа проходческо-очистного комбайна неполным сечением выработки.
2. Проведение теоретических и экспериментальных исследований работы проходческо-очистного комбайна неполным сечением выработки.
3. Обоснование оптимальных технологических параметров работы исполнительного органа проходческо-очистного комбайна при неполном сечении выработки.
4. Разработка предложений по перспективным конструкциям исполнительного органа проходческо-очистного комбайна.

Научная новизна работы:

1. Установлена зависимость динамических нагрузок, действующих на приводную систему планетарно-дискового исполнительного органа, от высоты уступа забоя при работе комбайна неполным сечением выработки.
2. Установлено, что проскальзывание гусениц зависит от угла наклона планетарно-дискового исполнительного органа комбайна к его оси. Изменение угла наклона исполнительного органа позволяет расширить область применения комбайна без потери его производительности.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Экспериментально определены нагрузки на приводные системы исполнительного органа комбайна при его работе неполным сечением выработки с различной высотой уступа забоя.
2. Разработана математическая модель определения нагрузок, действующих на приводную систему планетарно-дискового исполнительного органа комбайна при работе неполным сечением выработки, учитывающая высоту

уступа забоя, угол поворота планетарного органа и общую зону разрушения двух исполнительных органов.

3. Определен рациональный диапазон высоты уступа забоя при работе проходческого-очистного комбайна неполным сечением выработки, обеспечивающий снижение динамических нагрузок на приводные системы исполнительного органа.

4. Предложена конструкция планетарно-дискового исполнительного органа, позволяющая расширить область применения комбайна за счет снижения проскальзывания его гусениц при движении комбайна в гору или работе неполным сечением выработки.

Методология и методы исследования – научный анализ и обобщение результатов ранее проведенных исследований в области выбора рациональных параметров исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов, аналитические расчеты, экспериментальные исследования нагруженности приводов исполнительного органа при работе неполным сечением выработки.

Положения, выносимые на защиту

1. Нагрузки на приводную систему планетарно-дискового исполнительного органа комбайна при работе неполным сечением выработки определяются высотой уступа забоя и количеством резцов, контактирующих с забоем.

2. Рациональный диапазон высоты уступа забоя необходимо определять по критерию минимальных динамических нагрузок, действующих на приводную систему планетарно-дискового исполнительного органа комбайна, и удельного расхода энергии.

3. Изменение угла наклона планетарно-дискового исполнительного органа к оси комбайна по установленной зависимости обеспечивает снижение проскальзывания его гусениц и расширение области применения комбайна.

Степень достоверности положений, выводов и рекомендаций подтверждаются результатами экспериментальных исследований нагруженности планетарно-дискового исполнительного органа проходческо-очистного комбайнов типа «Урал» в условиях их эксплуатации на калийных рудниках. Основные выводы теоретических исследований согласуются с общепризнанными представлениями о закономерностях работы приводов выемочных машин.

Апробация результатов. Основные положения работы, результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались на следующих конференциях: международная научно-практическая конференция «Горная и нефтяная электромеханика» (г. Пермь, 2022, 2023, 2024 гг.), международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека» (г. Екатеринбург, 2022, 2023, 2024, 2025 гг.), международный научный симпозиум «Неделя горняка» (г. Москва, 2023, 2024 гг.).

Личный вклад соискателя. Проведен анализ особенностей разработки калийных пластов комбайновым способом выемки, проведен анализ конструкций породоразрушающих инструментов и режимов работы проходческо-очистных комбайнов. Сформулированы цель и задачи исследований. Построена математическая модель определения нагрузок, действующих на приводную систему планетарно-дискового исполнительного органа комбайна при работе неполным сечением выработки. Проведены теоретические исследования возникновения проскальзывания гусениц комбайна в зависимости от высоты уступа забоя и угла наклона проходимой выработки. Разработана методика и проведены экспериментальные исследования по определению действующих нагрузок на приводные системы породоразрушающих органов проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р». Предложены параметры высоты уступа забоя с целью снижения динамических нагрузок на планетарно-дисковый исполнительный орган и конструкция исполнительного органа с целью снижения проскальзывания гусениц комбайна при работе неполным сечением выработки.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях ВАК, 7 статей в прочих изданиях. Получено 3 патента на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, четырёх приложений, общим объемом 136 страниц печатного текста, содержит 11 таблиц и 56 рисунков, список литературы из 106 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована её актуальность, определены цель, идея, задачи, изложены защищаемые положения, научная новизна и практическая значимость работы.

В главе 1 рассмотрены особенности разработки калийных месторождений Верхнекамья комбайновым способом. Приведены общие сведения об устройстве и работе породоразрушающих инструментов проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р». Проведен анализ основных вариантов эксплуатации такого комбайна. Определены основные цели и задачи исследования.

В главе 2 приведено сравнение применения различных типов резцов на планетарно-дисковом исполнительном органе комбайна на основе действующих нагрузок. Исследован процесс формирования резов исполнительным органом на открытой поверхности забоя, а также влияние на этот процесс скольжения приводных электродвигателей. Представлена математическая модель определения нагрузок, действующих на приводную систему исполнительного органа комбайна, при работе неполным сечением выработки. Предложен диапазон высоты уступа забоя по кри-

терию действия минимальных динамических нагрузок и удельного расхода энергии. Приведены исследования проскальзывания гусениц комбайна при работе с уступом забоя.

В главе 3 приведено описание программно-регистрирующего комплекса «ВАТУР» и организационно-подготовительных мероприятий для проведения экспериментальных исследований. Экспериментальным путем определены нагрузки, действующие на приводную систему исполнительных органов комбайна «Урал-20Р» при работе неполным сечением выработки. Проведена верификация математической модели определения нагруженности планетарно-дискового исполнительного органа при работе неполным сечением выработки.

В главе 4 предложены конструкции исполнительных органов комбайна с целью повышения эффективности его работы неполным сечением выработки, а также повышением тяговой способности гусеничного органа.

В заключении приводятся основные выводы и рекомендации, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Нагрузки на приводную систему планетарно-дискового исполнительного органа комбайна при работе неполным сечением выработки определяются высотой уступа забоя и количеством резцов, контактирующих с забоем.

Работа проходческо-очистного комбайна типа «Урал» неполным сечением выработки представлена на рисунке 1.

