

На правах рукописи



**Катышев Павел Викторович**

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫЕМКИ ПОЛОГОПАДАЮЩИХ  
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ВЕЕРНОЙ СИСТЕМЕ  
РАЗРАБОТКИ**

Специальность 25.00.22 – «Геотехнология  
(подземная, открытая и строительная)»

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

Красноярск, 2018

Работа выполнена на кафедре открытых горных работ ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
*Кисляков Виктор Евгеньевич*

**Официальные оппоненты:** *Овешников Юрий Михайлович*  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», кафедра открытых горных работ, заведующий кафедрой

*Ваишлав Иван Иванович*  
кандидат технических наук, Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, лаборатория проблем освоения недр, старший научный сотрудник

**Ведущая организация:** Новационная фирма «КУЗБАСС-НИИОГР», г. Кемерово

Защита диссертации состоится «17» апреля 2018 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.099.23 ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660025, г. Красноярск, пр-т им. газеты «Красноярский рабочий», 95, ауд. 200.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» и на сайте университета: [www.sfu-kras.ru](http://www.sfu-kras.ru).

Автореферат разослан «\_\_» февраля 2018 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Бондина Светлана Сергеевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** За последние 10 лет мировое потребление угля выросло почти на 50 % (потребление газа – примерно на 30 %; нефти и атомной энергии – менее чем на 10 %). Уголь остается одним из основных энергоресурсов, способным удовлетворить основные энергетические потребности растущего населения и развивающейся мировой экономики.

Конкурентные преимущества российской угольной отрасли в рамках отечественного топливно-энергетического комплекса (ТЭК) заключаются в следующем: наличии огромных (второе место в мире) запасов угля, которых при существующем уровне добычи хватит на долгосрочную перспективу; наличии существенных резервов повышения эффективности; многообразии различных видов угольной продукции, следовательно, возможности быстрой адаптации к меняющимся условиям рынка.

Вышеизложенное ставит перед угольной промышленностью вопросы по решению задач модернизации предприятий и развитию новых технологий в добыче угля для снижения издержек и повышения эффективности в производстве.

При разработке открытым способом пологопадающих пластов крупных по запасам и площадям угольных месторождений на основе роторных выемочно-погрузочных комплексов существенное влияние на эффективность добычи угля оказывает выбор направления перемещения фронта горных работ в разрезе.

В отечественной практике добычи угля открытым способом наиболее распространенной и простой в плане исполнения является параллельная схема перемещения фронта работ, однако её применение сопровождается постоянным наращиванием и перестройкой магистральных транспортных коммуникаций, что сказывается на повышении себестоимости добываемой продукции, в свою очередь, использование веерной системы разработки устраняет этот дорогостоящий технологический процесс.

Таким образом, были проведены исследования технологических параметров цикличной и поточной добычи угля при веерном развитии фронта горных работ, к достоинствам которой можно отнести:

- исключение необходимости наращивания магистральных транспортных коммуникаций, что ведет к постоянному расстоянию транспортирования горной массы при отработке месторождения, с условием равных затрат на передвижку забойных конвейерных линий;

- стационарность поворотного пункта, обеспечивающая благоприятное расположение промышленных сооружений.

**Степень разработанности темы.** Научное обоснование технологии открытых горных работ с использованием веерного перемещения фронта отражено в работах таких ученых, как Н.В. Мельников, В.В. Ржевский, М.Г. Новожилов, М.С. Эскин, В.С. Хохряков, Г.Д. Пчелкин, П.И. Томаков, И.К. Наумов, В.П. Шорохов и др.

Несмотря на проведение большого объема исследований, на отечественных угольных разрезах веерное перемещение фронта горных работ не нашло применения, это связано в том числе и с тем, что не получили должного научного решения следующие вопросы: обоснование технологии развития фронта горных работ по вееру на пологопадающих угольных месторождениях; определение зон эффективной работы выемочно-погрузочных комплексов при отработке клиновидно-эксплуатационного блока (КЭБ); регулирование производительности выемочно-погрузочной техники при изменении ширины экскаваторной заходки; технологии перехода от параллельного к веерному подвиганию фронта горных работ; распределение грузопотоков автотранспорта при отработке клиновидно-эксплуатационного блока.

Таким образом, научно-техническая задача обоснования технологии разработки угольных месторождений при веерном подвигании фронта является актуальной.

**Целью работы** является обоснование технологии и параметров веерной системы, обеспечивающих снижение затрат на горнотранспортные работы и повышение эффективности разработки пологопадающих угольных месторождений.

**Идея работы** заключается в том, что эффективность разработки пологопадающих угольных месторождений достигается использованием закономерностей перемещения линии фронта горных работ и технологических решений с обоснованием их параметров при применении веерной системы.

#### **Основные задачи исследования.**

1. Обзор и анализ технологий разработки пологопадающих угольных месторождений при веерной системе.
2. Установление особенностей и закономерностей изменения положения фронта горных работ для обеспечения постоянной ширины рабочей площадки уступа при разработке угольных месторождений по веерной системе.
3. Исследование динамики производительности выемочно-погрузочного оборудования при отработке КЭБ.
4. Разработка и обоснование технологических схем выемки и параметров КЭБ при веерной системе.
5. Исследование направлений грузопотока автотранспорта при отработке КЭБ для минимизации грузооборота.

#### **Научная новизна работы.**

1. Разработана математическая модель перемещения линии фронта горных работ по веерной системе при отработке пологопадающих угольных месторождений.
2. Выявлены закономерности изменения производительности выемочно-погрузочных комплексов циклического действия при отработке КЭБ.
3. Определены границы зон эффективной работы выемочно-погрузочных комплексов при отработке КЭБ.
4. Установлено влияние предлагаемых технологических решений на производительность выемочно-погрузочных комплексов при отработке КЭБ.

5. Разработана математическая модель определения рационального направления грузооборота автотранспорта при отработке КЭБ.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Разработана математическая модель перемещения линии фронта горных работ при отработке пологопадающих угольных месторождений, которая обеспечивает постоянную ширину рабочих площадок уступов путем создания параллельности линий фронта горных работ линиям забойных транспортных коммуникаций.

Разработаны способы развития фронта горных работ в плане при выемки полезного ископаемого по веерной системе (патенты РФ № 2520619, 2541352); принципиально новые технологические решения отработки КЭБ (патенты РФ № 2485315, 2532298, 2536909), основанные на работе роторного комплекса в постоянно изменяющихся горно-технологических условиях; конструктивное решение отработки целиков полезного ископаемого при веерной системе разработки (патент РФ № 2513464).

Технологические схемы, а также математическая модель перемещения линии фронта горных работ при веерной системе разработки приняты к возможному внедрению на объекте АО «Разрез Березовский» при разработке проектной документации.

Результаты исследований рекомендуется использовать при планировании горных работ на разрабатываемых и проектируемых пологопадающих угольных месторождениях, а также в учебном процессе.

**Методология и методы исследований.** В работе применялись научный и технико-экономический анализы, аналитическое обобщение сведений, содержащихся в научно-технической, патентной и специальной литературе. Было проведено математическое моделирование, а также графические и графоаналитические методы обработки данных с применением программных пакетов Microsoft Office, AutoCAD.

**Положения, выносимые на защиту.**

1. Динамика перемещения линии фронта горных работ при открытой разработке пологопадающих угольных месторождений с использованием веерной системы зависит от ширины заходки выемочного оборудования, расстояния от стационарного пункта до границы клиновидно-эксплуатационного блока и описывается аналитическим уравнением.

2. Отработку клиновидно-эксплуатационных блоков рационально производить диагональным забоем, блочной выемкой и с проходкой опережающей выработки для повышения производительности выемочно-погрузочных комплексов по всему фронту ведения горных работ.

