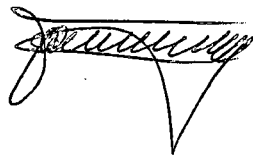


На правах рукописи

ГОЛУБИН Кирилл Андреевич

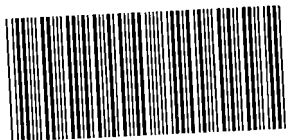


ОБОСНОВАНИЕ РЕЗЕРВА ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ НА РАЗРЕЗАХ
С АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Специальность:

25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



005537940

14.09.2013

Кемерово 2013

Работа выполнена на кафедре открытых горных работ Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Научный руководитель –

Сысоев Андрей Александрович,
доктор технических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Кузбасский государственный технический
университет имени Т. Ф. Горбачева».

Официальные оппоненты:

Паначев Иван Андреевич,
доктор технических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Кузбасский государственный технический
университет имени Т. Ф. Горбачева»,
профессор;

Федотенко Сергей Михайлович, кандидат
технических наук,
ООО «КузбассПромРесурс», генеральный
директор

Ведущая организация –

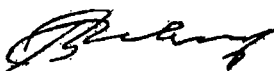
ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром»

Защита состоится 12 декабря 2013 г. в 13–00 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.102.02 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, факс (384-2) 58-33-80, e-mail: kuzstu@kuzstu.ru

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

Автореферат разослан 8 декабря 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Иванов В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Вскрышные породы угольных месторождений Кузбасса представлены, главным образом, песчаниками, алевролитами и аргиллитами прочностью от 40 до 120 МПа, которые требуют взрывной подготовки перед погрузкой в транспортные средства. В частности, на разрезах угольной компании ОАО «Кузбассразрезуголь» при добыче в 2012 г. около 46 млн. т. угля объем взорванной горной массы составил более 320 млн. м³.

На разрезах преобладает транспортная технология с использованием карьерных автосамосвалов, доля которой составляет более 90 % общего объема перемещаемой горной массы. Средние значения основных технологических параметров мощности оборудования (вместимость ковша экскаватора и грузоподъемность автосамосвала) постоянно увеличиваются. Автотранспортные комплексы формируются на базе карьерных экскаваторов с вместимостью ковша до 58 м³ и автосамосвалов грузоподъемностью до 320 т. При этом в зоне взаимного влияния по фактору взрывных работ рядом с мощными экскаваторами могут находиться и экскаваторы, мощность которых в несколько раз меньше.

Увеличение мощности оборудования, изменение его концентрации в рабочей зоне разрезов обостряет вопрос обоснования объема взрывных блоков для отдельных экскаваторов и резерва взорванной горной массы для группы экскаваторов различной мощности, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ с целью оптимизации их простоев. В настоящее время резерв взорванной горной массы для отдельных экскаваторов формируется на период от нескольких дней до трех месяцев работы, а простой горнотранспортного оборудования при ведении взрывных работ достигают 40 % от планируемых простоев экскаваторов.

В основе результатов ранее выполненных исследований по расчету оптимального объема взрывных блоков и резерва взорванной горной массы при открытой разработке месторождений полезных ископаемых лежит принцип минимизации суммарного ущерба, связанного с созданием и хранением резерва взорванной горной массы (его также называют ущербом от консервации или замораживания оборотных средств) и ущерба от простоев горнотранспортного оборудования при ведении взрывных работ. Этот технико-экономический критерий остается актуальным и в настоящее время.

Подавляющая часть ранее полученных результатов относится к началу второй половины предыдущего столетия. Поэтому, в частности, при оценке ущерба от консервации средств на создание резерва использовались характерные для плановой экономики того времени показатели налога на оборотные средства или нормативного коэффициента эффективности.

Не исследован диапазон рациональных значений резерва взорванной горной массы, в пределах которого целевая функция ущерба незначительно отличается от точного математического минимума, определяемого по предложенным ранее формулам. Оценка этого диапазона представляется достаточно важной, поскольку в практических условиях далеко не всегда возможно обеспечить оптимальный объем резерва. Поэтому необходимо ориентироваться на некоторый диапазон изменения планируемого резерва, в пределах которого

обеспечивается относительно небольшое превышение ущерба над расчетным минимумом.