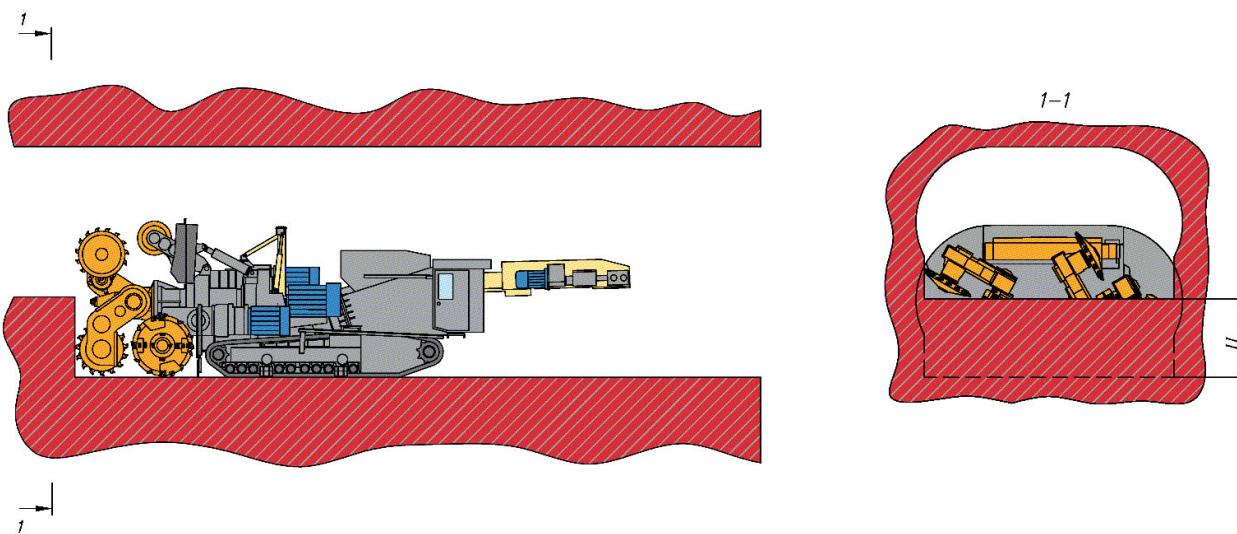


Рисунок 1 – Положение комбайна при работе неполным сечением выработки

Переменное значение высоты уступа забоя H обуславливает постоянное изменение количества резцов, взаимодействующих с калийным массивом при переносном вращении планетарного органа. Ключевым этапом построения математической модели для определения нагрузок на приводную систему является установле-

ние зависимости количества контактирующих резцов от угла поворота планетарного органа и высоты уступа забоя, поскольку количество резцов прямо пропорционально величине нагрузок.

Расчетные схемы определения количества резцов (рисунок 2), взаимодействующих с забоем, основаны на полярной системе координат. Угол поворота исполнительного органа ϕ определяется числом рассматриваемых положений N (принимается не менее 120 положений) от 0 до 2π .

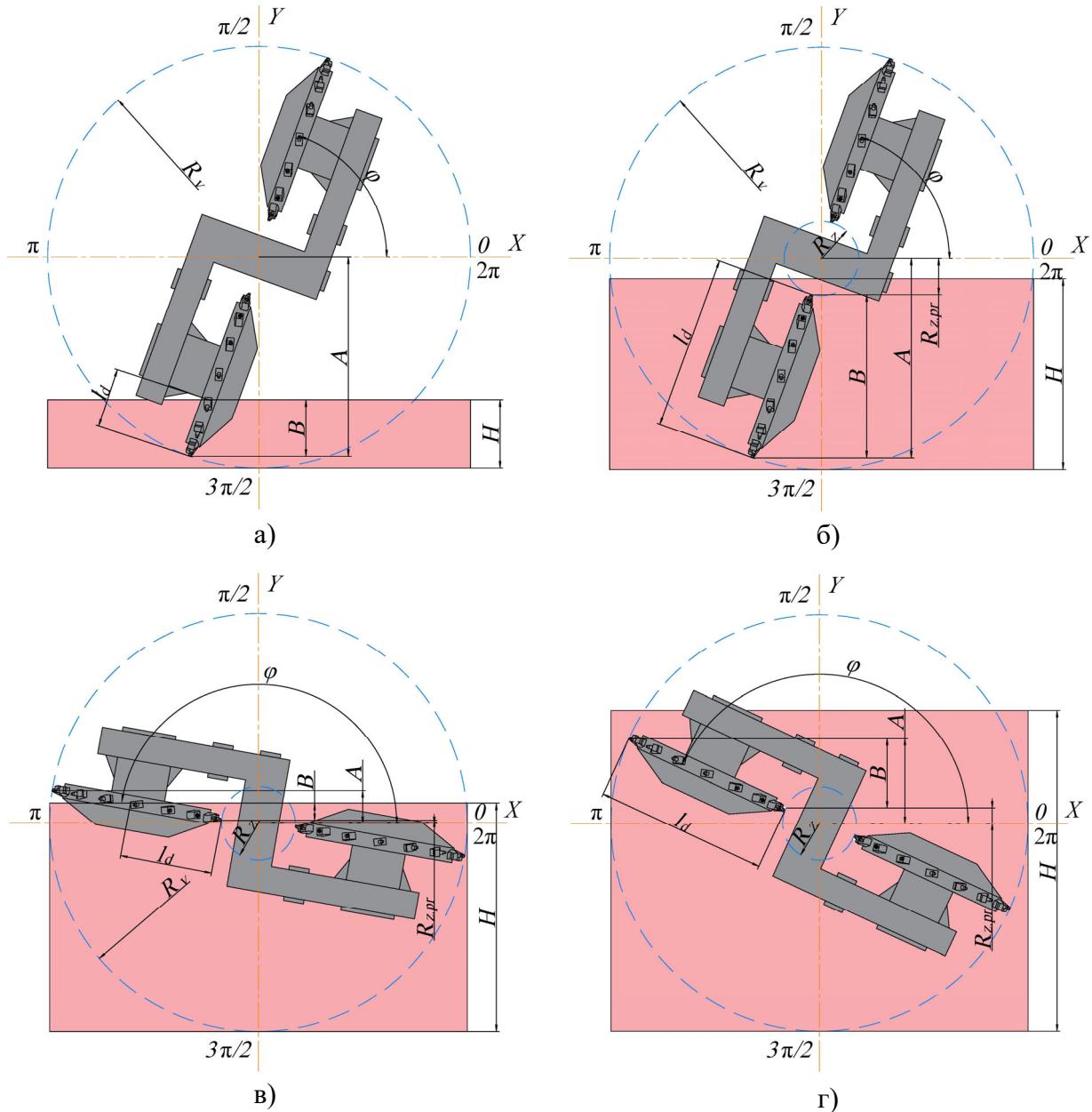


Рисунок 2 – Расчетная схема определения количества резцов, контактирующих с горным массивом: а) при условии $H < R_v$ и $H < 2R_d$; б) при условии $H < R_v$ и $H \geq 2R_d$;
в) при условии $H \geq R_v$ и $H \leq R_v+A$; г) при условии $H > R_v$ и $H > R_v+A$

Для формирования овально-арочной формы выработки с максимальной выемкой полезного ископаемого главные органы разрушения имеют общую зону разрушения, а подрезание оставшейся части кровли и стенок выработки осуществляется

ся отбойным и бермовыми органами.

