

На правах рукописи



ОВСЯННИКОВ МАКСИМ ПАВЛОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ И
РАЦИОНАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РАСКОНСЕРВАЦИИ
ВРЕМЕННО НЕРАБОЧЕГО БОРТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ОТКРЫТОЙ
ГЕОТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ КРУТОПАДАЮЩИХ РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Специальность
2.8.8. Геотехнология, горные машины

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Магнитогорск 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Научный руководитель доктор технических наук, профессор,
Гавришев Сергей Евгеньевич

Официальные оппоненты: **Зырянов Игорь Владимирович**,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой горного дела МПТИ (ф)
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный
университет им. М.К. Аммосова», г. Мирный

Исаков Сергей Владимирович,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры разработки месторождений
открытым способом ФГБОУ ВО «Уральский
государственный горный университет»,
г. Екатеринбург

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово

Защита диссертации состоится «26» сентября 2024 г. в 12³⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 24.2.324.06 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова») по адресу: 455000, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, ауд. 233.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и на сайте ФГБОУ ВО «МГТУ им Г.И. Носова»: <https://magtu.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук



С.Н. Корнилов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. На протяжении всего периода развития горнодобывающей промышленности существует тенденция к увеличению проектных глубин разрабатываемых месторождений. При возрастании глубины карьера неизбежно возрастают и объемы вскрышных работ. Таким образом, возникли задачи целесообразности равномерного распределения выемки этих объемов во время всего срока эксплуатации месторождения.

Одним из способов решения этих задач является строительство временно нерабочего борта (далее – ВНБ). Причины формирования нерабочих бортов могут быть различными, однако, использование ВНБ на карьере создает жесткую взаимосвязь между вскрышными и добычными работами. При формировании целика уменьшаются размеры рабочих площадок вплоть до размеров предохранительных берм, а в отдельных случаях формируются сдвоенные уступы. На больших карьерах временно нерабочие зоны могут превышать 200 м в высоту и 1000 м в плане.

Своевременная расконсервация временно нерабочих бортов является приоритетной задачей. Динамика цен на рынке минерального сырья, а также воздействие внешних факторов часто негативно влияют на сроки расконсервации целиков. Практика отработки карьеров с использованием ВНБ показывает, что при увеличении сроков расконсервации существенно снижается производственная мощность карьера и, как следствие, ухудшаются технико-экономические показатели работы.

Решение этой проблемы возможно путем определения конструкции ВНБ и технологических схем расконсервации, способных обеспечить баланс между объемами консервируемой породы и скоростью ликвидации целика. Тип применяемого оборудования и порядок его ввода в работу оказывают непосредственное влияние на объемы и скорости расконсервации.

Таким образом, усовершенствование существующих схем и поиск новых технологических решений для эффективной расконсервации временно нерабочих бортов, а также обоснование порядка и очередности ввода оборудования в работу на разносимых горизонтах является актуальной задачей.

Цель работы. Разработка методики обоснования параметров открытой геотехнологии, обеспечивающей выбор конструкции временно нерабочего борта, и определение порядка его расконсервации для оптимизации календарного графика при отработке крутопадающих рудных месторождений.

Идея работы. Определение конструкции временно нерабочего борта карьера, объемов консервации и скорости расконсервации должно базироваться на разработанных методах выбора рациональных параметров технологических схем и горнотранспортного оборудования с учетом условий работы на площадках уменьшенного размера.

Задачи исследования:

1. Анализ и обоснование технологических схем консервации и расконсервации временно нерабочих бортов.

2. Обоснование метода ведения открытых горных работ с использованием временно нерабочего борта с учетом горнотехнических условий разработки рудных крутопадающих месторождений.

3. Выбор и обоснование рациональных технологических схем и параметров расконсервации временно нерабочего борта на рудных крутопадающих месторождениях.

4. Обоснование метода определения конструкции временно нерабочего борта и параметров расконсервации для обеспечения выполнения календарного графика.

5. Экономическая оценка технологических схем формирования и расконсервации временно нерабочего борта для горнотехнических условий Михеевского меднорудного месторождения.

Объект исследования:

Рабочая зона карьера с участком временно нерабочего борта.

Предмет исследования:

Параметры технологических схем, обеспечивающие рациональную конструкцию временно нерабочего борта, порядок и скорость его расконсервации.

Методы исследования.

В исследовании использованы методы комплексного анализа теоретических исследований и производственного опыта разработки месторождений открытым способом с формированием временно нерабочего борта; статистической обработки данных; математического моделирования; визуализации функциональных связей; анализа чувствительности критических переменных, влияющих на объемы консервации; определения оптимальной конструкции временно нерабочего борта и параметров технологических схем расконсервации; экономической оценки технологических решений.

Положения, выносимые на защиту:

1. Оценку степени влияния параметров временно нерабочего борта и скорости его разноса на консервируемые объемы вскрыши необходимо проводить на основе анализа чувствительности важнейших факторов и критических переменных, оказывающих существенное влияние на выбор конструкции ВНБ и эффективность реализации технических решений.

2. Обоснование параметров технологической схемы расконсервации временно нерабочего борта должно проводиться с учетом планируемого количества и вида горного оборудования, очередности ввода его в работу, продолжительности расконсервации и подготовки горизонта, зависящее от параметров экскаваторного блока и скорости его отработки.

3. Для получения оптимального календарного графика горных работ необходимо поддержание баланса между объемами консервации и скоростью расконсервации временно нерабочего борта, обеспечиваемого выбором технологической схемы с оптимальными параметрами и конструкцией ВНБ, типом и количеством применяемого на расконсервации оборудования.

Достоверность результатов гарантируется использованием передовых

методик научного анализа, математического прогнозирования через специализированные программные продукты, проектной и фактической документации деятельности как российских, так и иностранных предприятий-аналогов; анализа тенденций развития современных карьеров, рынка минеральных ресурсов и горного оборудования; экономико-технических анализов предлагаемых решений.

Научная новизна:

1. Предложена методика оценки степени влияния параметров временно нерабочего борта и скорости его разноса на консервируемые объемы пустой породы, основанная на анализе чувствительности основных параметров и обеспечивающая выбор его конструкции.