В настоящее время отсутствуют также рекомендации по распределению резерва взорванной горной массы по отдельным экскаваторам с различной мощностью, которые работают в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ. Очевидно, что создаваемые за один взрыв резервы должны быть разными, поскольку одинаковые по времени простои влекут за собой различный экономический ущерб по отношению к экскаваторам различной мощности.

В связи с этим развитие метода обоснования резерва взорванной горной массы в части формулировки основного технико-экономического критерия в терминах, применяемых в рыночных условиях, более полного учета количества экскаваторов, работающих в зоне взаимного влияния, установления диапазона рациональных значений резерва и метода распределения резерва по отдельным экскаваторам является актуальным.

Работа выполнена по планам научно-исследовательских работ Кузбасского государственного технического университета и ОАО «Угольная компания «Кузбассразрезуголь» по обоснованию целесообразного резерва взорванной горной массы с учетом мощности и концентрации горнотранспортных комплексов на разрезах.

Целью работы является обоснование резерва взорванной горной массы на разрезах с автомобильным транспортом с учетом количества и мощности экскаваторно-автомобильных комплексов, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ, что позволит повысить эффективность открытой разработки угольных месторождений.

Объектом исследования являются технологические факторы, влияющие на ущерб от консервации средств на создание резерва взорванной горной массы и простои оборудования при ведении взрывных работ.

Предметом исследования являются закономерности изменения ущерба от простоев горнотранспортного оборудования при ведении взрывных работ и затрат на создание и хранение резерва взорванной горной массы, от исходных технологических факторов.

Идея работы заключается в установлении влияния количества экскаваторов в группе, продолжительности их суммарных простоев при проведении полного цикла взрывов по созданию резерва взорванной горной массы и производительности экскаваторов на технико-экономические показатели разработки.

Задачи исследования:

- установить закономерность изменения ущерба, связанного с консервацией средств на создание резерва взорванной горной массы, от его объема и количества экскаваторов, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ;

- установить диапазон значений резерва взорванной горной массы, в пределах которого целевая функция ущерба не более чем на 10 % превышает минимально возможное ее значение;

- обосновать метод распределения общего для группы экскаваторов резерва взорванной горной массы по отдельным экскаваторам с учетом их мощности.

Методы исследования: анализ и обобщение литературных источников по методам и результатам исследований оптимальных объемов взрывных блоков и резерва взорванной горной массы при открытой разработке месторождений, анализ фактических показателей по объемам взрывных блоков на разрезах и простоям горнотранспортного оборудования при ведении взрывных работ; математическое моделирование технико-экономических показателей группы экскаваторов, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ; оптимизация целевых функций по частным производным.

Научные положения:

- оптимальный объем резерва взорванной горной массы для группы экскаваторов, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ, пропорционален корню квадратному из количества экскаваторов в этой группе и средней продолжительности простоя одного экскаватора за один взрыв за полный цикл создания резерва;

- при изменении объема резерва взорванной горной массы в диапазоне от 60 до 150 % его оптимального значения ущерб от консервации средств на его создание и от простоев горного оборудования при взрывных работах не превышает 10 % от минимально возможной его величины;

- распределение общего резерва взорванной горной массы по экскаваторам различной мощности базируется на оптимизации частоты взрывов под эти экскаваторы с учетом их производительности и индивидуальных простоев, определяемых на основе матрицы взаимного влияния.

Научная новизна работы:

- установлена связь оптимального резерва взорванной горной массы с количеством экскаваторов, работающих в условиях взаимного влияния, и средней продолжительностью простоя одного экскаватора за один взрыв;

- показана возможность приведения целевой функции при различных значениях исходных данных, характеризующих технико-экономические показатели работы оборудования, к нормированному виду, по результатам исследования которого установлен диапазон рациональных значений резерва взорванной горной массы;

- обоснован обобщенный метод распределения резерва взорванной горной массы по произвольному количеству экскаваторов различной мощности с использованием классического метода оптимизации по частным производным.