Пересечение тороидальных поверхностей, образованных режущими дисками исполнительного органа, обусловливает отсутствие взаимодействия части резцового диска с калийным массивом в общей зоне разрушения. Учет такой зоны необходим для определения количества резцов, не вовлеченных в процесс отбойки руды.

Расчетная схема для определения количества резцов, находящихся в общей зоне сдвоенного планетарно-дискового органа и не участвующих в процессе разрушения, приведена на рисунке 3.

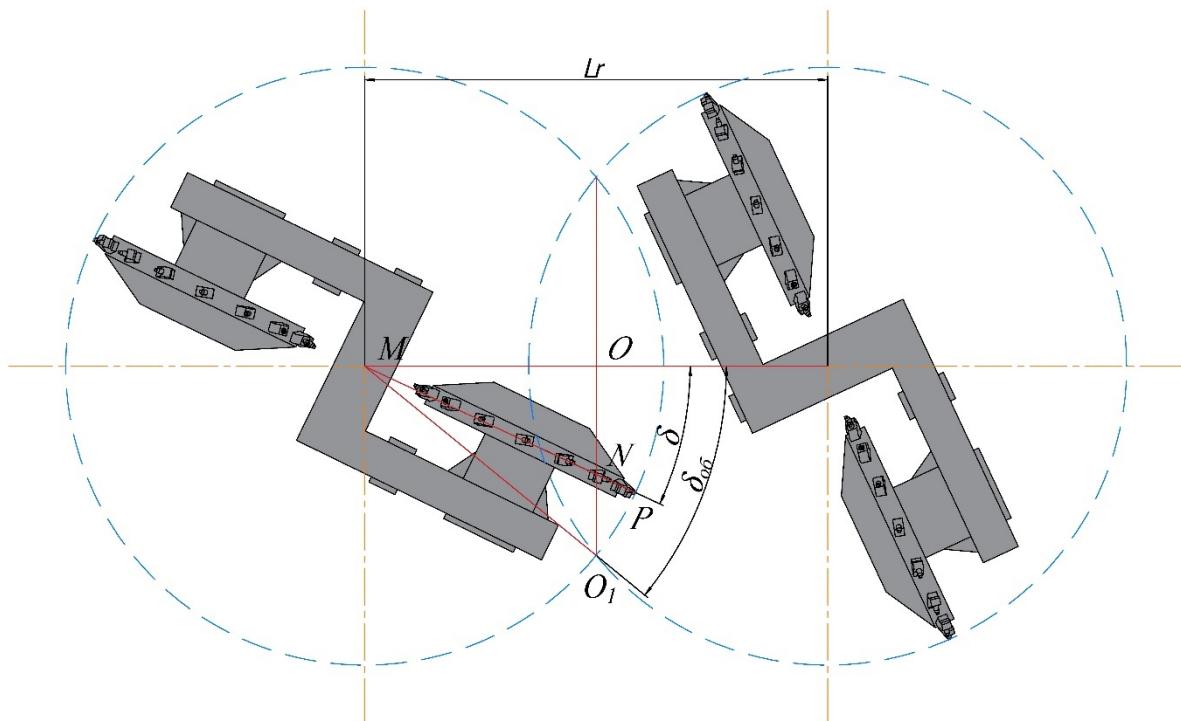


Рисунок 3 – Расчетная схема общей зоны разрушения

Результатом математической модели является определение крутящего момента приводного электродвигателя комбайна в зависимости от времени и высоты обрабатываемого уступа (рисунок 4):

- при условии $H \geq R_v$:

$$M_i = \begin{cases} \sum_{n=Z_{con}-Z_{06}}^0 M_c + M_{xол} & \text{при } \varphi < \delta_{06} \text{ и } \varphi > 2\pi - \delta_{06}; \\ \sum_{n=Z_{con}-Z_{06}}^0 M_c + M_{xол} & \text{при } \pi + \delta_{06} > \varphi > \pi - \delta_{06}; \\ \sum_{n=Z_{con}}^0 M_c + M_{xол}. \end{cases} \quad (1)$$

- при условии $H < R_v$:

$$M_i = \begin{cases} \text{при } \varphi < \delta_{ob} \text{ и } \varphi > 2\pi - \delta_{ob} : \\ \left\{ \begin{array}{l} \sum_{n=Z_{con}-Z_{ob}}^1 M_c + M_{xol}, \quad Z_{con} > 0; \\ M_{xol}; \end{array} \right. \\ \text{при } \pi + \delta_{ob} > \varphi > \pi - \delta_{ob} : \\ \left\{ \begin{array}{l} \sum_{n=Z_{con}-Z_{ob}}^1 M_c + M_{xol} \text{ при } Z_{con} > 0; \\ M_{xol}; \end{array} \right. \\ \sum_{n=Z_{con}}^1 M_c + M_{xol}, \end{cases} \quad (2)$$