2. Предложена методика обоснования параметров открытой геотехнологии при разработке крутопадающих рудных месторождений с консервацией вскрышных пород во временно нерабочем борту и выбора рациональной технологической схемы его расконсервации с учетом применяемого комплекса рабочего оборудования и технологии производства буровзрывных работ.

3. Установлена зависимость между числом одновременно задействованных экскаваторных комплексов при ликвидации временно нерабочего борта и временем его расконсервации, позволяющая обосновать выбор оптимального количества экскавационного оборудования с учетом требуемой скорости расконсервации.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования; разработке методики оценки влияния параметров временно нерабочего борта и скорости его разноса на консервируемые объёмы вскрыши; обосновании выбора конструкции временно нерабочего борта и параметров технологической схемы расконсервации; обосновании параметров выбора технологических схем буровзрывной подготовки, выемки взорванной горной массы и транспортирования при работах по погашению временно нерабочего борта с учётом применяемого горного оборудования; разработке методики для обеспечения баланса между объёмами консервации и скоростью расконсервации с целью построения оптимального календарного графика горных работ.

Практическая значимость работы заключается в разработанных методах выбора оптимальных параметров конструкции временно нерабочего борта и технологических схем расконсервации при отработке рудных крутопадающих месторождений, применение которых позволяет увеличить объёмы консервируемой в целике породы и скорость его расконсервации.

Апробация работы

Положения и основные результаты работы представлялись и обсуждались на: Международной научно-практической конференции «Молодежная наука как фактор и ресурс инновационного развития» (г. Петрозаводск, 2020 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: эффективное

освоение месторождений полезных ископаемых» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.); IV Международной научно-практической конференции «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.); LXII Международной научно-практической конференции «Российская наука в современном мире» (г. Москва, 2024 г.).

Публикации.

Основные положения диссертации опубликованы в 7 научных работах. Из них 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ и входящих в международные базы цитирования Web of Science; 2 – в прочих изданиях.

Объем и структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, изложена на 155 страницах печатного текста, включает 39 рисунков и 22 таблицы, библиографический список содержит 116 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проанализирован методологический и практический опыт использования технологии строительства временно нерабочего борта в карьерном поле, доказана эффективность применения технологии с целью регулирования коэффициента вскрыши, интенсификации производительности и реконструкции горных предприятий, а также изучена научно-методическая база определения параметров открытой геотехнологии.

Технология отработки глубоких месторождений полезных ископаемых с временно нерабочими бортами (ВНБ) встречается на 95% современных предприятий. Формирование ВНБ может быть как запланированным, так и стихийным в результате принятия неоптимальных проектных решений или под воздействием внешних факторов. Создание ВНБ – это необходимое техническое решение, позволяющее решить ряд проблем, связанных с регулированием календарного графика вскрышных работ и коэффициента вскрыши, а также является способом интенсифицировать производственную мощность предприятия и улучшить технико-экономические показатели отработки.

Однако, применение ВНБ на карьере создает жесткую взаимосвязь процессов вскрышных и добычных работ. Если сроки расконсервации увеличиваются, то это значительно снижает производительность карьера, вскрышные работы начинают отставать от плана, а экономические показатели ухудшаются. В результате производство может быть полностью остановлено.

В течение долгих лет развития горнодобывающей отрасли был накоплен значительный опыт в области формирования и расконсервации временно нерабочих бортов. Можно выделить ряд ученых, которые исследовали или продолжают научные изыскания по данной проблематике: Е.Ф. Шешко, А.И. Арсентьев, В.В. Ржевский, В.С. Хохряков, Б.П. Юматов, Ж.В. Бунин, Ю.И. Анистратов, Н.В. Мельников, К.Н. Трубецкой, С.Е. Гавришев, В.П. Линева, С.И. Фомин, Г.А. Холодняков, А.И. Косолапов, К.В. Бурмистров и многие другие.

При отработке месторождений с применением временно нерабочего борта изменение производительности карьера по руде возможно путем регулирования параметров системы разработки. В зависимости от применяемого парка горнотранспортного оборудования следует использовать следующие параметры и показатели: местоположение и размеры ВНБ, высота уступа, ширина оставляемой предохранительной и/или транспортной берм, количество и ширина рабочих площадок. Поскольку временно нерабочий борт характеризуется узкими площадками и часто наличием сдвоенных или даже стресенных уступов, параметры горнотранспортного оборудования должны обеспечить нормальные условия его работы в зоне формирования и разноса ВНБ. Таким образом, от выбора оборудования и технологических схем работы будут зависеть объемы консервации пустой породы, скорость углубки и разноса ВНБ, а также экономическая эффективность отработки карьера в целом.

Во второй главе проведен анализ значимых факторов, влияющих на выбор технологических схем формирования временно нерабочего борта, исследованы экскаваторно-автомобильные комплексы оборудования, используемые на временно нерабочим борту и обоснована технология расконсервации ВНБ с применением гидравлических экскаваторов.

Проведена оценка степени влияния важнейших факторов и критических переменных, которые оказывают существенное влияние на выбор конструкции ВНБ и эффективность проекта в целом. Для оценки степени влияния параметров временно нерабочего борта и скорости его разноса на консервируемые объемы пустой породы был проведен анализ чувствительности. Он отражает зависимость эффективности применения ВНБ от конкретных показателей, а степень этой зависимости определяется по коэффициенту эластичности.

Нерациональные конструктивные параметры ВНБ являются главной причиной сокращения области применения технологии, снижения его экономической эффективности, а также усложнения процесса вскрытия новых горизонтов и обеспечения безопасной работы.

На рисунке 1 представлена схема временно нерабочего борта с основными параметрами на примере разработки рудного крутопадающего месторождения.

В дальнейших расчетах использовано выражение для нахождения вертикальной скорости расконсервации и величины верхней части ВНБ. Путем преобразования формулы объема пород, консервируемых в одном уступе ВНБ, получена следующая зависимость (1):

$$V = (H_k - Mh_y)(ctga + ctg\gamma) - MШ_n - \frac{h_y v_d (ctga + ctgf)L_{фp} h_y (ctgf - ctg\beta)}{QN} h_y L_{фp} + h_y Ш_n (m - 1)L_{фp}, \quad (1)$$

где H_k – глубина карьера в конечных контурах, м; M – количество уступов на ВНБ, шт; v_d – скорость понижения добычных работ, м/год; $L_{фp}$ – длина фронта горных

работ на ВНБ, м Q – производительность экскаватора, м³/год; N – количество экскаваторов работающих одновременно на уступе, шт.; m – номер уступа.