3. Распределение направления грузопотоков при отработке клиновидно-эксплуатационных блоков по автотранспортной схеме обеспечивается с учетом закономерностей изменения объемов выемочных блоков по длине фронта горных работ.

**Степень достоверности работы.** Подтверждена патентной защитой полученных решений, использованием результатов проведенных исследований в области разработки пологопадающих угольных месторождений, применением

современных методов исследований и аналитических методов расчета, значительным объемом статистических данных о работе горнодобывающих предприятий.

**Апробация результатов работы.** Материалы диссертационной работы представлены на следующих конференциях и семинарах: XXI заочной научной конференции Research Journal of International Studies, г. Екатеринбург (2013 г.); XI международная научно-техническая конференция «Современные технологии освоения минеральных ресурсов» в Филиппинах г. Манила (2013 г.); 14-я ежегодная научно-практическая конференция «Игошинские чтения» в Иркутском государственном техническом университете (2014 г.); на кафедре открытых горных работ ИГДГГ СФУ (2012-2017 гг.); III международная научно-практическая конференция «Открытые горные работы в XXI веке», г. Красноярск (2017 г.).

**Личный вклад автора.** Заключается в выполнении основного объема теоретических исследований, изложенных в диссертационной работе, включая постановку целей и задач исследования, в разработке новых технологических решений повышения эффективности веерной системы при отработке пологопадающих угольных месторождений, а также в обосновании их параметров.

**Публикации.** По теме диссертационных исследований опубликовано 15 работ, из них: 9 в изданиях, рекомендованных списком ВАК; 6 патентов РФ на изобретение.

**Объем и структура работы.** Диссертация изложена на 143 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, заключения и 1 приложения. Содержит 70 библиографических источников, 16 таблиц, 79 рисунков и 68 формул.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, изложены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлено современное состояние изучаемого вопроса, обзор и анализ применения веерной системы разработки при выемке пологопадающих месторождений.

**Во второй главе** исследованы параметры веерной системы, приводится обоснование математической модели перемещения линии фронта горных работ при выемке пологопадающих угольных месторождений, обеспечивающей постоянную ширину рабочих площадок уступов. Предложены технологические способы перехода от параллельного к веерному подвиганию фронта горных работ. Обоснована технология отработки полезного ископаемого за контуром горных работ отработываемого посредством веерной системы. Представлена технология выемки пологопадающих угольных месторождений двумя бортами с размещением отвалов пустых пород в выработанном пространстве разреза.

**В третьей главе** приведена методика расчета производительности роторных выемочно-погрузочных комплексов, учитывающая изменение ширины экскаваторного забоя. Представлена динамика производительности роторных экскаваторов и выемочно-погрузочных машин циклического действия с обоснованием зон эффективной работы при изменении ширины экскаваторной заходки. Предложены принципиально новые технологические решения, способные регулировать производительность экскаваторов в условиях веерного подвигания фронта горных работ.

**В четвертой главе** проведено сравнение вариантов передвижки забойных конвейерных линий при параллельном и веерном перемещении фронта горных работ. Представлены технологические решения параллельного перемещения двух веток забойных конвейерных линий при веерной системе разработки в условиях разреза «Березовский-1». Исследовано направление грузопотока автотранспорта при отработке КЭБ с учетом закономерности распределения объема горной массы в последнем.

**Пятая глава** содержит технико-экономическую оценку предлагаемых технологий при веерном подвигании фронта горных работ в условиях разреза «Березовский-1».

*Основные результаты проведенных исследований отражены в следующих нижеприведенных защищаемых положениях.*

Отличительной чертой веерного подвигания фронта горных работ от параллельного является формирование единого поворотного пункта в месте перегрузки полезного ископаемого с забойных на магистральные транспортные коммуникации, вследствие чего, выемочные блоки имеют форму близкую к треугольной – клиновидно-эксплуатационный блок (КЭБ).

Если при выемке пологопадающих угольных месторождений с применением веерной системы разработки перемещение линии фронта горных работ будет осуществляться с стационарной точкой поворота, то в таком случае будет происходить изменение ширины рабочей площадки уступа (рис. 1).

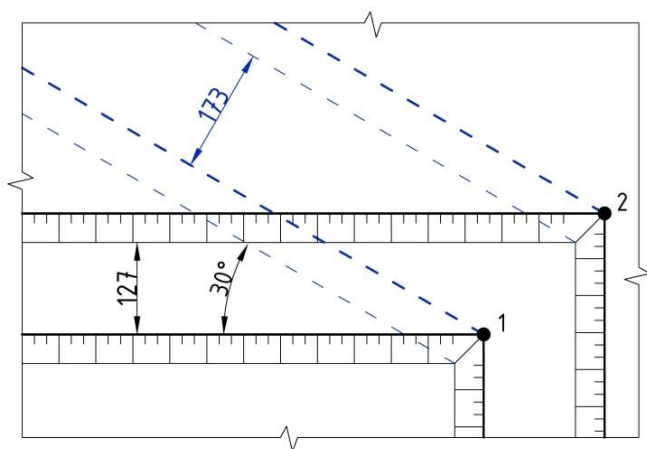


Рисунок 1 – Изменение ширины условной рабочей площадки при повороте фронта работ на 30°

Ширина рабочей площадки увеличивается до развития угла поворота фронта горных работ равному 45° и составляет расстояние равное диагонали между точками поворота выше- и нижележащего уступов. В интервале угла поворота от 45° до 90° происходит снижение ширины рабочей площадки до первоначального значения.

Данная особенность веерного подвигания усложняет процесс выемки полезного ископаемого, а именно, планирование горных работ и размещение горнотранспортного оборудования на уступе.

Для устранения вышеприведенного недостатка необходимым условием является параллельность оси забойного конвейера к линии фронта горных работ, что достигается корректировкой линии фронта горных работ относительно движения линии забойных транспортных коммуникаций (рис. 2).

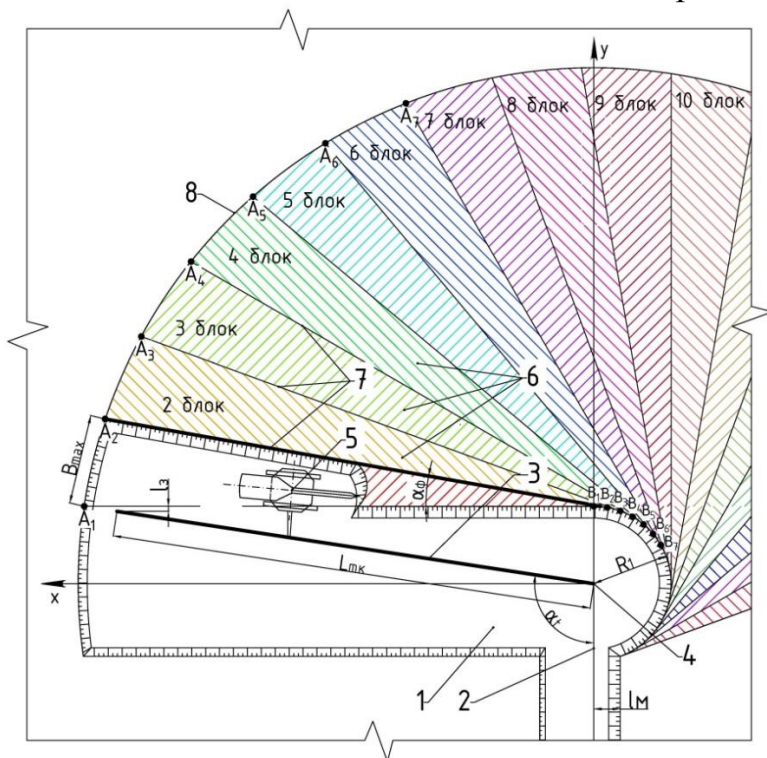


Рисунок 2 – Схема ведения добычных работ при веерной системе разработки:  
 1 – выработанное пространство;  
 2 – ось магистральных транспортных коммуникаций;  
 3 – ось забойных транспортных коммуникаций;  
 4 – стационарный поворотный пункт; 5 – роторный комплекс;  
 6 – КЭБ; 7 – линия фронта горных работ;  
 8 – граница контура разреза

Уравнение перемещения линии фронта горных работ ( $A_i; B_i$ ) по мере отработки поля разреза в декартовой системе, где за начало координат принят перегрузочный пункт между забойными и магистральными конвейерными линиями будет выглядеть следующим образом:

$$y_{A_i B_i} = \pm \operatorname{tg}[\alpha_{\phi} \cdot (i - 1)] \cdot (x - x_{A_i}) + y_{A_i}, \quad (1)$$

где  $\alpha_{\phi}$  – угол поворота фронта горных работ, град; если  $\alpha_{\phi i} = \pi/2$ ,  $x = 0$ .