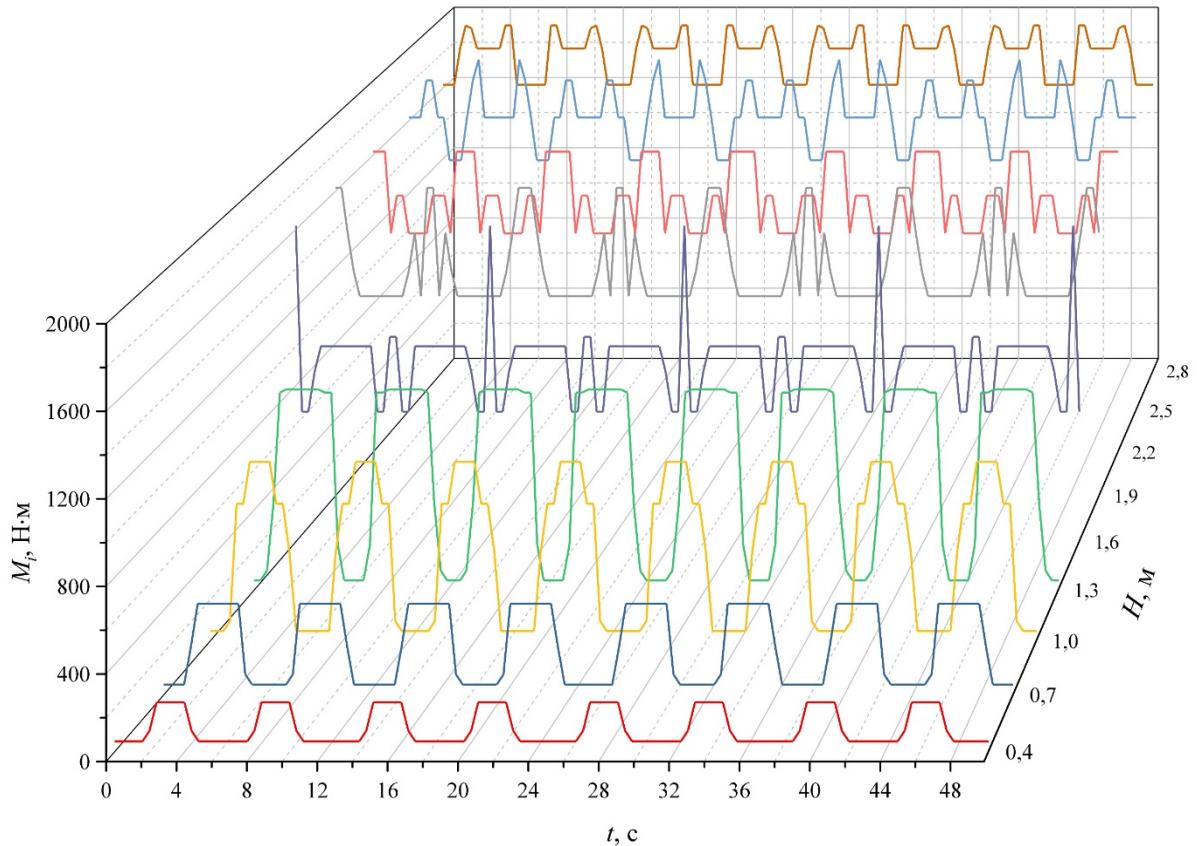


Рисунок 4 – Крутящий момент двигателя относительного вращения резцовых дисков исполнительного органа M_i в зависимости от времени t и высоты уступа забоя H

Увлечение высоты уступа забоя до величины радиуса контура R_v , описываемого планетарно-дисковым исполнительным органом, приводит к росту количества резцов, контактирующих с забоем, и крутящего момента. Период, связанный с отсутствием взаимодействия резцовых дисков планетарного органа с калийным массивом, сокращается.

Увеличение высоты уступа забоя от величины радиуса контура, описываемого исполнительным органом R_v , до величины диаметра контура исполнительного органа D_{io} сопровождается ростом количества контактирующих резцов, при этом характерные скачки количества взаимодействующих резцов наблюдаются в периоде $H \in [R_v ; 2,2 \text{ м}]$.

2. Рациональный диапазон высоты уступа забоя необходимо определять по критерию минимальных динамических нагрузок, действующих на приводную систему планетарно-дискового исполнительного органа комбайна, и удельного расхода энергии.

Работа комбайна неполным сечением выработки сопровождается высокими динамическими нагрузками на приводную систему исполнительного органа, что приводит к преждевременному выходу из строя основных рабочих узлов комбайна.

Анализ результатов математической модели проведен по следующим показателям:

1. Средний крутящий момент:

$$M_{cp} = \left(\sum_{i=1}^N M_i \right) / N, \quad (3)$$

где M_i – крутящий момент двигателя относительного вращения резцовых дисков исполнительного органа, Н·м; N – число рассматриваемых положений.

2. Коэффициент колебания нагрузки:

$$\delta_j = \frac{1}{M_{cp}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - M_{cp})^2}{N}}. \quad (4)$$

3. Удельный расход энергии:

$$W_{yd} = \frac{N_{io}}{60 S_{io} \rho V_k}, \quad (5)$$

где S_{io} – площадь поверхности, обрабатываемой исполнительным органом, м^2 ; ρ – плотность руды в горном массиве, $\text{т}/\text{м}^3$, N_{io} – мощность, затрачиваемая на резание исполнительным органом, кВт, V_k – скорость подачи комбайна, $\text{м}/\text{мин}$.

4. Скорость изменения момента:

$$\nu_m = \frac{dM_i}{dt}. \quad (6)$$

Результаты расчетов показателей эффективности работы планетарно-дискового исполнительного органа в зависимости от высоты уступа забоя сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Показатели оценки эффективности работы планетарно-дискового исполнительного органа в зависимости от высоты уступа забоя

Высота уступа H , м	M_{cp} , Н·м	δ_j	$\max(v_m)$, Н·м/с	H_w , кВт·ч/т
0,1	57,6	0,33	61	2,97
0,4	111	0,73	223	0,73
0,7	232	0,78	478	0,69
1	441	0,8	774	0,82
1,3	628	0,68	951	0,83
1,6	933	0,22	1194	0,96
1,9	1206	0,18	713	1,02
2,2	1376	0,13	549	0,98
2,5	1633	0,10	551	1,02
2,8	1781	0,07	419	1,01

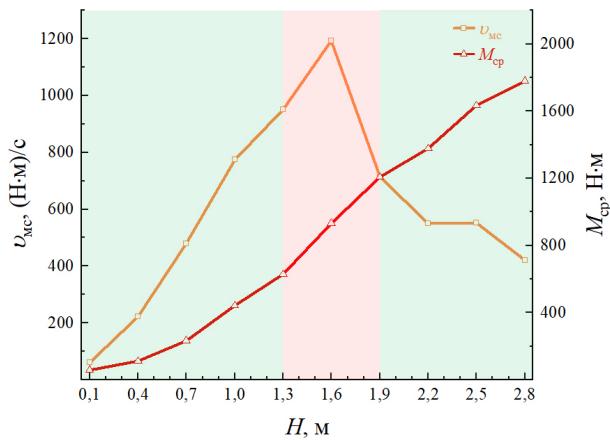


Рисунок 5 – Скорость изменения и среднее значение крутящего момента двигателя от высоты уступа забоя

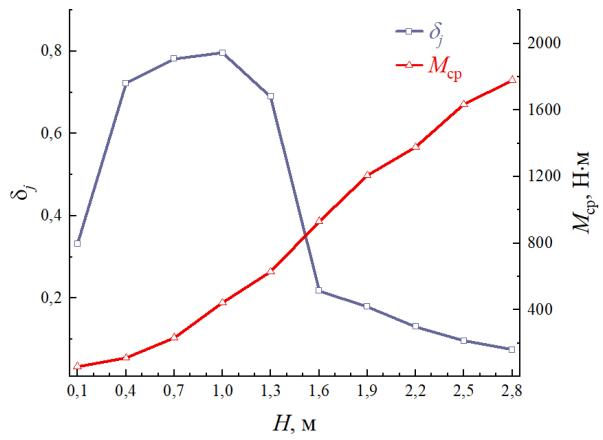


Рисунок 6 – Коэффициент вариации и среднее значение крутящего момента от высоты уступа забоя