Личный вклад автора заключается в постановке целей и задач исследования; формулировании основной идеи достижения цели, организации сбора и обработке хронометражных наблюдений, обосновании целевых функций при оптимизации резерва взорванной горной массы, в обобщении результатов исследования, формулировании выводов и рекомендаций.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, подтверждается:

- использованием общепризнанного технико-экономического критерия при определении оптимального объема резерва взорванной горной массы;

- корректной формализацией совокупного ущерба от консервации средств на создание резерва взорванной горной массы и простоев оборудования при взрывных работах;

- использованием классического метода определения оптимальных значений целевых функций по их частным производным;
- использованием исходных данных, основанных на фактических технико-экономических показателях работы горнотранспортного оборудования;
- непротиворечивостью результатов и выводов и их сопоставимостью с ранее выполненными исследованиями.

Практическая ценность работы состоит в том, что ее результаты позволяют:

- определять оптимальный объем резерва взорванной горной массы для группы экскаваторов, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ, который обеспечивает минимальный ущерб от простоев оборудования и замораживания средств на создание резерва;
- устанавливать диапазон рациональных значений резерва взорванной горной массы, в пределах которого принятые с учетом практически существующих условий плановые объемы резерва будут обеспечивать незначительное увеличение ущерба по сравнению с минимально возможным;
- устанавливать рациональные объемы взрывных блоков для отдельных экскаваторов с учетом их производительности, ожидаемых индивидуальных простоев и общего планового объема резерва взорванной горной массы.

Отличие от результатов других авторов заключается в расширении состава технологических факторов, которые влияют на общий резерв взорванной горной массы для группы экскаваторов, и установлении метода распределения планового резерва по отдельным экскаваторам.

Апробация работы.

Результаты работы докладывались на V Всероссийской, 58 научно-практической конференции молодых ученых «Россия молодая», IX Международной научно-практической конференции "Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири" 2012г.

Разработанные рекомендации приняты к опытно-промышленной проверке на разрезах «Кедровский» и «Талдинский» ОАО УК «Кузбассразрезуголь».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ, две из которых – в изданиях рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация включает введение, пять глав, заключение и приложение, изложена на 114 страницах машинописного текста, содержит 22 таблицы, 30 рисунков и список литературы из 85 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В первой главе диссертации выполнен обзор и анализ научной литературы по вопросам обоснования оптимального объема взрывного блока и резервов взорванной горной массы на карьерах, а также анализ существующего состояния и особенностей подготовки этих резервов на разрезах Кузбасса. Большая часть научных исследований по данному вопросу выполнена в 70 – 80-х годах предыдущего столетия.

А.И. Арсентьев, А.Ф. Богачев, Б.К. Оводенко (1970) считают, что в общем случае объем массового взрыва должен соответствовать минимуму убытков от простоев карьерного оборудования в период производства массового

взрыва, убытков, связанных с консервацией средств на поддержание определенного запаса взорванной горной массы. При расчете убытков от консервации средств авторы используют такой показатель плановой экономики, как нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Астафьев Ю.П., Киковка Е.И. (1971), Друкованный Г. П (1973) придерживаются аналогичного технико-экономического критерия. Винницкий К. Е. (1976) при определении оптимального объема переходящего годового запаса взорванной горной массы исходит из минимума суммарных затрат, связанных с платой за использование оборотных фондов и простоями оборудования в течение года. По отношению к годовым объемам резерва предлагают решать этот вопрос Томаков П.И. и Манкевич В.В. (2000) с использованием так называемого нормативного коэффициента платы за фонды.

Подобная постановка задачи по отношению к одному экскаватору или карьере в целом сформулирована в работах Ефремова Э.И.(1980), Ю.П. Астафьева, А.Г. Максимчука, В.И. Кесенко (1974), Ермолаева В.А., Ненашева А.С. (1974), Новожилова М.Г., Бондаря С.А., Маевского А.М. (1973).