Положительный знак в представленной зависимости характеризует изменение линии фронта горных работ в технологической схеме отработки месторождения с размещением транспортных коммуникаций на нижней площадке, отрицательный знак – размещение транспортных коммуникаций на верхней площадке.

Таким образом, отработка пологопадающих угольных месторождений при использовании веерной системы определяет смещение линии фронта горных работ (с учетом зависимости (1)) по касательной к окружности с радиусами  $R_1$  или  $R_2$ , центром которой является стационарный поворотный пункт между забойными и магистральными транспортными коммуникациями.

При данном развитии фронта горных работ параметры веерной системы будут определяться следующим образом.

Расстояние ( $R_1$ ) от поворотного пункта до границы КЭБ, при расположении забойных транспортных коммуникаций на нижнем уступе определяется из следующей зависимости, м:

$$R_1 = B_{\max} + l_3, \quad (2)$$



где  $l_3$  – безопасное расстояние от забойных транспортных коммуникаций до верхней бровки добычного уступа, м;  $V_{\max}$  – максимальная ширина экскаваторной заходки, м.

Расстояние ( $R_2$ ) от поворотного пункта до границы КЭБ при расположении транспортных коммуникаций на верхнем уступе, определяется из зависимости, м:

$$R_2 = \sqrt{(l_m^2 + l_3^2)}, \quad (3)$$

где  $l_m$  – безопасное расстояние от магистральных транспортных коммуникаций до верхней бровки добычного уступа, м.

Площадь КЭБ определяется из зависимости, м<sup>2</sup>:

$$S = 0,5 \cdot \left[ L_\phi^2 \cdot \sin \alpha_\phi + \left( \frac{\pi \cdot \alpha_\phi}{180} - \sin \alpha_\phi \right) \cdot (R^2 - R_{1,(2)}^2) \right], \quad (4)$$

где  $L_\phi$  – длина фронта горных работ, м;  $R$  – расстояние от стационарного поворотного пункта транспортных коммуникаций до границы контура разреза, м.

Для обеспечения подготовленных к выемке запасов полезного ископаемого необходимо знать объем выемки горной массы на каждом горизонте, а, с учетом таких параметров как ширина, берм безопасности (транспортных берм) объемы вынимаемых КЭБ будут различные (рис. 3).

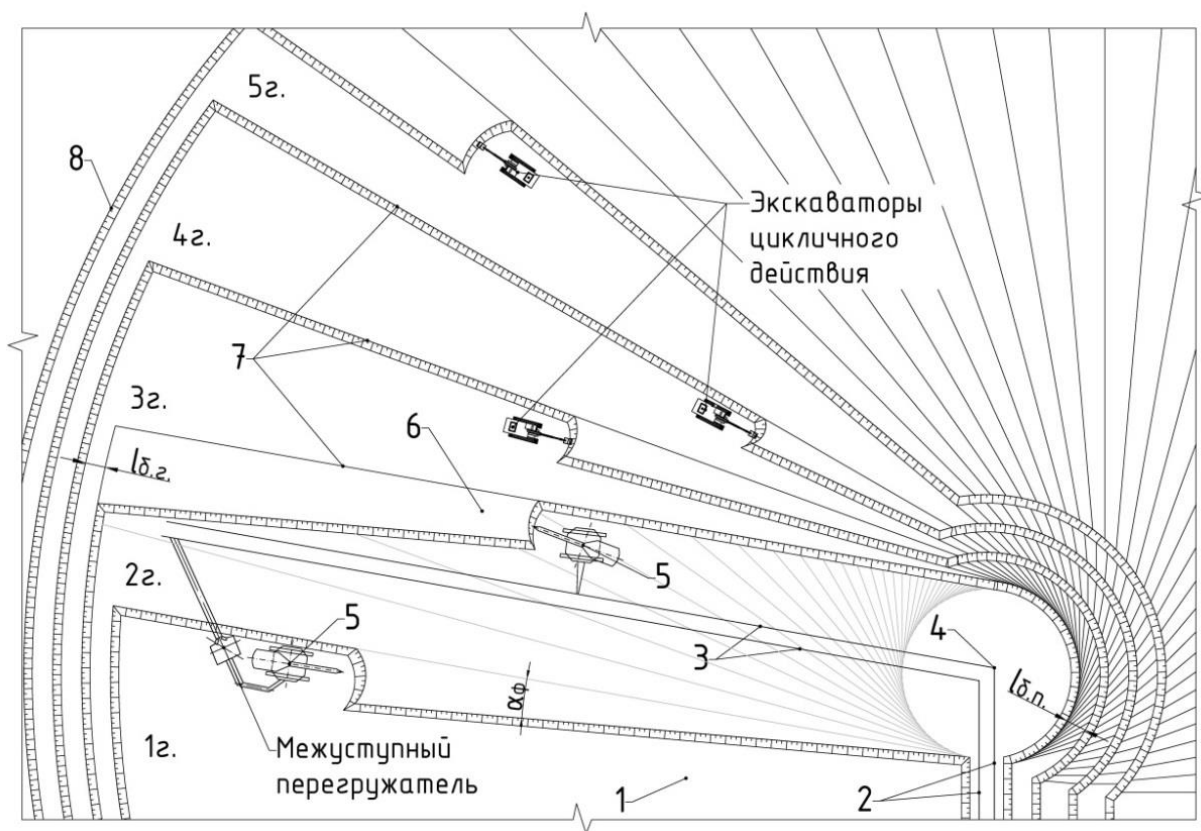


Рисунок 3 – Технологическая схема разработки угольных месторождений при веерной системе несколькими уступами:

$l_{б.г.}$  – расстояние бермы безопасности (транспортной) на границе контура разреза, м;  
 $l_{б.п.}$  – расстояние бермы безопасности (транспортной) со стороны поворотного пункта, м.

Угол поворота фронта горных работ выбирается из условия наибольшей возможной площади выемочного блока, обрабатываемой без переукладки забойных транспортных коммуникаций, и зависит от типа выемочно-погрузочного оборудования, максимальной ширины экскаваторной заходки ( $B_{\max}$ ) при отработке КЭБ на участке примыкания блока с границей контура разреза и определяется следующим уравнением, град:

$$\alpha_{\phi} = \arccos\left(1 - \frac{B_{\max}^2}{2 \cdot L_{\phi}^2}\right). \quad (5)$$

Изменение площади КЭБ от длины фронта горных работ, а также изменение объема КЭБ от горизонта выемки представлено на рисунках 4-5.