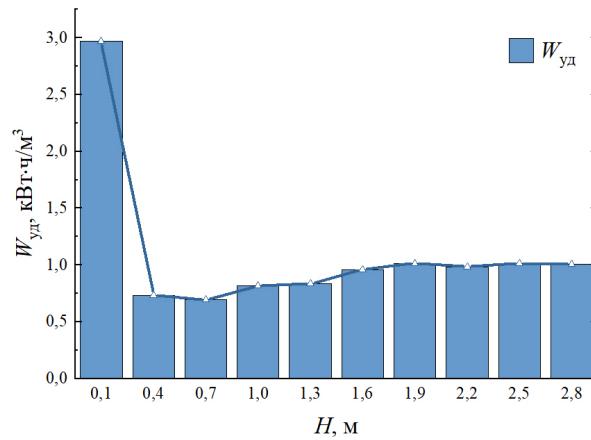


Рисунок 7 – Изменение удельного расхода энергии от высоты уступа забоя

Как показано на рисунке 5, скорость изменения крутящего момента увеличивается до высоты уступа 1,6 м, после чего начинает свое снижение и стабили-

зируется в диапазоне 2,2 – 2,8 м. Средний крутящий момент показывает рост по мере увеличения высоты уступа. Это объясняется тем, что увеличивается площадь отрабатываемого забоя и количество взаимодействующих резцов. Период 0,1 – 1,3 м сопровождается увеличением скорости изменения крутящего момента, однако это происходит на низких средних значениях. В диапазоне 1,3 – 1,9 м наблюдается ускоренный рост средних значений крутящего момента при высокой скорости изменения момента. Данный фактор определяется нестабильным периодом в районе величины радиуса исполнительного органа, когда режущий инструмент на короткий промежуток времени контактирует всеми резцами дисков с горным массивом. Период 1,9 – 2,8 м показывает увеличение среднего значения крутящего момента в зону номинальных значений при снижении скорости изменения момента.

Высокие значения коэффициента вариации наблюдаются при высоте уступа от 0,4 м до 1,6 м (рисунок 6). Это означает, что величина колебаний крутящего момента растет быстрее, чем средние значения нагрузок. Данное обстоятельство связано с ростом количества резцов, контактирующим с горным массивом, при этом период холостого хода разрушающего органа сокращается. Период 1,3 – 1,6 м связан с резким снижением коэффициента вариации по причине отсутствия моментов холостого хода режущих дисков и увеличением средних значений крутящего момента. Диапазон 1,6 – 1,9 м отражает движение коэффициента вариации в зону установившегося режима работы при нарастающем крутящем моменте.

Согласно зависимости удельного расхода энергии и высоты уступа забоя, представленной на рисунке 7, работа комбайна при высоте уступа до 0,4 м сопровождается высоким удельным расходом при низкой эффективности резания. При этом диапазон высоты уступа забоя 0,4 – 1,3 м в среднем на 25 % эффективней работы в периоде 1,6 – 2,8 м.

Таким образом, рациональным диапазоном высоты уступа забоя является $H \in [0,4 \text{ м} ; 1,3 \text{ м}] \cup [1,9 \text{ м} ; 2,8 \text{ м}]$, так как в этих диапазонах наблюдается минимум динамических нагрузок и удельного расхода энергии.

3. Изменение угла наклона планетарно-дискового исполнительного органа к оси комбайна по установленной зависимости обеспечивает снижение проскальзывания его гусениц и расширение области применения комбайна.

Работа проходческо-очистного комбайна в условиях эксплуатации со пряжена с периодическим изменением угла наклона выработки вслед за залеганием калийного пласта. Для стабильного перемещения комбайна в заданном направлении необходимо обеспечить отсутствие проскальзывания гусеничного трака. Задача становится особенно актуальной при движении комбайна «в гору» ввиду изменения распределения массы комбайнового комплекса.

Силы реакции забоя, действующие на исполнительные органы в направлении подачи комбайна и в перпендикулярном направлении (рисунок 8), опре-

деляют необходимую тяговую способность и напорные усилия гусеничного органа перемещения. Напорное усилие зависит от суммы проекций сил резания и подачи движения комбайна, а тяговая способность гусеницы – от суммы проекций сил резания и подачи на перпендикулярное направление.

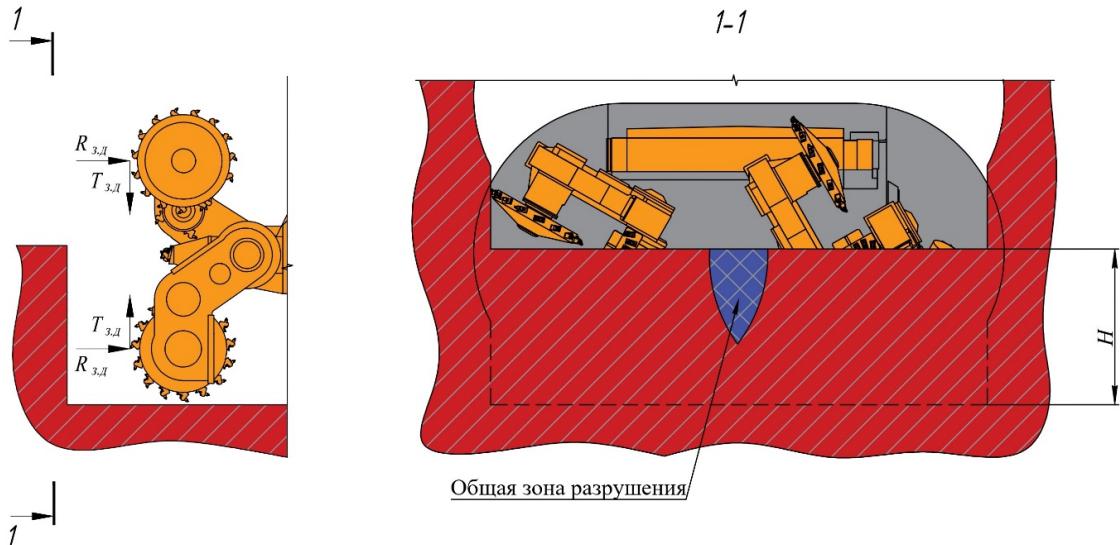


Рисунок 8 – Взаимодействие исполнительного органа с массивом при работе комбайна неполным сечением выработки

Силы реакции забоя, действующие на породоразрушающий инструмент, в направлении подачи и перпендикулярном направлении необходимо определять для каждого резца, находящегося в контакте с горным массивом, учитывая его положение на резцовом диске, угол поворота исполнительного органа и высоту уступа забоя.