Для разрезов Кузбасса по состоянию на 1980 – 95 г.г. анализ фактических объемов взрывных блоков в различных горно-геологических условиях залегания пластов и при использовании различных видов транспорта горной массы представлен в работах Паначева И. А., Ташкинова А. С., Федотенко С.М.

По результатам аналитического обзора в первой главе сформулирована цель и поставлены задачи диссертационного исследования

Во второй главе выполнено исследование и обоснование резерва взорванной горной массы на основе классической модели управления запасами, которая конкретизирована и детализирована с учетом фактически существующих на разрезах технологических и технико-экономических факторов.

Экскаваторный блок, в соответствии с общепринятыми взглядами, условно состоит из трех частей: оперативного объема взорванной горной массы, резервного объема взорванной горной массы и части блока, готового для бурения взрывных скважин и последующей их зарядки. Сумма объемов резервных частей экскаваторных блоков является общим резервом взорванной горной массы для группы экскаваторов, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ. Совокупность процессов взрывания блоков под каждый экскаватор из группы представляет собой цикл создания общего резерва для группы экскаваторов.

Резерв взорванной горной массы имеет оптимальный объем по технико-экономическим критериям. Увеличение объема взорванной горной массы обуславливает ущерб от консервации оборотных средств. Уменьшение числа массовых взрывов в карьере приводит к увеличению производительности горно-транспортного оборудования за счет уменьшения времени простоя и обуславливает соответствующее снижение себестоимости.

Выполнен анализ структуры продолжительности времени консервации средств на подготовку резерва с учетом продолжительности его отработки, а также продолжительности обурирования взрывных блоков и их зарядки в зависимости от производительности буровых станков и зарядных машин.

Резерв взорванной горной массы может быть выражен как через соответствующий объем V (м^3), так и через время T (мес.), которое необходимо

для отработки данного объема. Эти две величины функционально связаны друг с другом соотношением

$$T = \frac{V}{Q_{\text{мес}}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{мес}}$ – плановый объем вскрыши для группы экскаваторов, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ, м³/мес.

Основываясь на общепринятом методологическом принципе при обосновании резерва взорванной горной массы и возможности количественной его оценки в терминах времени T , целевая функция ущерба F (руб./м³) для определения оптимального значения резерва принята в следующем виде:

$$F(T) = \Delta c_{\text{гто}}(T) + \Delta c_{\text{бвр}}(T) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $\Delta c_{\text{бвр}}$ – ущерб от консервации средств, связанных с буровзрывной подготовкой резерва, руб./м³; $\Delta c_{\text{гто}}$ – ущерб от суммарных простоев горнотранспортного оборудования при ведении взрывных работ за полный цикл создания резерва для всех экскаваторов, руб./м³.

На время взрыва останавливаются все основные виды оборудования горнотранспортных комплексов, попадающих в зону взрыва – буровые станки, экскаваторы, автосамосвалы, а также не в полной мере используется оборудование на отвалах, что и обуславливает увеличение затрат на вскрышные работы. Поэтому простои всех видов горного оборудования отождествляются с простоями экскаватора.

Ущерб от консервации затрат на создание резерва зависит от затрат на буровзрывные работы, продолжительности времени консервации и нормы дисконта, определяющей ту часть оборотных средств, на которую они могли бы увеличиться за данный промежуток времени.

Горнотранспортные комплексы в рабочей зоне разреза не являются независимыми. Организационно они связаны между собой не только возможностью попадания в опасные зоны взрывов, но транспортными коммуникациями и линиями электроснабжения. Поэтому возникла необходимость введения понятия группы экскаваторов, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ – экскаватор входит в такую группу, если его приходится останавливать одновременно, хотя бы с одним из других экскаваторов этой группы при проведении взрыва.