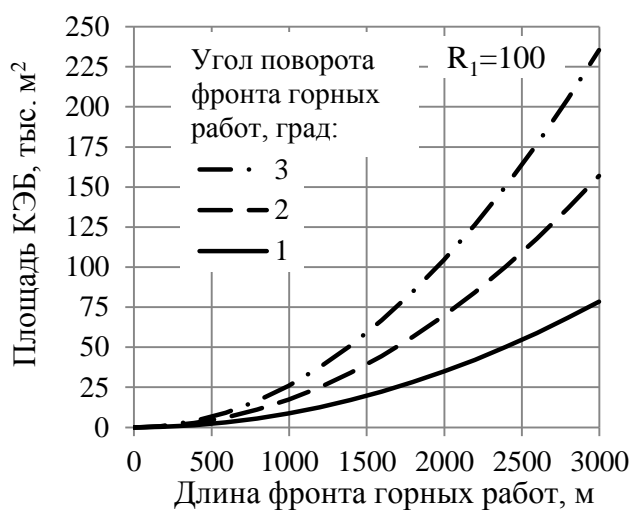


Рисунок 4 – Изменение площади КЭБ от длины фронта горных работ

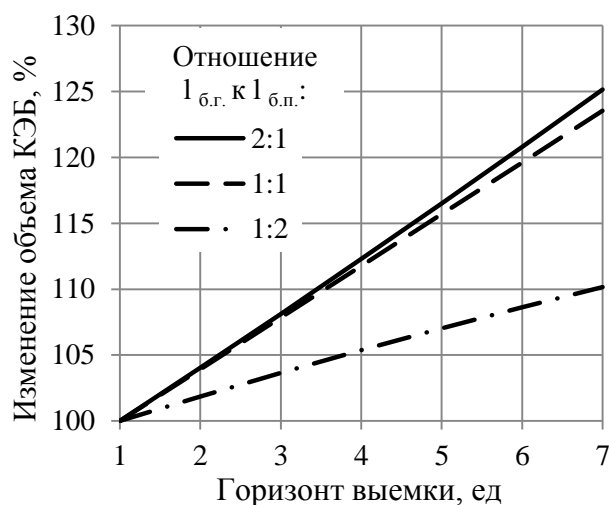


Рисунок 5 – Изменение площади КЭБ от уровня выемочного горизонта (нумерация выемочных горизонтов начинается с нижнего, площадь которого равна 100%)

Отработка поля разреза по представленной технологической схеме обеспечивает постоянную ширину рабочих площадок при любых углах поворота фронта горных работ.

**Вышеизложенное является доказательством первого научного положения, выносимого на защиту, а именно: динамика перемещения линии фронта горных работ при открытой разработке пологопадающих угольных месторождений с использованием веерной системы зависит от ширины заходки выемочного оборудования, расстояния от стационарного пункта до границы КЭБ и описывается аналитическим уравнением.**

Веерное подвигание фронта горных работ связано с работой экскаватора в заходке переменной ширины. В связи с чем, был обоснован коэффициент влияния забоя, учитывающий время отработки блока и количество передвижек экскаватора в течение рабочей смены:

$$K_3 = \frac{K_{эмi}}{K_{эм1}}, \quad (6)$$

где  $K_{эмi}$  – эмпирический коэффициент для  $i$ -ой экскаваторной заходки;  $K_{эм1}$  – эмпирический коэффициент при максимальной ширине экскаваторной заходки:

$$K_{эм} = \frac{T_{см.ч} \cdot V_{у.т}}{t_{отр}}, \quad (7)$$

где  $T_{см.ч}$  – чистое время работы экскаватора в смену, мин;  $V_{у.т}$  – объем полезного ископаемого с одной точки установки экскаватора,  $m^3$ ;  $t_{отр}$  – время отработки объема полезного ископаемого с одной точки установки экскаватора, мин.

Изменение производительности роторных экскаваторов от ширины заходки представлено на рис. 6.

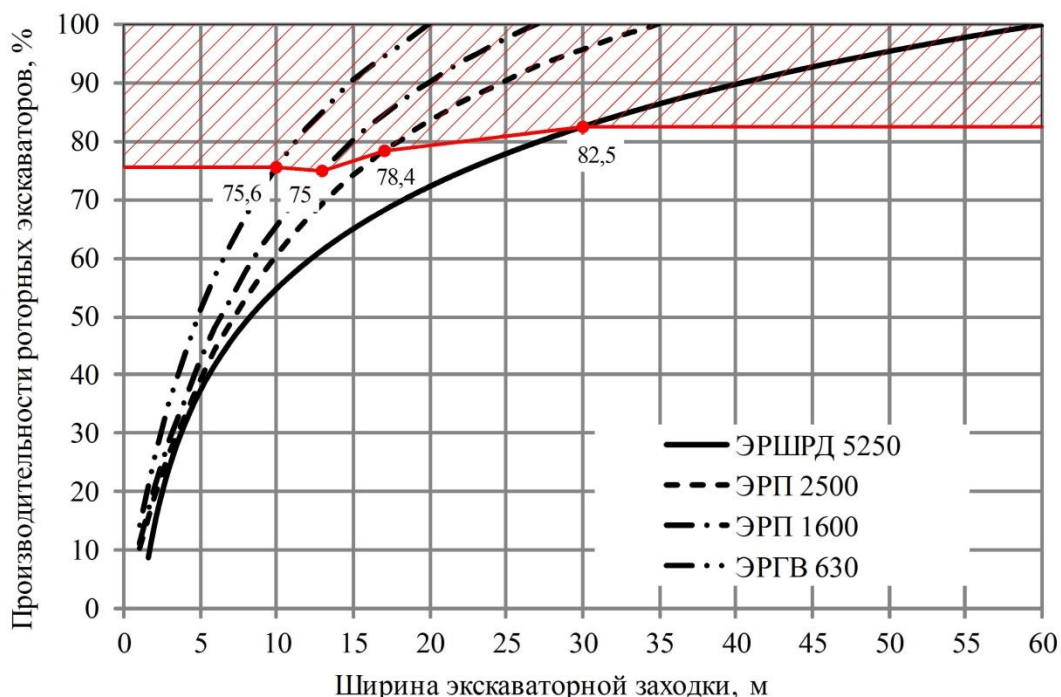


Рисунок 6 – Изменение производительности роторных экскаваторов от ширины заходки

Выделенная область на графике (рис. 6) показывает рациональную зону работы выемочно-погрузочных комплексов по условиям передвижки забойных конвейерных линий к следующему выемочному блоку и максимально возможной ширины экскаваторной заходки при включении объема полезного ископаемого предыдущего КЭБ.

Таким образом, определено повышение производительности выемочно-погрузочных комплексов при увеличении ширины экскаваторной заходки, что, с одной стороны, подтверждает преимущества веерной технологии, с другой – требует создания технологических способов отработки КЭБ, позволяющих стабилизировать производительность экскаваторов по всей длине фронта горных работ.

Анализ условий работы роторного экскаватора в КЭБ позволил создать технологическую схему отработки КЭБ не фронтальным, как при параллельном подвигании фронта, а диагональным забоем (рис. 7).