Результатом теоретических расчетов является зависимость угла наклона выработки, соответствующего началу проскальзывания гусениц, от высоты уступа забоя (рисунок 9).

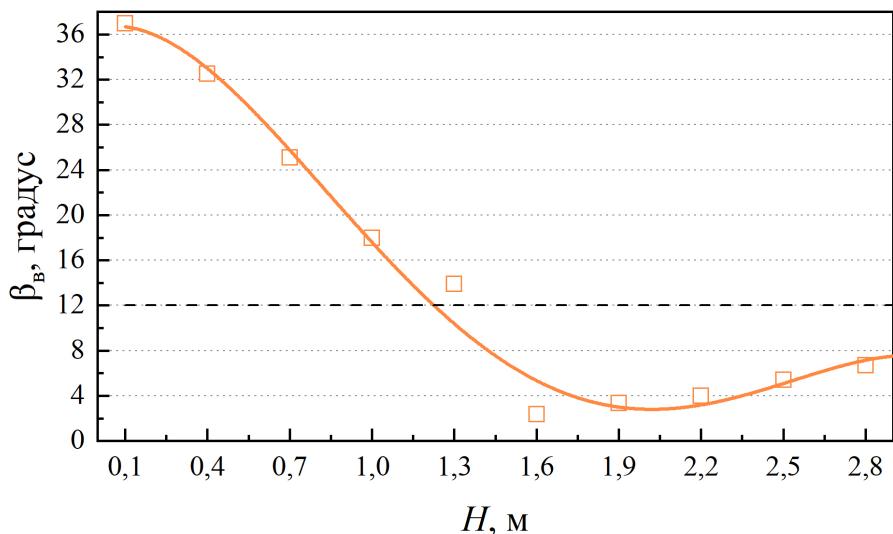


Рисунок 9 – Зависимость угла наклона выработки β_v от высоты уступа забоя H

Анализ результатов теоретических расчетов способности гусеничного органа проходческо-очистного комбайна работать без проскальзывания показал, что при высоте уступа забоя $H > 1,6$ м существуют углы наклона выработки, находящиеся в пределах заявленных технических характеристик комбайна и необходимые для полного освоения калийных пластов, при которых гусеницы будут проскальзывать.

Для повышения тяговой способности гусеничного органа автором предложена конструкция исполнительного органа с возможностью изменения его угла наклона в вертикальной плоскости.

Конструкция исполнительного органа включает резцовые диски 1, 2 (рисунок 10), гидроцилиндр перемещения 3 и механическую передачу 4. Гидроцилиндр перемещения 3 позволяет изменять угол наклона планетарного исполнительного органа независимо от остальных разрушающих инструментов и устанавливается на ограждающем щите 5. Механическая передача 4 обеспечивает передачу крутящего момента с ведущего вала 8 (рисунок 11) редуктора исполнительного органа 9 ведомому валу 6 раздаточного редуктора 7.

Тогда при определении сил прижатия гусениц комбайна необходимо учитывать часть сил реакции забоя, действующую на резцовые диски:

$$R_1 = R_2 = \frac{-T_{3.o.y}}{2} - T_{3.w} + T_{3.b.f} + \frac{G_k}{2} \cdot \cos\beta_v + T_{zab} - T_{3.d} + R_{3.d} \cdot \sin(\alpha_{io}). \quad (7)$$