В рабочей зоне разреза может быть несколько таких независимых групп экскаваторов. В этом случае задача по оптимизации резерва взорванной горной массы должна решаться для каждой группы отдельно. Для примера на рис. 1 показано фактическое положение экскаваторов на участке № 3 разреза «Краснобродский», входящих в различные группы по фактору влияния взрывных работ. В частности, экскаваторы № 1 и № 2 в текущий момент времени расположены относительно обособленно во вскрышной зоне и составляют одну группу экскаваторов, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ – непосредственно забои, а также карьерные дороги из этих забоев не попадают в опасную зону при проведении взрывов под другие экскаваторы.

Другая группа представлена экскаваторами № 3 – № 7. Проведение взрывных работ под каждый из них, так или иначе, связано с необходимостью остановки других экскаваторно-автомобильных комплексов этой группы либо по причине их непосредственного попадания в опасную зону, либо по причине перекрытия карьерных дорог.

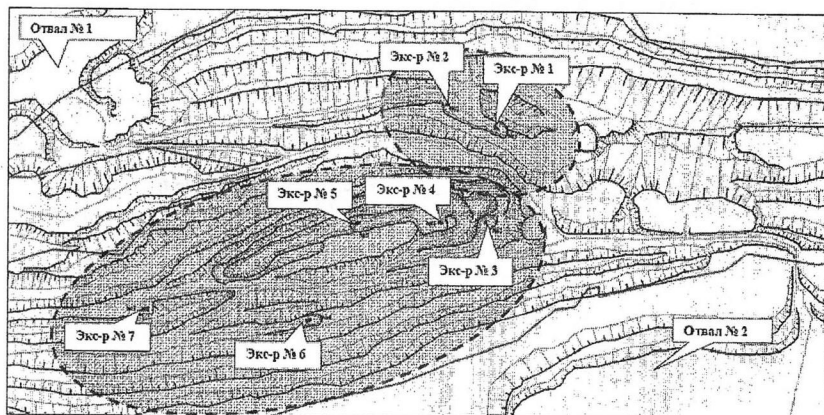


Рис. 1. Состав экскаваторов, входящих в различные группы по фактору влияния взрывных работ

Детализация отдельных составляющих целевой функции ущерба (2), с последующей ее оптимизацией по нулевой производной по переменной T , позволили установить формулу для расчета оптимального резерва взорванной горной массы для группы экскаваторов, работающих в зоне взаимного влияния:

$$T_{\text{опт}} = \left[\frac{(c_{\text{бур}} + c_{\text{э}} + c_{\text{тр}} + c_{\text{отв}}) \eta}{c_{\text{бвр}} r_{\text{мес}}} N_3 t \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где $c_{\text{бур}}$, $c_{\text{э}}$, $c_{\text{тр}}$, $c_{\text{отв}}$, $c_{\text{бвр}}$ – удельные затраты по технологическим процессам (бурение, экскавация, транспортирование, отвалообразование, буровзрывные работы), руб./м³; $r_{\text{мес}}$ – норма дисконта, рассчитанная на период времени, равный одному месяцу, дол. ед./мес.; η – коэффициент условно-постоянных затрат, дол. ед.; t – средняя продолжительность простоя одного экскаватора за один взрыв при создании всего резерва взорванной горной массы, мес. N_3 – количество экскаваторов.

На рис. 2 показаны характерные зависимости целевой функции ущерба и его составляющих от резерва взорванной горной массы, исчисляемого в месяцах работы экскаваторов при плановом объеме вскрыши $Q_{\text{мес.}} = 1,5$ млн. м³. Оптимальный резерв составит $T_{\text{опт}} = 1,3$ мес. или $V_{\text{опт}} = 1,95$ млн. м³.

Данный пример касается небольшой группы всего из двух экскаваторов, поскольку в натуральных условиях было достаточно просто оценить их простои при проведении взрывов. В последующих разделах дается более детальная трактовка такого параметра как средняя продолжительность простоя одного экскаватора за один взрыв, что позволит рассмотреть примеры для групп, состоящих из любого числа экскаваторов.