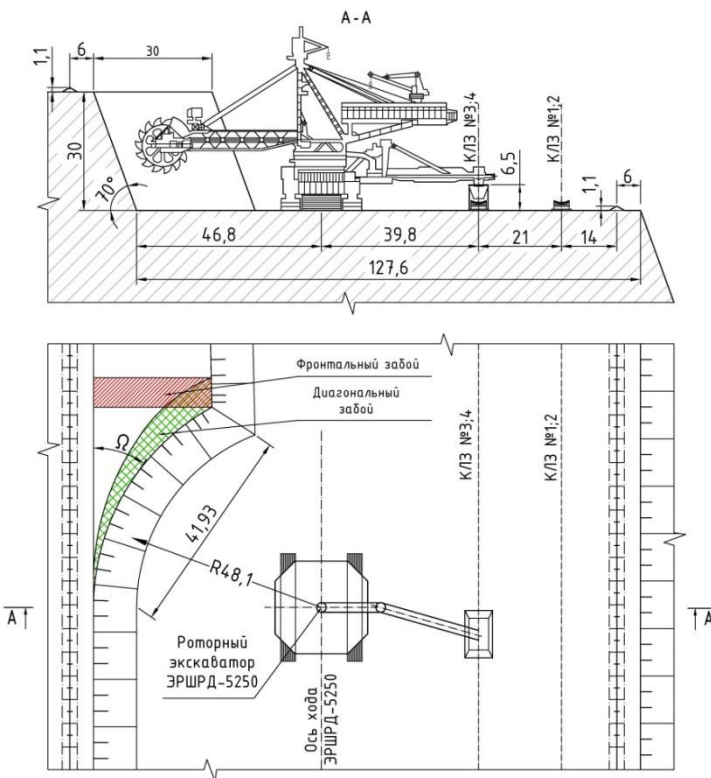


Рисунок 7 – Параметры рабочей площадки верхнего добычного подступа с шириной заходки 30 м при работе диагональным забоем

Так, средняя ширина экскаваторной заходки при отработке КЭБ диагональным забоем будет больше на 23%, чем фронтальным.

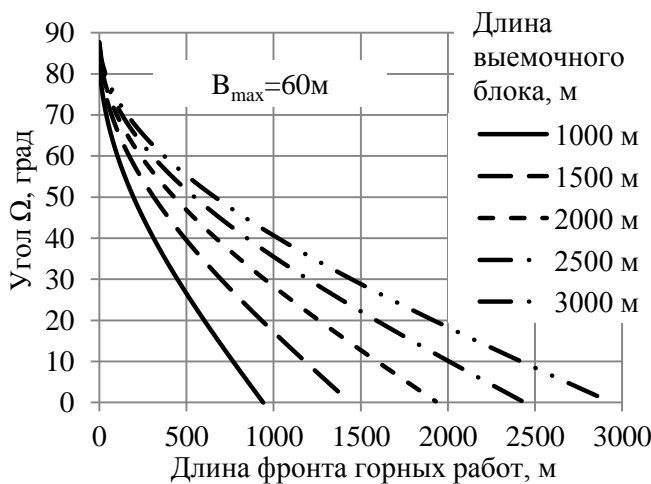


Рисунок 8 – Изменение угла поворота забоя от длины фронта горных работ

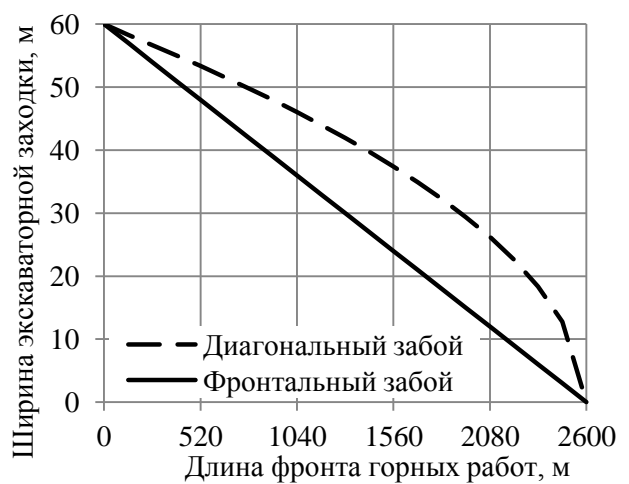


Рисунок 9 – Изменение ширины экскаваторной заходки от длины фронта

Особенностью данной схемы является то, что угол между забоем и линией фронта горных работ  $\Omega$  изменяется по мере отработки выемочного блока для обеспечения оптимальной ширины экскаваторной заходки, который определяется из следующей зависимости, град.:

$$\Omega = \arcsin\left(\frac{\operatorname{tg}\alpha_{\phi} \cdot (L_{\phi} - \Delta l) \cdot \cos\alpha_{\phi}}{V_{\max}}\right) - \alpha_{\phi}, \quad (8)$$

где  $\Delta l$  – шаг передвижки экскаватора, м.

На основании уравнения (8) построен график изменения угла поворота забоя от длины фронта горных работ (рис. 8). И график изменения ширины экскаваторной заходки при отработке КЭБ (рис. 9).

Для исключения работы выемочно-погрузочного комплекса в узких частях КЭБ предлагается следующий технологический способ. Отработку выемочных блоков производят с фланга максимальной шириной экскаваторной заходки  $V_{\max}$  в направлении стационарного поворотного пункта на

расстояние  $L_{\phi 1}$ , позволяющее осуществить поворот забойных транспортных коммуникаций к следующему выемочному блоку (рис. 10). Последующие выемочные блоки обрабатывают по вышеприведенной методике, при этом вовлекая в разработку неотработанные участки предыдущего хода.

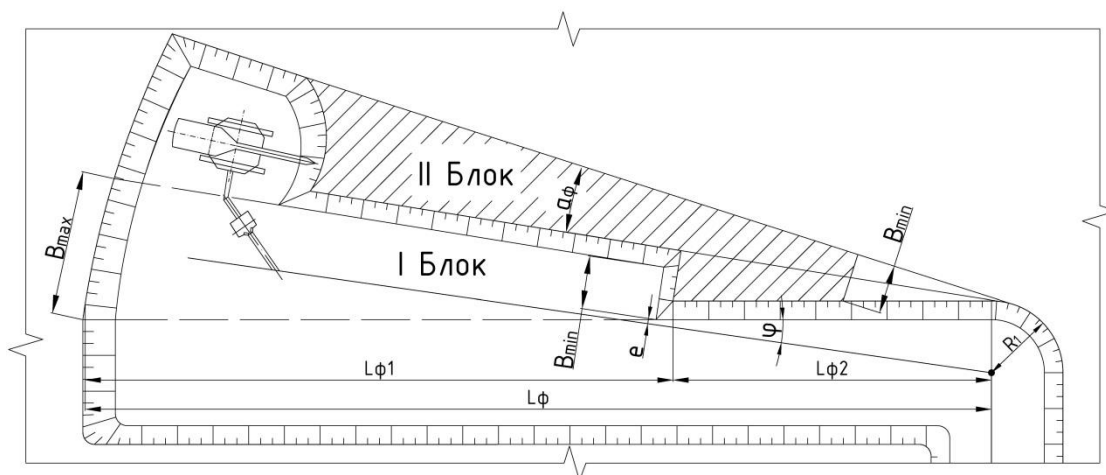


Рисунок 10 – Технологическая схема блочной выемки КЭБ

Обрабатываемая длина выемочного блока, м:

$$L_{\phi 1} = L_{\phi} - \left( \frac{R_1}{\operatorname{tg} \varphi} - \frac{e}{\sin \varphi} \right), \quad (9)$$

где  $e$  – безопасное расстояние от забоя до транспортных коммуникаций, м;  $\varphi$  – угол между транспортными коммуникациями и первоначальной линией фронта горных работ, град.

Реализация указанного способа предусматривает выемку КЭБ разной длины  $a$ , следовательно, и объема. На основании вышеприведенной зависимости была построена диаграмма изменения объема выемочных блоков по мере развития фронта горных работ в плане (рис. 11) с технологическими параметрами, аналогичными верхнему добычному подступу разреза «Березовский-1»: длина фронта горных работ ( $L_{\phi}$ ) – 2600 м; максимальная ширина на фланге ( $B_{\max}$ ) – 60 и мощностью слоя выемки ( $h_y$ ) – 30 м.