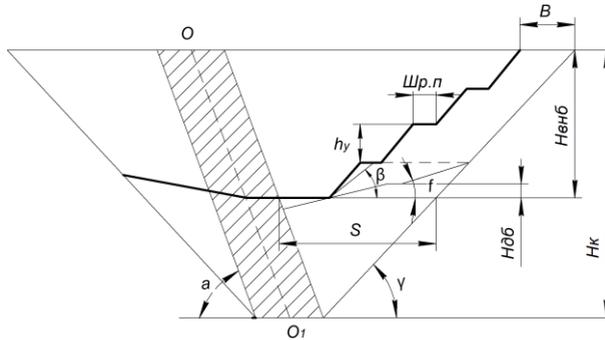


Рисунок 1 – Основные параметры временно нерабочего борта:

H_k – глубина карьера, м; $H_{ВНБ}$ – высота ВНБ, м; $H_{дб}$ – высота добычной зоны, м; B – высота верхней части целика, м; h_y – высота уступа, м; α – угол падения рудного тела, град.; γ – угол наклона борта карьера в конечном положении, град.; β – угол временно нерабочего борта, град.; $\text{Ш}_п$ – средняя ширина оставляемых площадок на ВНБ, м; f – угол рабочего борта карьера, град.; β – угол временно нерабочего борта, град.

Главной задачей является определение важнейших факторов и критических переменных, которые оказывают существенное влияние на выбор конструкции ВНБ и эффективность проекта в целом (рисунок 2).

Анализ чувствительности характеризуется определением относительного влияния исходных значений на конечный показатель. В ходе анализа определяется такая величина, как коэффициент эластичности (2); она показывает, на сколько изменяется критериальный показатель при единичном изменении переменной.

$$\varepsilon = \frac{100}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\Delta y_i x_i}{\Delta x_i y_i}, \quad (2)$$

где n – число точек; x_i, y_i – значение функции и аргумента в i -й точке; $\Delta x_i, \Delta y_i$ – приращение в i -й точке

По результатам анализа чувствительности производится ранжирование переменных по величине коэффициента эластичности: чем выше значение этого показателя, тем выше уровень зависимости и тем сильнее повышается проектный риск (рисунок 3).

В процентном выражении разделение по группам степени влияния в зависимости от коэффициента эластичности осуществляется следующим образом: параметры с низким влиянием $\varepsilon < 25\%$; средним влиянием $25\% < \varepsilon < 60\%$; сильным влиянием $\varepsilon > 60\%$.

Определено, что параметры, оказывающие влияние на величину консервируемых объемов пород, располагаются по степени значимости

в следующем порядке: ширина оставляемых площадок на ВНБ, длина временно нерабочего борта, угол рабочего борта карьера, число работающих на уступе экскаваторов, высота уступа временно нерабочего борта, производительность экскаватора, скорость углубки добычных работ.

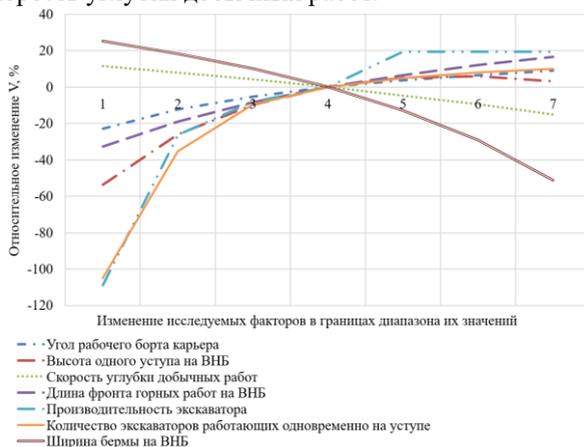


Рисунок 2 – Влияние горнотехнических параметров карьера на относительное изменение величины консервируемых объемов пород во временно нерабочем борту

Доказано, что при выборе конструкции временно нерабочего борта необходимо провести анализ как параметров ВНБ, так и оценить производительность и количество вовлекаемого в расконсервацию горнотранспортного оборудования. Такой анализ позволит обосновать принимаемые исходные данные и повысить надежность и достоверность принимаемых технологических решений.

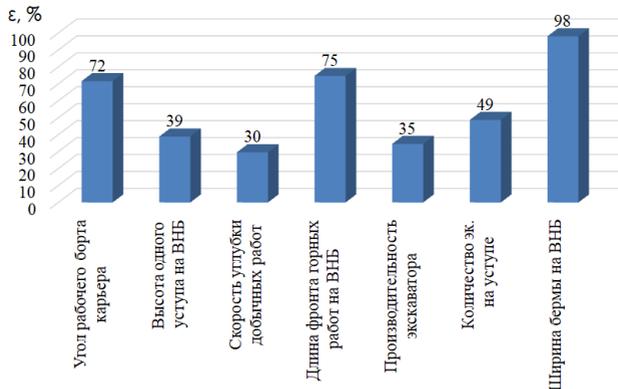


Рисунок 3 – Коэффициент эластичности для исследуемых горнотехнических параметров временно нерабочего борта

Поскольку расконсервация временно нерабочего борта осуществляется

погоризонтно сверху вниз, для начала работ на нижележащем горизонте необходимо расширить уменьшенную площадку на вышележащем горизонте.

Таким образом, вводятся в эксплуатацию новые горизонты и работа по расконсервации ВНБ продолжается одновременно на нескольких уступах, вплоть до полной ликвидации временно нерабочего борта.

Потребность ведения работ на верхних горизонтах с опережением обуславливается необходимостью в площадках достаточной ширины для размещения буровых станков и отвалов взорванной горной массы без перевалки её в выработанное пространство, размещения выемочно-погрузочного оборудования, а также обеспечения транспортной логистики.