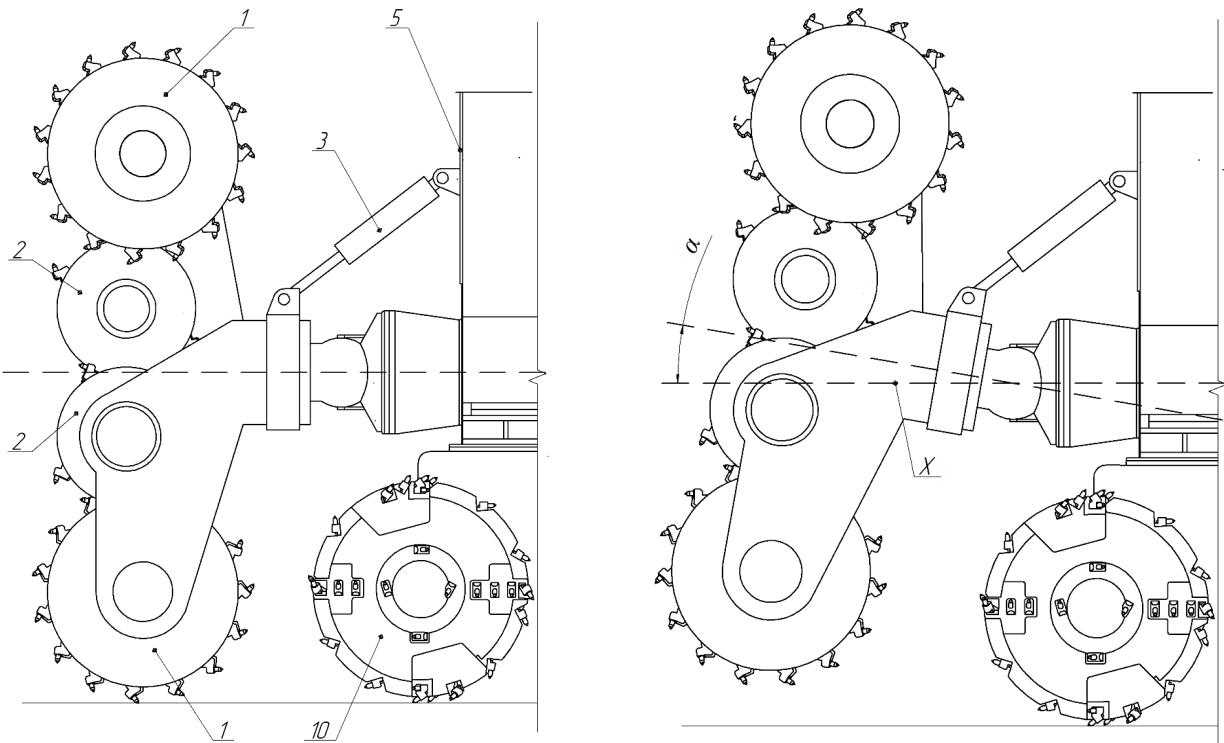


Рисунок 10 – Схема компоновки исполнительного органа комбайна

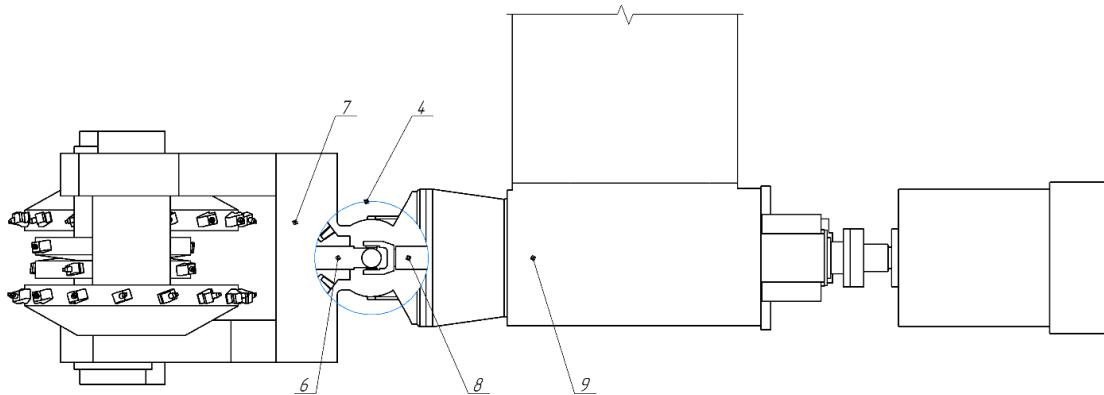


Рисунок 11 – Схема механической передачи исполнительного органа

На рисунке 12 представлено изменение средних значений сил прижатия гусениц в зависимости от угла наклона исполнительного органа. График представлен для высоты уступа $H > 1,6$ м, так как именно в этом диапазоне, согласно теоретическим расчетам, проведенным во второй главе, установлено проскальзывание гусениц. Максимальное отклонение угла наклона рабочего инструмента (α_{\max}) от продольной оси комбайна принято 10° . Это необходимо для обеспечения надежности конструктивных элементов породоразрушающего органа. Как показывают расчеты, изменение угла наклона исполнительного органа позволяет увеличить средние силы прижатия гусениц комбайна на 15,5 – 17,3 %, что расширяет область работы комбайнового комплекса без потери производительности.

Условием отсутствия проскальзывания гусениц комбайна является необходимость создавать напорные усилия подачи, меньшие, чем сила прижатия гусениц. Тогда, с учетом усовершенствованного выражения определения сил прижатия гусениц, можно установить зависимость необходимого угла наклона исполнительного органа от необходимых напорных усилий подачи гусениц, сил реакций забоя на рабочие инструменты, действующих в перпендикулярном направлении движению комбайна, при различных углах наклона выработки и высоты уступа забоя (рисунок 13):

$$\alpha_{\text{ио}} = \arcsin\left(\frac{F_{1\text{cp}} - T_{3\phi} + T_{3\text{ш}} - \frac{G_k}{2} \cdot \cos(\beta_v) + \frac{\sum T_{3\text{д}}}{N_{\text{изм}}}}{\frac{\sum R_{3\text{д}}}{N_{\text{изм}}}}\right). \quad (8)$$

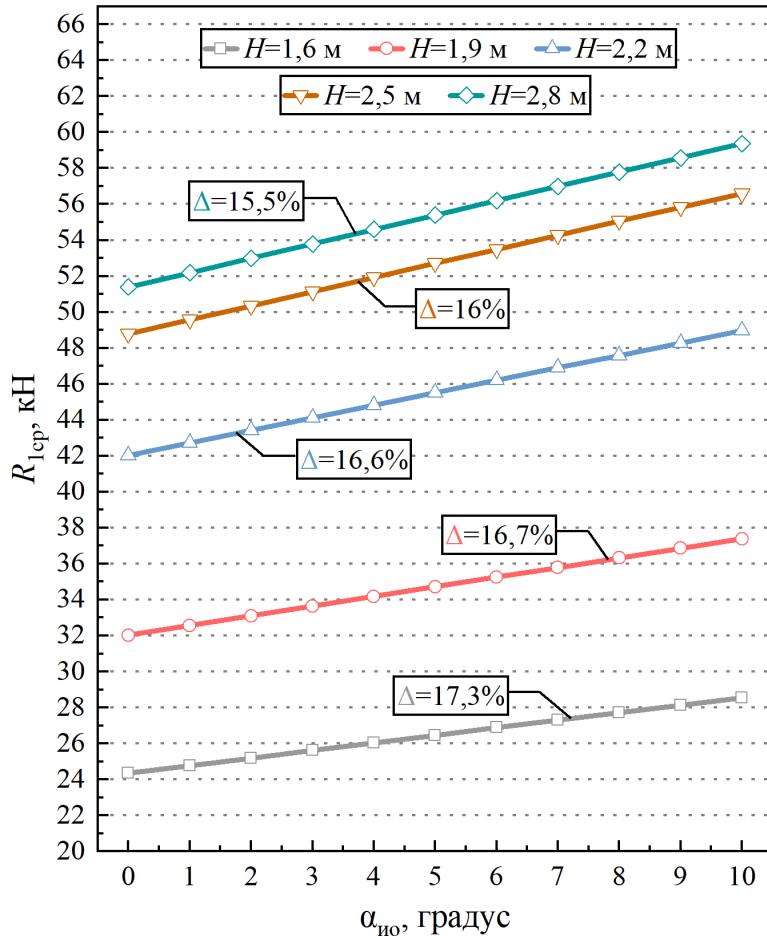


Рисунок 12 – Зависимость средних сил прижатия гусеничного органа от угла наклона исполнительного органа и высоты уступа забоя

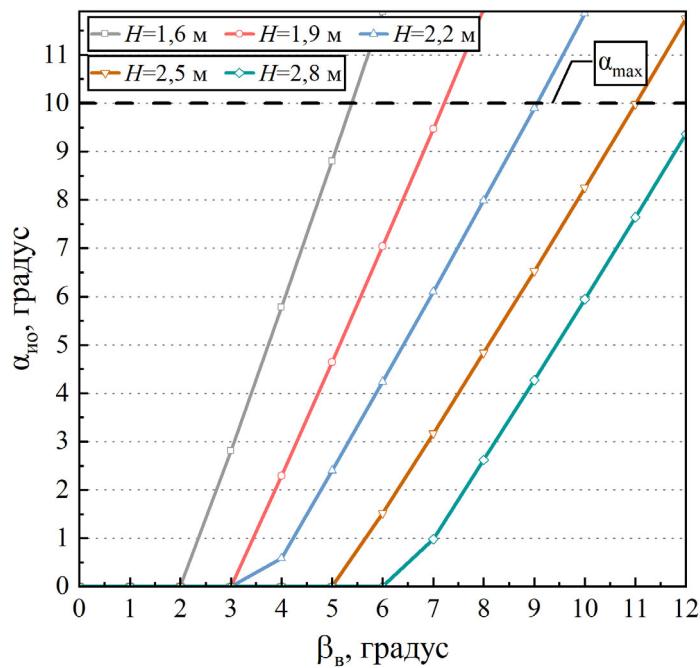


Рисунок 13 – Зависимость угла наклона исполнительного органа от угла наклона выработки и высоты уступа забоя