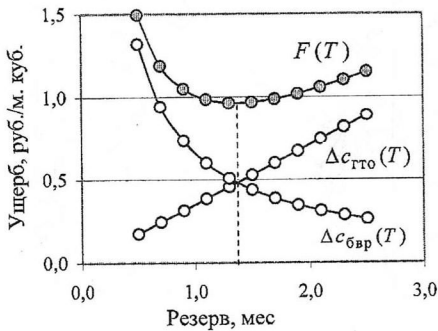


Рис. 2. Зависимость целевой функции $F(T)$ и ее составляющих от объема резерва взорванной горной массы для группы из двух экскаваторов

Учитывая тот факт, что в ранее выполненных научных исследованиях по обоснованию резерва взорванной горной массы количество экскаваторно-автомобильных комплексов, работающих в условиях взаимного влияния при ведении взрывных работ не учитывалось, мы посчитали целесообразным сформулировать научное положение в следующем виде — *оптимальный объем резерва взорванной горной массы для группы вскрышных экскаваторов, работающих в зоне взаимного влияния при ведении взрывных работ, зависит от стоимостных показателей по процессам производства вскрышных работ и пропорционален корню квадратному из количества экскаваторов и средней продолжительности простоя одного экскаватора за один взрыв.*

В третьей главе представлено исследование диапазона рациональных значений резерва взорванной горной массы.

Результатом всех предыдущих исследований резерва взорванной горной массы или объема взрывного блока являлись их оптимальные значения, которые определялись путем оптимизации соответствующих целевых функций. Между тем классические модели управления запасами свидетельствуют о том, что минимум целевой функции не является ярко выраженным. В окрестности математически точного значения можно выделить достаточно широкий диапазон рациональных значений резерва взорванной горной массы, в пределах которого целевая функция ущерба незначительно отличается от точного математического минимума, определяемого по предложенным ранее формулам.

Термину «незначительно отличается» не представляется возможным дать обоснованную количественную оценку при использовании точных оптимизационных методов. Поэтому в работе под этим термином было принята экспертная оценка специалистов разрезов допустимого отличия от точного минимума не более чем на 10 %. Кроме того такая погрешность допускается в про-

ектной практике при расчете технико-экономических показателей эксплуатации оборудования.

Установление этого диапазона представляется важным еще и потому, что в практических условиях, под влиянием различных горнотехнических факторов, не всегда возможно обеспечить оптимальный объем резерва в соответствии с расчетными формулами. Поэтому возникает необходимость ориентироваться на некоторый допустимый диапазон изменения планируемого резерва взорванной горной массы.

Численным экспериментом при исследовании целевой функции ущерба (2) было установлено, что графики функций с различными исходными данными являются в определенном смысле подобными, т. е. один график можно совместить с другим путем их растяжения или сжатия по осям.

В качестве исходной информации при выполнении многовариантных расчетов были приняты фактические данные разрезов о технико-экономических показателях по процессам производства вскрышных работ с учетом практически существующего диапазона их изменения.

Для иллюстрации результатов численного эксперимента в табл. 1 представлены диапазоны фактического изменения исходных параметров, участвующих в расчете, и их условно-средние значения. Количество экскаваторов в группе, в данном частном примере, соответствует трехкратному отличию между минимальным и максимальным значениями, хотя полученный ниже результат справедлив при любом их соотношении.

Таблица 1

Диапазон изменения и средние значения исходных данных для расчета целевой функции

Наименование величины	Значение		
	мин.	среднее	макс.
Удельные затраты по процессам, руб./м ³			
буровзрывные работы	10	15	20
в т. ч. бурение	3	4	5
экскавация	10	12	15
транспортирование	25	30	40
отвалообразование	1	1,5	2
Количество экскаваторов, шт.	2	4	6
Доля постоянных затрат для оборудования, дол.ед.	0,5	0,5	0,5
Годовая норма дисконта, %	15	15	15

На рис. 3 показаны графики изменения целевой функции ущерба при минимальных, максимальных и средних значениях исходных данных. Любая другая комбинация исходных данных в границах установленных диапазонов изменения предопределяет график целевой функции в пределах заштрихованной области. График целевой функции при любых исходных данных путем линейного преобразования переменных, обеспечивающих растяжение или сжатие

по осям координат, можно привести к нормированному графику (рис. 4), минимальное значение которого находится в точке с координатами (100; 100).