Для планирования расконсервации ВНБ необходимо определить, сколько единиц техники возможно максимально задействовать без простоев для достижения наибольшей скорости расконсервации, а сколько комплексов выемочно-погрузочного оборудования использовать рационально.

Для определения времени приведения временно нерабочего борта в рабочее положение при последовательной отработке N уступов используется выражение (3):

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n, \quad (3)$$

где t – время, затраченное на выемку объемов пустой породы с целью формирования рабочих площадок нормальной ширины на t_n горизонте, лет.

Для того, чтобы повысить интенсивность отработки ВНБ, необходимо обеспечивать максимально возможное совмещение работ на уступах.

Объем горной породы, который нужно извлечь на горизонте для начала работ на нижележащем уступе (4):

$$V_{\text{бл}} = \text{Ш}_{\text{р.п}} h_y L_6, \quad (4)$$

где $V_{\text{бл}}$ – объем породы в одном экскаваторном блоке, м^3 ; L_6 – длина экскаваторного блока, м ; h_y – высота уступа в целике, м .

Объем породы на горизонте подлежащий выемки для формирования рабочего борта (5):

$$V_{\text{гор.м}} = \left(\frac{H_{\text{внб}} - (m - 1) * h_y}{\cos(90^\circ - \beta)} \cdot \frac{\sin(\beta - f)}{\sin f} - \text{Ш}_{\text{ср}} \right) L_{\text{внб}} h_y. \quad (5)$$

Смежные уступы возможно обрабатывать только при выполнении условия, когда расстояние между двумя экскаваторами не меньше, чем длина экскаваторного блока. На каждый новый обрабатываемый экскаваторный блок первого горизонта вводится в эксплуатацию новый горизонт. Таким образом, общее количество техники, которое возможно задействовать на расконсервации ВНБ, ограничивается наличием подготовленного пространства для размещения техники.

Теоретическое одновременное максимальное количество экскаваторов на расконсервации зависит от количества экскаваторных блоков и количества горизонтов, подлежащих расконсервации.

Временно нерабочий борт может иметь такую конструкцию, где количество

горизонтов больше, чем количество экскаваторных блоков первого горизонта, тогда ввод новых горизонтов в работу будет ограничен скоростью разноса вышележащих уступов. Максимально возможное количество экскаваторов определяется исходя из числа экскаваторных блоков первого горизонта, поскольку отработка каждого нового блока дает возможность начать расконсервацию еще одного уступа.

Установлено, что максимальная скорость расконсервации достигается, если принять число работающих на ВНБ экскаваторов равным расчетному максимальному количеству, тогда скорость расконсервации будет ограничиваться только скоростью отработки самого верхнего горизонта. Однако не всегда такой вариант экономически целесообразен потому, что с ростом числа вовлекаемой в работу техники растут и экономические издержки.

Одним из способов существенно ускорить процесс приведения временно нерабочего борта в рабочее положение – это изменение организации работ на уступе. Нарращивание количества экскаваторов, работающих на расконсервации, имеет определенные пределы.

Получена степенная зависимость между количеством экскаваторов, работающих одновременно на ВНБ, и временем расконсервации (величина достоверности R^2 составляет 0,9791). При увеличении используемых единиц техники с 2 до 4 единиц, время на расконсервацию сокращается в 2 раза, однако при дальнейшем кратном увеличении оборудования время уменьшается незначительно. Так, при увеличении количества экскаваторов с 10 до 20 единиц, срок расконсервации – на 18%.

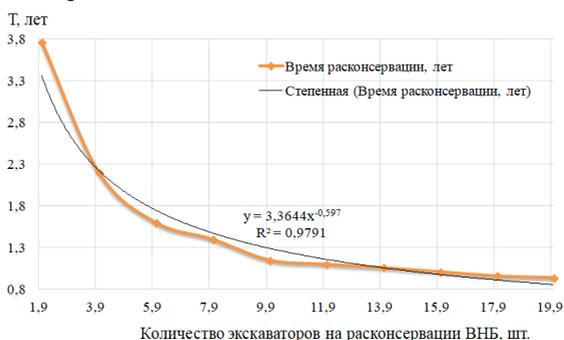


Рисунок 4 – График изменения времени расконсервации ВНБ при увеличении количества работающих экскаваторов

Доказано, что при принятии технологической схемы расконсервации ВНБ следует учитывать планируемое количество оборудования и очередность его ввода в работу. При определении продолжительности расконсервации нерабочего борта необходимо определять время подготовки горизонта, зависящее от параметров экскаваторного блока и скорости его отработки.

В третьей главе разработана и обоснована методика выбора конструкции

временно нерабочего борта и технологической схемы его расконсервации, основанная на объемах консервируемой породы, скорости расконсервации, применяемом горнотранспортном оборудовании и способе ведения буровзрывных работ.

Конструкция временно нерабочего борта выбирается исходя из требуемых объемов консервации, что определяет его основные параметры: высоту, длину по простиранию, количество и наличие сдвоенных уступов, а также порядок оставления предохранительных берм и рабочих площадок уменьшенной ширины (рисунок 5).

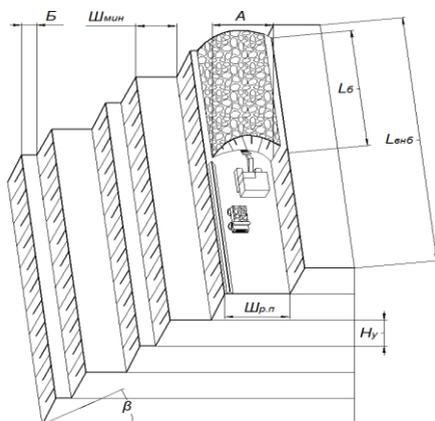


Рисунок 5 – Алгоритм оптимизации баланса консервируемых объемов пород и скорости расконсервации:

Б – ширина предохранительной бермы; А – ширина заходки экскаватора

Таким образом, формируется угол наклона временно нерабочего борта. Размеры уменьшенных площадок определяются с учетом размещения на них горнотранспортного оборудования и развала взорванной горной массы, который определяется выбранным способом взрывания.

Для нахождения баланса между скоростью расконсервации и объемом консервации предложен алгоритм выбора технологической схемы расконсервации и нахождения оптимального количества оборудования (рисунок 6). Алгоритм учитывает способ формирования ВНБ, его местоположение и конструкцию, горнотранспортное оборудование и параметры буровзрывных работ.