Анализ результатов зависимости угла наклона исполнительного органа от угла наклона выработки и высоты уступа показал, что наличие функциональной возможности изменения угла наклона исполнительного органа позволяет осуществлять производительную работу комбайна при больших углах наклона выработки. Чем больше высота уступа забоя, тем существенное влияние изменения угла наклона рабочего инструмента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе, на основе выполненных исследований, решена актуальная задача повышения эффективности работы проходческо-очистных комбайнов при неполном сечении выработки установлением рационального диапазона высоты уступа и снижением проскальзывания гусениц комбайна путем изменения угла наклона планетарно-дискового исполнительного органа в вертикальной плоскости относительно продольной оси комбайна.

Результаты диссертационной работы:

1. Выполнен анализ конструкций породоразрушающих инструментов проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р». Рассмотрена работа комбайнов в условиях камерной системы разработки калийных пластов.

2. Экспериментально установлено, что применение неповоротных тангенциальных резцов РС-14У позволяет уменьшить нагрузки, действующие на приводную систему планетарно-дискового исполнительного органа, до 35 % на электродвигателе относительного вращения резцовых дисков и до 60 % на электродвигателе переносного вращения исполнительного органа.

3. Выполнена математическая модель определения нагрузок, действующих на приводную систему исполнительного органа, по результатам которой установлено, что снижение динамических нагрузок, действующих на приводную систему планетарно-дискового исполнительного органа проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р», и удельного расхода электроэнергии при неполном сечении выработки достигается работой комбайна в диапазоне высоты уступа забоя от 0,4 м до 1,3 м и от 1,9 м до 2,8 м.

4. Установлено, что работа проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р» неполным сечением выработки при высоте уступа забоя более 1,6 м сопряжена с проскальзыванием гусениц перемещения при изменении угла наклона выработки в пределах заявленных технических характеристик.

5. Экспериментальным путем определены крутящие моменты, развиваемые электродвигателями исполнительных органов проходческо-очистного комбайна «Урал-20Р», при работе неполным сечением выработки.

6. Экспериментально верифицирована математическая модель определения крутящего момента на приводе относительного вращения резцовых дисков,

разработанная во второй главе. Максимальное отклонение значений экспериментальных данных от значений математической модели составило 10 %.

7. Предложены конструкции исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов, направленные на снижение удельного расхода энергии процесса разрушения, повышение качества отбитой руды и расширение функциональных возможностей комбайна.

8. Повышение тяговой способности гусеничного органа комбайна за счет изменения угла наклона планетарно-дискового исполнительного органа в вертикальной плоскости относительно продольной оси комбайна обеспечивает расширение области производительной работы комбайна без проскальзывания гусениц.

9. Экономический эффект от внедрения результатов докторской работы составляет 500 тыс. руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:
Публикации в рецензируемых изданиях перечня ВАК:

1. Трифанов Г. Д. Взаимодействие планетарно-дискового органа горного комбайна с массивом в режиме подрубки пласта / Г. Д. Трифанов, В. Д. Куоза // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023. № 6. С. 50-59.
2. Трифанов, Г. Д. Исследование нагрузок планетарно-дискового органа комбайна при работе неполным сечением / Г. Д. Трифанов, В. Д. Куоза // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2024. – № 2. – С. 18-31.
3. Трифанов, Г. Д. Исследование процесса формирования резов планетарно-дисковым исполнительным органом проходческо-очистного комбайна / Г. Д. Трифанов, В. Д. Куоза // Горное оборудование и электромеханика. – 2023. – № 5(169). – С. 51-59.

Публикации в прочих журналах и изданиях:

4. Куоза, В. Д. Оценка влияния типа резцов на работу исполнительного органа комбайна / В. Д. Куоза, Г. Д. Трифанов // Уральская горная школа - регионам: материалы междунар. науч.-практич. конф. Уральская горнопромышленная декада. Екатеринбург, 2022. – С. 124-125.
5. Куоза, В. Д. К вопросу о работе проходческо-очистных комбайнов в режиме подрубки / В. Д. Куоза // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2022. – Т. 1. – С. 44-49.
6. Куоза, В.Д. Режимы работы добычных комбайнов калийных рудников / В. Д. Куоза // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. XXI междунар. науч.-технич. конф. в рамках Уральской горнопромышленной декады. Екатеринбург, 2023. С. 362-368.
7. Куоза, В. Д. Исследование работы проходческо-очистных комбайнов при ожидании средств доставки / В. Д. Куоза, М. Г. Трифанов // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2023. – Т. 1. – С. 48-51.
8. Куоза, В. Д. Моделирование работы проходческо-очистного комбайна при неполном сечении забоя / В. Д. Куоза // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. XXII междунар. науч.-технич. конф. в рамках Уральской горнопромышленной декады. Екатеринбург, 2024. С. 89-92.
9. Куоза, В. Д. Определение нагрузок на приводах исполнительного органа комбайна в режиме подрубки пласта / В. Д. Куоза // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2024. – Т. 1. – С. 45-49.

10. **Куоза, В. Д.** Повышение эффективности работы проходческо-очистных комбайнов при подрубке калийных пластов по высоте / В. Д. Куоза // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. XXIII междунар. науч.-технич. конф. в рамках Уральской горнoprомышленной декады. Екатеринбург, 2025. С. 98-101.

Патенты:

11. Пат. RU2811708 С1 МПК E21C 27/24, E21D 9/10. Исполнительный орган проходческо-очистного комбайна / **В. Д. Куоза**; заявл. 15.08.2023; опубл. 16.01.2024. Бюл. № 2.
12. Пат. RU2813840 С1 МПК E21C 25/00. Исполнительный орган горного комбайна / Г. Д. Трифанов, Н. В. Чекмасов, **В. Д. Куоза**, М. Г. Трифанов. № 2022129434; заявл. 14.11.2022; опубл. 19.02.2024. Бюл. № 5.
13. Пат. RU2780787 С1 МПК E21C 27/24. Исполнительный орган горного комбайна / Г. Д. Трифанов, Н. В. Чекмасов, **В. Д. Куоза**, М. Г. Трифанов. № 2021133500; заявл. 18.11.2021; опубл. 30.09.2022. Бюл. № 28.