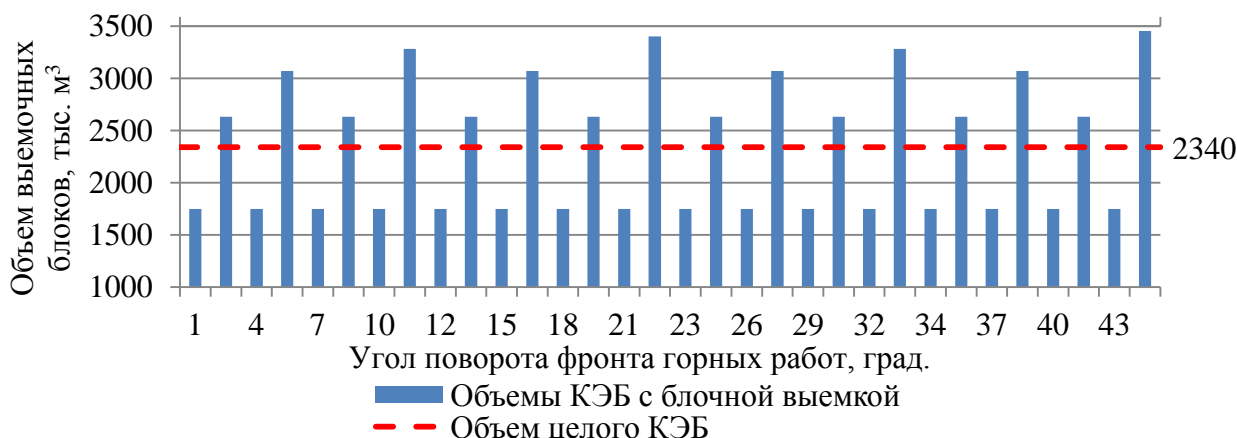


Рисунок 11 – Изменение объема выемочных блоков от угла поворота фронта горных работ при использовании блочной выемки

Применение блочной выемки КЭБ позволяет обрабатывать выемочные блоки до ширины экскаваторной заходки равной:  $V_{\min}=0,5 \cdot V_{\max}$ , с условием передвижки линии забойных транспортных коммуникаций к следующему КЭБ.

Перед началом выемки КЭБ, во избежание снижения производительности выемочно-погрузочного комплекса из-за уменьшения ширины экскаваторной заходки, также возможно производить проходку опережающей выработки от поворотного пункта в направлении границы контура разреза в пределах выемочного участка (рис. 12). Выработку проходят на длину до участка фронта работ шириной  $V_{\min}$  (допустимо минимальная ширина экскаваторной заходки). После проходки опережающей выработки ведется разработка КЭБ в направлении границы карьерного поля, обработка данного участка осуществляется по челноковой схеме.

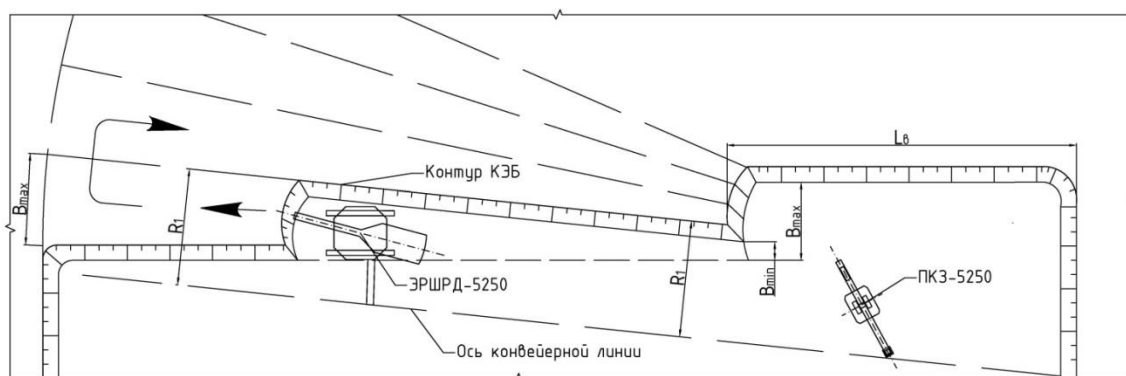


Рисунок 12 – Опережающая выработка при отработке КЭБ

Однако, проходка опережающей выработки у поворотного пункта с целью компенсации критического снижения производительности роторного экскаватора возможна лишь для верхнего угольного уступа и связана с необходимостью строительства аналогичных выработок по всем вскрышным уступам (таблица).

Таблица – Параметры опережающей выработки на фланге у поворотного пункта на примере разреза «Березовский-1»

Длина выработки, м	Ширина выработки, м	Ширина добычной заходки у выработки, м	Количество обрабатываемых добычных заходов, ед	Объем угля в выработке, тыс. м <sup>3</sup>	Объем вскрышных работ для проходки опережающей выработки, м <sup>3</sup>
300	60	7	8	540	2 030 400
350	60	8	7	630	2 210 400
400	60	9	6	720	2 390 400
450	60	10,5	5	810	2 570 400
500	60	11,5	5	900	2 750 400
550	60	13	4	990	2 930 400
600	60	14	4	1080	3 110 400
650	60	15	4	1170	3 290 400
700	60	16	3	1260	3 470 400

Из вышесказанного можно сделать вывод, что проходка опережающей выработки решает проблему работы выемочно-погрузочного оборудования в узкой части экскаваторной заходки.

При веерной системе разработки в процессе подготовки горных пород к выемке необходимо удаление вскрышных пород выемочными блоками переменной ширины (КЭБ), аналогичных по форме, выемочным блокам на добычных работах. Данный вид работ возможно производить как роторными экскаваторами, так и экскаваторами циклического действия.

На примере разреза «Березовский-1», где вскрышные работы ведутся экскаваторами типа мехлопата, проведены исследования изменения производительности выемочно-погрузочного оборудования циклического действия при отработке КЭБ. Как, и в случае с роторными экскаваторами, производительность выемочно-погрузочных комплексов циклического действия изменяется в зависимости от ширины экскаваторной заходки, определяя необходимость создания технологических решений, позволяющих регулировать производительность выемочных машин при отработке КЭБ.

***Вышеизложенное является доказательством второго научного положения, выносимого на защиту, а именно: отработку КЭБ рационально производить диагональным забоем, блочной выемкой и с проходкой опережающей выработки для повышения производительности выемочно-погрузочных комплексов по всему фронту ведения горных работ.***

Учитывая форму КЭБ в плане, объемы полезного ископаемого и вскрышных пород в отдельных выемочных участках будут различные, поэтому необходимо исследование грузопотоков, их направления от параметров КЭБ и транспортирующего оборудования.

При отработке КЭБ со стороны границы контура разреза (широкая сторона КЭБ) объемы выемочных участков составят, м<sup>3</sup>:

$$V'_i = 0,5 \cdot L_i \cdot (2 \cdot B_{\max} - L_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\phi}) \cdot h_y, \quad (10)$$

где  $L_i$  – длина  $i$ -го выемочного участка, м.

При работе в противоположном направлении, со стороны стационарного поворотного пункта транспортных коммуникаций (с узкой стороны КЭБ), объемы выемочных участков определяются по следующей зависимости, м<sup>3</sup>:

$$V''_i = 0,5 \cdot L_i^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\phi} \cdot h_y. \quad (11)$$

Грузооборот составит, т·км:

$$Q_{\text{г.об.}} = L_{\text{тpp}} \cdot m_{\text{вы}}, \quad (12)$$

где  $L_{\text{тpp}}$  – расстояние транспортирования с учетом количества рейсов автосамосвалов, м;  $m_{\text{вы}}$  – масса выемочного участка КЭБ, т.

Расчет изменения грузооборота при веерной системе разработки производился на КЭБ со следующими параметрами: длина блока ( $L_{\text{кэб}}$ ) - 3000 м; максимальная ширина на фланге ( $B_{\max}$ ) - 60 и мощностью слоя выемки ( $h_y$ ) – 10 м. Расстояние от клиновидно-эксплуатационного блока до отвала пустых пород было условно принято 1500 м, грузоподъемность автосамосвала 55 т, результаты расчетов представлены на рис. 13.