Основные технологические задачи, возникающие при работе на ВНБ: обеспечение необходимой степени рыхления взорванных горных пород, транспортного доступа к развалу взорванной горной массы, выполнение условий безопасной работы, а также контроль ширины развала.

Проанализированы размеры ширины развала для разных технологических схем ведения буровзрывных работ при расконсервации ВНБ. Схемы отличаются конструкцией заряда, количеством рядов скважин, наличием или отсутствием подпорной стенки (рисунок 7).

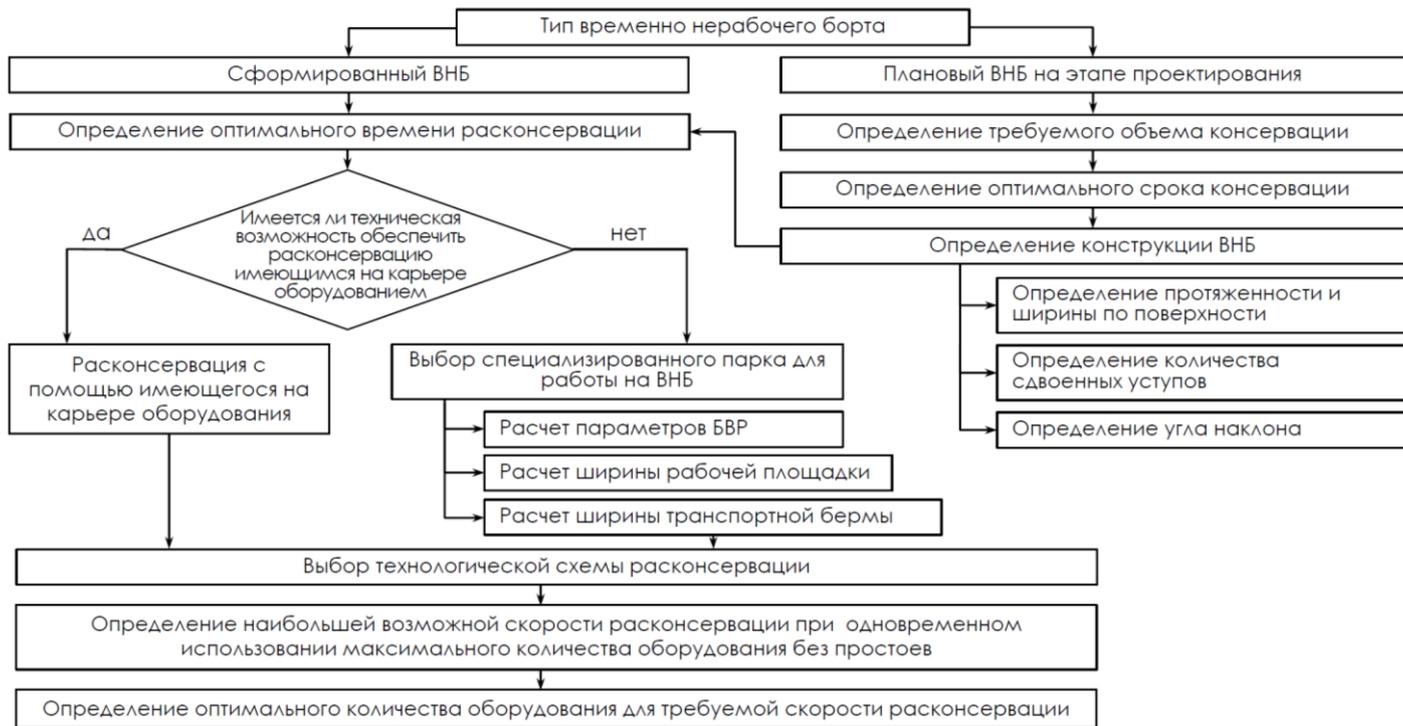


Рисунок 6 – Алгоритм оптимизации баланса консервируемых объемов пород и скорости расконсервации

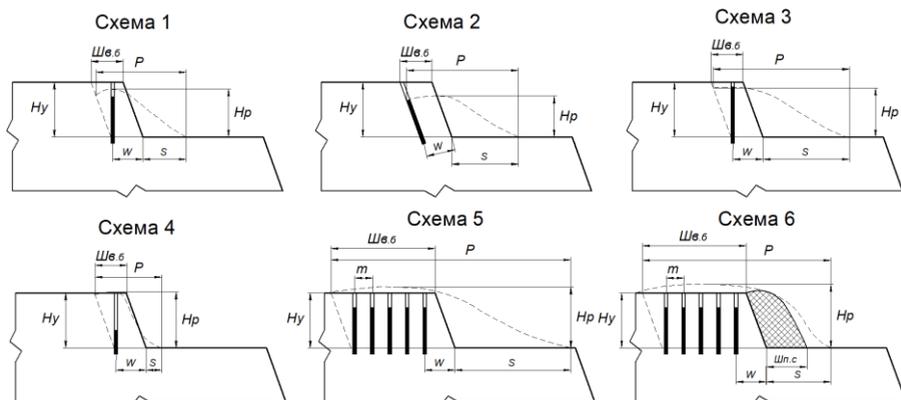


Рисунок 7 – Схема профиля развала для разных способов взрывания

Установлено, что на выбор способа ведения буровзрывных работ существенное влияние оказывает ширина рабочей площадки, а выбор размера площадки необходимо осуществлять из расчета размещения на ней развала взорванной горной массы и нормальной работы используемого на расконсервации выемочно-погрузочного оборудования. При сравнении ширины развала, ширины заходки и ширины транспортной бермы минимальная ширина площадки принимается по наибольшему из этих значений.

Рациональность применения технологических схем ведения буровзрывных работ при различных параметрах временно нерабочего борта определена по ширине развала. Рассмотренные однорядные схемы представлены от меньшей ширины к большей: схема с вертикальными скважинами и уменьшенным объемом заряда; схема с нормальным уровнем заряда; схема с увеличенным уровнем заряда; схема с наклонными скважинами. Применение многорядных схем возможно на ВНБ с небольшим углом откоса и достаточно широкими площадками. При увеличении количества рядов на один минимальная ширина рабочей площадки увеличивается на 10%, а угол откоса ВНБ уменьшается на 2° .