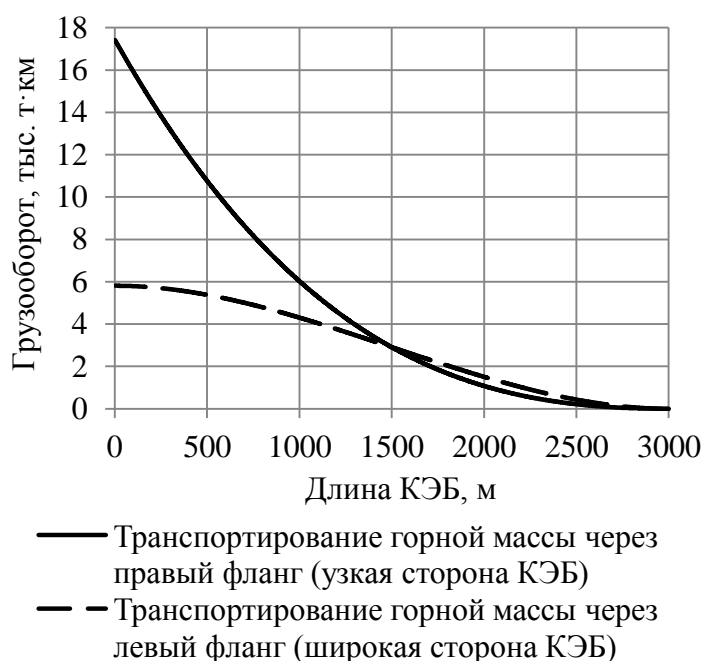


Рисунок 13 – График грузооборота автотранспорта при обработке КЭБ

Минимальные значения грузооборота при обработке КЭБ происходят при вывозе горной массы через широкую сторону участка выемочного блока равного 1500 м, а остальные объемы вывозятся через узкую сторону. Точка пересечения кривых соответствует параметру ( $L_{напр}$ ) – расстояние от широкой стороны КЭБ до места изменения направления грузопотока автотранспорта.

Диаграмма изменения грузооборота автотранспорта при различном расстоянии транспортирования горной массы представлено на рис. 14.

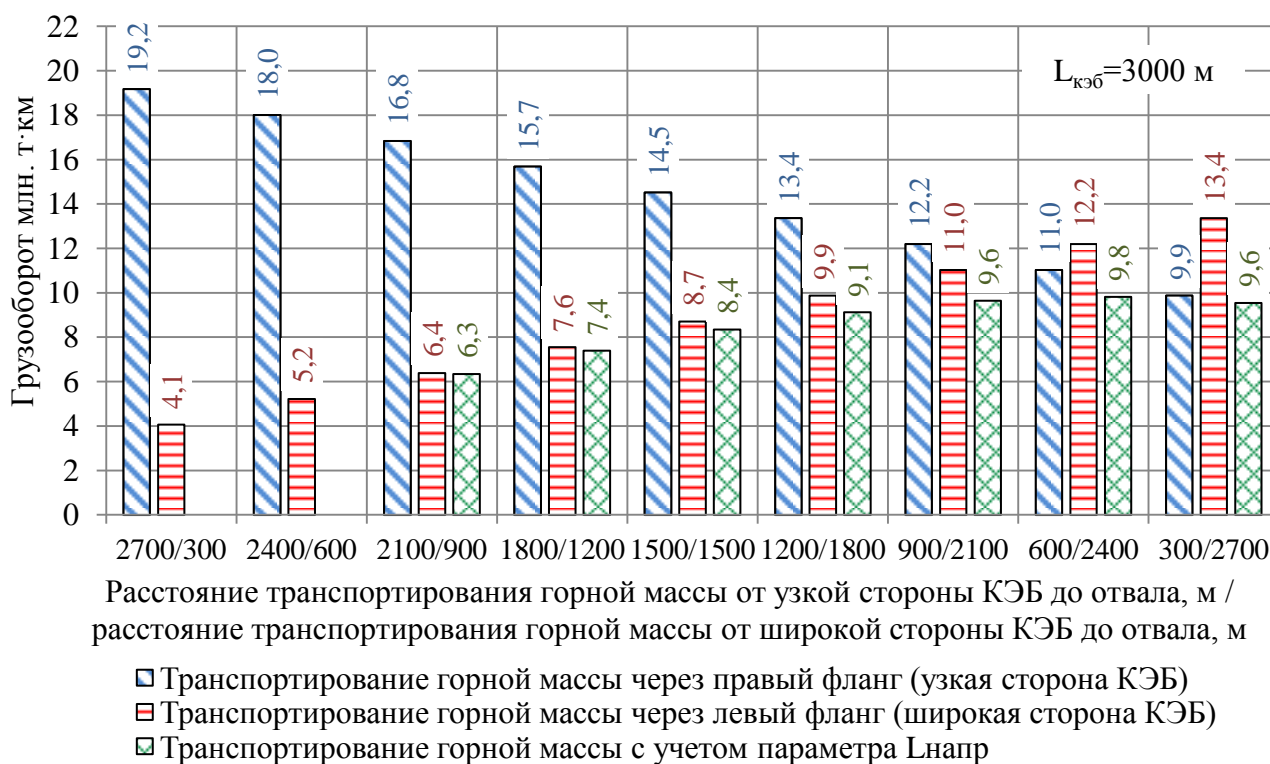


Рисунок 14 – Грузооборот автотранспорта при различном расстоянии транспортирования горной массы

Транспортировка горной массы с учетом параметра  $L_{напр}$  уменьшает грузооборот автотранспорта на 4 % при условии транспортирования всего выемочного блока через широкую сторону КЭБ и на 43 % – через узкую, ввиду равного расстояния транспортирования горной массы с левого и правого флангов.



*Вышеизложенное является доказательством третьего научного положения, выносимого на защиту, а именно: распределение направления грузопотоков при отработке КЭБ по автотранспортной схеме обеспечивается с учетом закономерностей изменения объемов выемочных блоков по длине фронта горных работ.*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача по снижению затрат на горнотранспортные работы при выемке пологопадающих угольных месторождений путем перехода на веерную систему разработки с обоснованными технологическими параметрами, имеющая важное значение для развития горнодобывающей отрасли России.

1. Разработанная математическая модель перемещения линии фронта горных работ при отработке пологопадающих угольных месторождений обеспечивает постоянную ширину рабочих площадок уступов путем создания параллельности линий фронта горных работ линиям забойных транспортных коммуникаций. За основу данной модели принято смещение линий фронта горных работ по касательной к окружности с радиусами  $R_1$  или  $R_2$ , центром которой является перегрузочный пункт между забойными и магистральными транспортными коммуникациями.

2. Определена зависимость объема КЭБ от горизонта выемки с учетом берм безопасности и транспортных берм. Увеличение транспортной бермы со стороны границы карьерного поля приводит к более интенсивному изменению объема вынимаемых блоков. Объем КЭБ при отношении ширины транспортных берм у границы карьерного поля к ширине транспортных берм у стационарного поворотного пункта как 2:1 больше на 2-9 %, чем при других вариантах соотношений.

3. Сформулированы и обоснованы технологические способы перехода от параллельного к веерному подвиганию фронта горных работ. Разработана методика определения площади вынимаемых участков КЭБ при переходе с веерного на параллельное подвигание фронта.

4. Выявлена закономерность изменения объемов полезного ископаемого, не попадающих в контур отработки веерной системы при развитии поля разреза с учетом прямоугольной формы контура балансовых запасов. Максимальный объем вынимаемого участка достигается при угле поворота фронта горных работ в  $45^\circ$  и равен 96 % от объема КЭБ.