В условиях работы на узких площадках необходимо использовать подходящее под эти условия оборудование. Гидравлические экскаваторы отличаются от карьерных мехлопат линейными размерами, мобильностью и отсутствием потребности в монтаже и размещении линий электропередач. При этом они могут обеспечить необходимую интенсивность разноса борта и скорость углубки.

Проанализированы различные варианты технологических схем расконсервации временно нерабочего борта карьера (рисунок 8).

Для каждой технологической схемы определены параметры минимальной рабочей ширины площадки, размер которой будет зависеть от конструктивных особенностей забоя и расположения транспортной бермы. Размеры

экскаваторного забоя, высоты уступа, а также ширины транспортной бермы зависят от габаритов горнотранспортного оборудования.

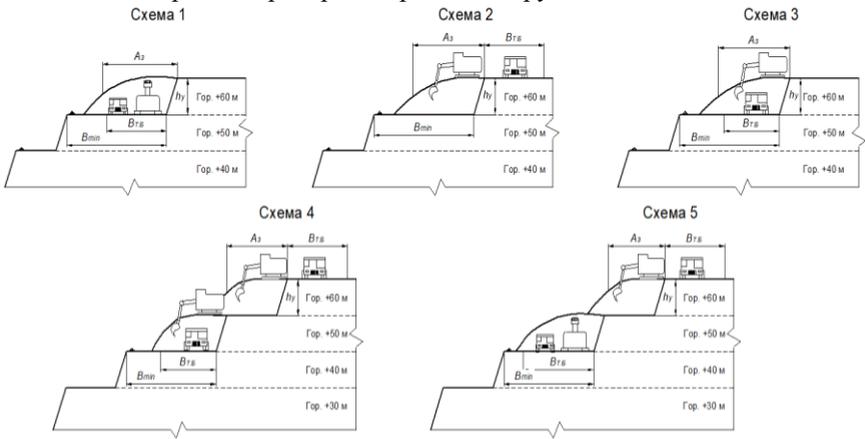


Рисунок 8 – Технологические схемы формирования рабочего борта карьера при расконсервации ВНБ

При расположении транспортной бермы и развала на одном горизонте, требования к минимальной ширине площадок будут зависеть как от ширины транспортной бермы, так и от ширины развала. Размер оставляемых площадок принимается по наибольшему из этих значений. Такой подход представлен на схемах 1 и 3. На схемах 4 и 5 ширина рабочей площадки нижнего горизонта также определяется по наибольшему значению ширины транспортной бермы или развала взрыва (рисунок 8).

В тех случаях, когда ширина транспортной бермы меньше ширины развала, но при этом они находятся на одном горизонте, необходимо принимать минимальную ширину рабочей площадки больше ширины развала на расстояние, необходимое для размещения предохранительного вала вдоль призмы обрушения уступа. Таким образом, наличие на горизонте транспортной бермы приводит к увеличению ширины оставляемых площадок.

В технологических схемах 2, 4 и 5 (рисунок 8), где используются гидравлические экскаваторы с обратной лопатой, выемка производится нижним черпаньем с погрузкой в автосамосвалы на уровне стояния экскаватора. На уступе, где располагается взорванная масса, транспортная берма формируется после разноса горизонта. Таким образом, ширина оставляемой на ВНБ минимальной рабочей площадки определяется только шириной развала.

Технологические схемы проанализированы при использовании различных вариантов горнотранспортного парка оборудования.

При оценке экскаваторно-автомобильных комплексов, в первую очередь, необходимо учитывать, что параметры рабочей зоны будут ограничиваться

параметрами оборудования. Рассматривая технологические схемы с применением гидравлических экскаваторов (рисунок 8), необходимо учитывать технические характеристики комплексов оборудования, которые планируется задействовать в процессе расконсервации ВНБ. В качестве средств механизации принят ряд современных гидравлических экскаваторов, работающих в паре с автосамосвалами. При выборе конкретных моделей экскаваторов основным критерием являлся радиус их черпанья. От этого параметра будет зависеть высота уступа, ширина заходки и ширина минимальной рабочей площадки.

Принятые комплексы отличаются между собой размерами рабочего оборудования, выбор типа и размера экскаватора должен осуществляться в зависимости от конкретной задачи и условий работы на карьере. Для определения глубины черпания экскаватора на карьерах необходимо учитывать тип лопаты экскаватора и ее размеры, так как это напрямую влияет на производительность работы.

Установлено, что наибольшие объемы консервации породы достигаются при использовании технологической схемы с гидравлическим экскаватором, оборудованным обратной лопатой с нижним черпаньем и верхней погрузкой в автосамосвал на уровне стояния экскаватора (схема 2). При сравнении с классической поуступной схемой расконсервации экскаватором с прямой лопатой (схема 1) объем консервации увеличивается в среднем на 30% (рисунок 9).

Установлено, что скорость расконсервации ВНБ с применением экскаватора, оборудованного обратной лопатой (схема 2 и схема 3), меньше на 34% по сравнению с аналогичной схемой, где используется экскаватор, оборудованный прямой лопатой (схема 1) (рисунок 8).

Сравнительный анализ вертикальных скоростей расконсервации для рассматриваемых схем представлена на рисунке 10.

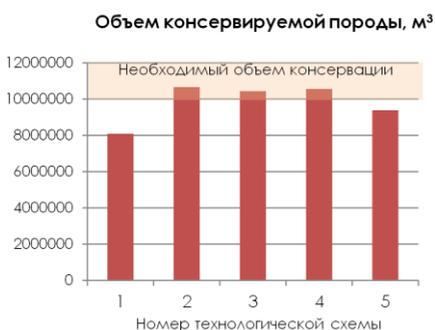


Рисунок 9 – Консервируемые объемы породы во временно нерабочем борте при использовании различных технологических схем

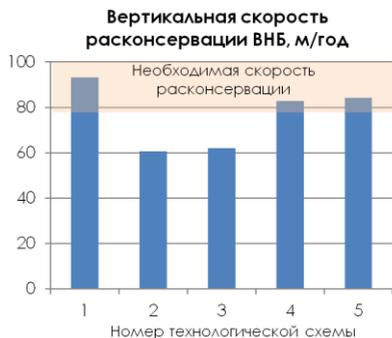


Рисунок 10 – Вертикальная скорость расконсервации временно нерабочего борта при использовании различных технологических схем

Выбор рациональной технологической схемы расконсервации осуществляется в результате совокупной оценки объемов консервации и скорости расконсервации для каждой рассмотренной схемы. Для принятых горнотехнических условий наиболее оптимальной является технологическая схема 4. Она характеризуется чередованием на горизонтах верхней и нижней погрузки экскаваторами с обратной лопатой и, соответственно, разными размерами минимальных площадок.

В четвертой главе выполнена технико-экономическая оценка предлагаемых технологических решений и методов по определению конструкции временно нерабочего борта и его последующей расконсервации в условиях Михеевского карьера.

Рассматриваемая методика расконсервации временно нерабочего борта на рудных крутопадающих месторождениях применима на Михеевском месторождении. Горно-геологические условия залегания руд и наличие на карьере отдельных выделенных участков позволяют сформировать временно нерабочий борт на одном из них. В условиях работы по реконструкции карьера и вовлечению в отработку новых площадей, консервация части вскрышных пород путем формирования ВНБ является одним из способов стабилизации коэффициента вскрыши. При этом, при планировании временно нерабочего борта необходимо учесть его своевременную расконсервацию.

На месторождении выделено два участка: Главный и Южный карьер. Геологические условия залегания руд и текущее положение горных работ Главного карьера позволяют сформировать временно нерабочий борт.

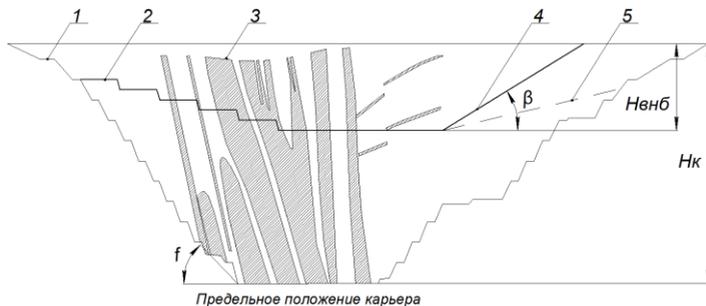


Рисунок 11 – Михеевское месторождение (разрез Главный карьер):

1 – контур карьера на конец отработки; 2 – рабочий борт карьера; 3 – рудные залежи; 4 – временно нерабочий борт; 5 – временно нерабочий борт после расконсервации

Для всех работ, связанных с консервацией и расконсервацией ВНБ, предлагается использовать имеющееся на карьере горнотранспортное оборудование без дополнительных капитальных затрат.

Определение рациональных параметров ВНБ зависит от показателей его расконсервации. Для имеющегося парка оборудования необходимо определить

минимальные размеры рабочих площадок, высоту и угол наклона консервируемых уступов. Это необходимо для обеспечения возможности начала работ по ликвидации целика и размещения на расконсервируемых горизонтах развала взорванной горной массы.

Таблица 1 – Перераспределение объемов вскрышных работ при использовании временно нерабочего борта

Год эксплуатации	Перераспределение объемов вскрышных работ		Экономия средств/затраты, млн руб.	
	Объем консервации, тыс. м ³	Объем расконсервации, тыс. м ³	На консервацию	На расконсервацию
1	-1000		-152,19	
2	-1100		-148,60	
3	-1500		-182,12	
4	-1500		-161,60	
5	-1500		-143,64	
6	-2000		-171,00	
7	-2000		-153,90	
8	-1800		-123,12	
9		+8000		+492,48
10		+4400		+240,77
Всего	-12400	+12400	-1236,16	+733,25

Срок реализации проекта – 10 лет. Он определен в соответствии с необходимым временем строительства и ликвидации временно нерабочего борта и с учетом календарного графика горных работ. За один расчетный шаг принят 1 год. В общей сложности консервируется 12,4 млн м³ породы. Расконсервация осуществляется за 1,5 года с использованием гидравлического экскаватора Komatsu PC-1250 (6,7 м³). По результатам проведенной оценки предлагаемый проект экономически рентабельный. Окупаемость достигается в первый год эксплуатации. Применение технологической схемы с использованием временно нерабочего борта приводит к снижению затрат на вскрышные работы на 502,91 млн руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, дано новое решение актуальной научно-практической задачи: обоснование параметров открытой геотехнологии, обеспечивающей выбор рациональной конструкции временно нерабочего борта, применяемого горнотранспортного оборудования и порядка расконсервации сформированного целика для оптимизации календарного графика при отработке крутопадающих рудных месторождений, имеющее важное значение для развития горнодобывающего комплекса России.

1. Проведен анализ методологического и практического опыта формирования и расконсервации временно нерабочих бортов на карьере, доказана эффективность применения технологии с использованием временно нерабочих бортов в рабочей зоне карьера с целью регулирования коэффициента

вскрыши, интенсификации производительности, а также в условиях реконструкции горных предприятий.

2. Проанализированы причины и способы формирования временно нерабочего борта в карьерном поле, выявлены взаимосвязи основных конструктивных параметров ВНБ и их влияние на угол наклона. Так, при увеличении угла наклона ВНБ на 1 град. происходит рост объёма консервируемых вскрышных пород на 5%.

3. Выявлено, что нарушение темпов расконсервации ВНБ приводит к отставанию вскрышных работ, сокращению подготовленных запасов, снижению производительности, а в отдельных случаях к полной остановке добычных работ.

Доказана необходимость оптимизации параметров технологических схем расконсервации временно нерабочих бортов карьеров с учётом тенденции к увеличению производительности и темпов углубки карьеров, а также применения современного горнотранспортного оборудования.