5. Обоснована сменная производительность роторных экскаваторов при отработке КЭБ, например, уменьшение ширины экскаваторной заходки с 50 до 30 м приводит к изменению коэффициента забоя от 0,97 до 0,88. Сменная производительность экскаватора ЭРШРД-5250 уменьшается на 13,6 %.

6. Разработанные технологии позволяют исключить работу роторного экскаватора в узких частях КЭБ. В результате средняя ширина экскаваторной заходки при отработке КЭБ диагональным забоем будет больше на 23 %, чем

фронтальным. Применение блочной выемки КЭБ позволяет обрабатывать выемочные блоки до ширины экскаваторной заходки, равной  $V_{\min}=0,5 \cdot V_{\max}$  с условием передвижки линии забойных транспортных коммуникаций к очередному КЭБ. Проходка опережающей выработки у поворотного пункта, с целью устранения снижения производительности роторного экскаватора, решает проблему работы выемочно-погрузочного оборудования в узкой части экскаваторной заходки. Например, при длине опережающей выработки равной 550 м, минимальная ширина экскаваторной заходки последующих четырех выемочных блоков будет составлять 21 % от максимальной ширины экскаваторной заходки.

7. Определена техническая производительность экскаваторов циклического действия при обработке КЭБ. При снижении ширины экскаваторной заходки с 14 до 4 м техническая производительность отечественных экскаваторов циклического действия уменьшается: при работе экскаватора ЭКГ-5 – на 25,3 %; ЭКГ-8 – на 15,4 %; ЭКГ-10 – на 15,8 %. Снижение технической производительности зарубежных экскаваторов циклического действия, а именно: EX3600-6 LD – на 16,5 % и P&H 2300 XPC – на 20,7 %, происходит в результате изменения ширины заходки с 20 до 6 м.

8. Технологические схемы и зоны эффективной работы выемочно-погрузочных комплексов циклического действия при веерной системе разработки приведены для условий разреза «Березовский-1». Изменения технической производительности составили: ЭКГ-10 – на 5 %; P&H 2300 XPC – на 9 %.

9. Обосновано равенство удельных площадей передвижки забойных конвейерных линий при параллельном и веерном подвигании фронта горных работ в условиях разреза «Березовский-1».

10. Определены закономерности распределения объема горной массы в КЭБ с учетом его длины и максимальной ширины на фланге. Так, объем выемочного участка КЭБ длиной 2500 м увеличивается на 16,7 % при изменении параметра  $V_{\max}$  с 50 до 60 м.

11. Обосновано расстояние от широкой стороны КЭБ до места изменения направления грузопотока автотранспорта ( $L_{\text{напр}}$ ), обеспечивающее снижение грузооборота на 4 %, при условии транспортирования всего выемочного блока через широкую сторону КЭБ и на 43 % – через узкую, в виду равного расстояния транспортирования горной массы с левого и правого флангов.

12. Выявлена динамика параметра  $L_{\text{напр}}$ , на которую влияет изменение расстояния транспортирования горной массы через левый фланг (широкая сторона КЭБ) относительно расстоянию транспортирования горной массы через правый фланг (узкая сторона КЭБ).

13. Установлена зависимость удельных затрат электроэнергии от ширины заходки для выемочно-погрузочного комплекса и конвейерного транспорта. Так, снижение ширины экскаваторной заходки с 60 до 10 м определяет увеличение потребления электроэнергии роторных экскаваторов на 1,48 кВт·ч/т и увеличение стоимости энергопотребления конвейерным транспортом с 6,5 до 12 руб./т.

14. Техничко-экономическое сравнение капитальных вложений и прямых эксплуатационных затрат вариантов отработки угольного разреза «Берёзовский-1» параллельным и веерным подвиганием фронта горных работ выявило уменьшение суммарных дисконтированных затрат на 443,23 млн. руб. и снижение производственной себестоимости 1 т. угля на 7,5 руб. при переходе на веерную систему разработки.

### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

#### Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ и приравненные к ним публикации:

1. **Катышев, П.В.** Исследование технологии и производительности роторного выемочно-погрузочного комплекса при веерном подвигании фронта добычных работ в угольном карьере / В.Е. Кисляков, А.В. Никитин, П.В. Катышев // Горный журнал. – 2013. – № 5. – С. 89-92.

2. **Катышев, П.В.** Работа экскаваторов типа ЭКГ в клиновидной заходке / В.Е. Кисляков, А.В. Никитин, П.В. Катышев, Д.С. Сенаторов // Маркшейдерия и недропользование. – 2013. – № 5. – С. 44-50.

3. **Катышев, П.В.** Исследование развития фронта горных работ на пологопадающих месторождениях при веерной системе разработки / В.Е. Кисляков, П.В. Катышев // Маркшейдерия и недропользование. – 2014. – № 2. – С. 42-44.

4. **Катышев, П.В.** Исследование технологических параметров при веерном подвигании фронта горных работ / В.Е. Кисляков, П.В. Катышев // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2015. – Т. 8, № 2. – С. 192-197.

5. **Катышев, П.В.** Обоснование параметров фронта горных работ при отработке пологопадающих угольных месторождений веерной системой / П.В. Катышев, В.Е. Кисляков // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: техника и технологии. – 2016. – Т. 9, № 2. – С. 166-173.

6. **Катышев, П.В.** Обоснование основных параметров веерной системы открытой разработки угольных месторождений / В.Е. Кисляков, П.В. Катышев // Маркшейдерия и недропользование. – 2016. – № 2. – С. 11-14.

7. **Катышев, П.В.** Обоснование направления транспортирования вскрышных пород при веерной системе разработки / П.В. Катышев, В.Е. Кисляков, В.Н. Вокин // Успехи современного естествознания. Академия естествознания. 2016. – № 12, Часть 1. – С. 162-166.

8. **Катышев, П.В.** Особенности технологии отработки мощных угольных месторождений при веерной системе / В.Е. Кисляков, Т.А. Веретенова, П.В. Катышев // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2016. – Вып. 4. – С. 190-198.

9. **Катышев, П.В.** Исследование параметров веерной системы открытой разработки угольных месторождений / В.Е. Кисляков, П.В. Катышев // Уголь. – 2017. – № 6. – С. 11-16.

10. **Патент 2485315 РФ, МПК E21C 41/26.** Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых / В.Е. Кисляков, **П.В. Катышев**, А.В. Никитин, Е.А. Тарасенко; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2012100391; заявл. 10.01.2012; опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17. – 5 с.

11. **Патент 2513464 РФ, МПК E21C 41/26.** Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых / В.Е. Кисляков, **П.В. Катышев**; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2012142059; заявл. 02.10.2012; опубл. 20.04.2014, Бюл. № 11. – 7 с.

12. **Патент 2520619 РФ, МПК E21C 41/26.** Способ открытой разработки месторождений / В.Е. Кисляков, **П.В. Катышев**; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2013110262; заявл. 07.03.2013; опубл. 27.06.2014, Бюл. № 18. – 6 с.

13. **Патент 2532298 РФ, МПК E21C 41/26.** Способ ведения горных работ при веерной системе разработки / В.Е. Кисляков, А.В. Никитин, **П.В. Катышев**, Д.С. Сенаторов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2013129118; заявл. 25.06.2013; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 31. – 7 с.

14. **Патент 2536909 РФ, МПК E21C 41/26.** Способ выемки полезного ископаемого при веерном подвигании фронта горных работ / В.Е. Кисляков, **П.В. Катышев**; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2013145152; заявл. 08.10.2013; опубл. 27.12.2014, Бюл. № 36. – 6 с.

15. **Патент 2541352 РФ, МПК E21C 41/26.** Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых / В.Е. Кисляков, **П.В. Катышев**; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2013154629; заявл. 09.12.2013; опубл. 10.02.2015, Бюл. № 4. – 6 с.