4. Предложена методика оценки степени влияния параметров временно нерабочего борта и скорости его разноса на консервируемые объёмы пустой породы, основанная на относительном анализе чувствительности основных параметров и обеспечивающая выбор его конструкции. Факторы, оказывающие наибольшее влияние на объёмы консервации, ранжированы по степени значимости – чем выше процентное выражение коэффициента эластичности, тем сильнее данный показатель оказывает влияние на консервируемые объёмы пород: ширина бермы на ВНБ – 98%; длина фронта горных работ на ВНБ – 75%; угол рабочего борта карьера – 72%; количество работающих одновременно экскаваторов на уступе – 49%; высота одного уступа на ВНБ – 39%; производительность экскаватора – 35%; скорость углубки добычных работ – 30%.

5. Доказано, что объёмы консервации ВНБ и скорость его расконсервации напрямую зависят от производительности применяемого оборудования, область применения которого ограничивается конструкцией ВНБ. Определено, что при увеличении объёма ковша экскаватора, используемого на расконсервации, на 1 м³, угол наклона уменьшается на 1,4 град. (для экскаваторов с объёмом ковша от 1 до 4 м³), 0,6 град. (для экскаваторов с объёмом ковша от 4 до 12 м³), 0,2 град. (для экскаваторов с объёмом ковша от 12 до 22 м³), 0,12 град. (для экскаваторов с объёмом ковша от 22 до 42 м³).

6. Предложена методика определения продолжительности расконсервации ВНБ, в которой учитывается конструкция нерабочего борта, количество оборудования и очередность его ввода в расконсервацию.

7. Установлена зависимость между числом одновременно задействованных экскаваторных комплексов при ликвидации временно нерабочего борта и временем его расконсервации, позволяющая обосновать выбор оптимального количества экскавационного оборудования с учетом требуемой скорости расконсервации. Полученная зависимость является степенной функцией (величина достоверности R^2 составляет 0,9791).

8. При увеличении одновременно используемых единиц техники с 2 до 4 продолжительность расконсервации уменьшается в 2 раза, однако при дальнейшем наращивании числа оборудования время снижается незначительно. Так, при изменении количества экскаваторов с 10 до 20 штук срок расконсервации сокращается на 18%.

9. Доказано, что при определении рациональной продолжительности расконсервации ВНБ необходимо определять время подготовки горизонта, зависящее от параметров экскаваторного блока и скорости его отработки.

10. Определено, что для получения оптимального календарного графика горных работ необходим баланс между объемами консервации и скоростью расконсервации ВНБ. Использование комбинированных технологических схем расконсервации с применением гидравлических экскаваторов с прямой и обратной лопатой и их чередованием на горизонтах является одним из способов регулирования календарного графика.

12. Выбор технологических схем ведения буровзрывных работ при различных параметрах временно нерабочего борта осуществлен по размеру ширины развала взорванной массы. Рассмотренные однорядные схемы представлены от меньшей ширины к большей: схема с вертикальными скважинами и уменьшенным объемом заряда; схема с нормальным уровнем заряда; схема с увеличенным уровнем заряда; схема с наклонными скважинами. Применение многорядных схем (2-5 рядов) возможно на ВНБ с небольшим углом откоса и достаточно широкими площадками. При увеличении количества рядов с 2 до 3 минимальная ширина площадки увеличивается на 13%, угол откоса ВНБ уменьшается на 5 град; при увеличении количества рядов с 3 до 4 минимальная ширина рабочей площадки увеличивается на 9%, угол откоса ВНБ уменьшается на 3 град; при увеличении количества рядов с 4 до 5 минимальная ширина рабочей площадки увеличивается на 11%, угол откоса ВНБ уменьшается на 2 град.

13. Предложена методика обоснования параметров открытой геотехнологии при разработке крутопадающих рудных месторождений с консервацией вскрышных пород во временно нерабочем борту и выбора рациональной технологической схемы его расконсервации с учетом применяемого комплекса рабочего оборудования и технологии производства буровзрывных работ.

Разработан алгоритм выбора конструкции ВНБ и схемы расконсервации с учетом способа его формирования, объемов консервации и скорости расконсервации, типа и количества оборудования, а также способа ведения взрывных работ.

14. Предложена методика определения наиболее рациональной технологической схемы консервации и последующей расконсервации временно нерабочего борта в условиях Михеевского карьера с учетом имеющегося оборудования.

Использование разработанной методики позволило определить ряд возможных для реализации технологических схем, исключив из анализа

подавляющее большинство нерациональных вариантов. Окончательное определение схемы конструкции ВНБ и его расконсервации необходимо проводить с учетом оценки экономических показателей.

15. Проведена экономическая оценка использования технологических схем формирования и расконсервации временно нерабочего борта, приводящая к снижению затрат на вскрышные работы на 502,91 млн руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:
В изданиях, рекомендованных ВАК России и входящих в международные базы цитирования Web of Science

1. Бурмистров, К.В. Обоснование параметров этапа открытых горных работ в переходные периоды разработки крутопадающих месторождений / К.В. Бурмистров, М.П. Овсянников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – №6. – С. 20-28.

2. Incremental open-pit mining of steeply dipping ore deposits / S. Fomin, V. Ivanov, A. Semenov, **M. Ovsyannikov**. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2020. – №11. – Pp. 1306-1311.

3. Фомин, С.И. Оценка бортового содержания полезного компонента при проектировании открытой разработки рудных месторождений / С.И. Фомин, **М.П. Овсянников**, А.К. Лобынцев // Рациональное освоение недр. – 2021. – № 2. – С. 56-60.

4. Фомин, С.И. Обоснование оптимальных технико-экономических параметров карьера при этапной разработке рудных крутопадающих месторождений / С.И. Фомин, **М.П. Овсянников** // Записки Горного института. – 2022. – 10 с. Doi:10.31897/PMI.2022.73.

5. Гавришев, С.Е. Определение количества и порядка ввода горнотранспортного оборудования при расконсервации временно нерабочих бортов / С.Е. Гавришев, **М.П. Овсянников** // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 24. – С. 122-128.

В прочих изданиях

6. Фомин, С.И. Методика сравнения вариантов открытой разработки рудных крутопадающих месторождений этапами / С.И. Фомин, **М.П. Овсянников** // Естественные и технические науки. – 2019. – №5. – С. 145-148.

7. Фомин, С.И. Особенности технологи открытой разработки крутопадающих рудных месторождений этапами / С.И. Фомин, **М.П. Овсянников** // Маркшейдерия и недропользование. – 2020. – №1. – С. 41-44.