Закономерности изменения нормированной целевой функции $\bar{F}(\bar{T})$ (и, соответственно, суммарного ущерба от простоев горнотранспортного оборудования при ведении взрывных работ и консервации оборотных средств, необходимых на создание и хранение резерва взорванной горной массы) заключаются в следующем.

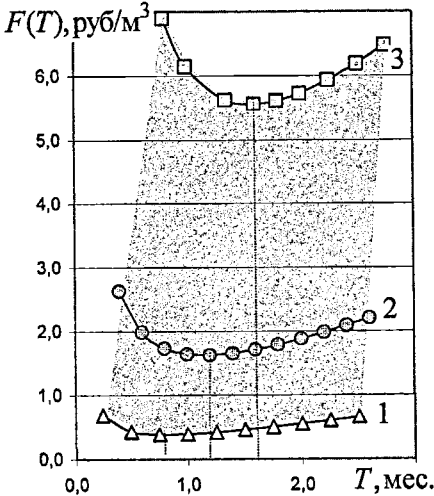


Рис. 3. Зависимость целевой функции $F(t)$ при минимальных (1), средних (2) и максимальных (3) значениях исходных данных от резерва взорванной горной массы T (мес.)

В диапазоне изменения резерва взорванной горной массы от 60 до 150 % оптимального его значения, определяемого по формуле (3), целевая функция ущерба отличается не более чем на 10 % от минимально возможного ее значения.

При уменьшении резерва от 60 до 25 % оптимального значения происходит более интенсивный рост целевой функции, значение которой в точке $T = 0,25T_{\text{опт}}$ в два раза превосходит минимальное значение ущерба.

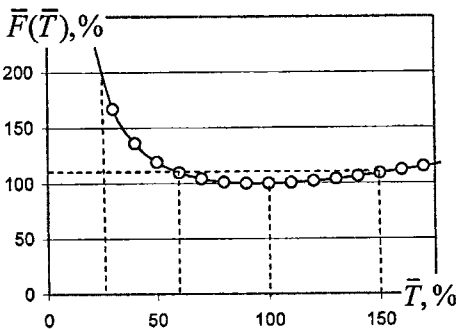


Рис. 4. Зависимость нормированной целевой функции $\bar{F}(\bar{T})$ (%) от относительного объема резерва взорванной горной массы $\bar{T}$ (%)

При дальнейшем уменьшении резерва (т. е. менее 25 % от $T_{\text{опт}}$) имеет место асимптотический рост целевой функции, что обусловлено асимптотическим ростом ущерба от простоев горнотранспортного оборудования при производстве взрывных работ.

На этом основании сформулировано второе научное положение – *при изменении объема резерва взорванной горной массы в диапазоне от 60 до 150 % его оптимального значения ущерб от консервации средств на его создание и от простоев горного оборудования при взрывных работах не превышает 10 % от минимально возможной его величины.*

Количество экскаваторов в группе взаимного влияния по фактору взрывных работ не является постоянным и со временем может изменяться. В работе показано, что при любом количестве экскаваторов в группе (начиная с $N = 2$) включение в группу или выбытие из нее одного экскаватора несущественно изменяет оптимальное значение резерва взорванной горной массы. При этом отличие от оптимального значения тем меньше, чем больше количество экскаваторов в группе.

В четвертой главе выполнено обоснование метода распределения резерва взорванной горной массы по вскрышным экскаваторам.

Резерв взорванной горной массы, определенный в целом по группе экскаваторов, подлежит распределению по отдельным экскаваторам. Если вскрышные экскаваторы одного типоразмера и, соответственно, имеют одинаковую производительность, то резерв взорванной горной массы для каждого из них будет одинаковым, а количественное значение объема равно объему взрываемого блока. В свою очередь разовый объем взрывающей породы будет определять частоту взрывов под отдельно взятый экскаватор.

В практических условиях типоразмеры экскаваторов, находящихся в рабочей зоне могут существенно отличаться. Такая ситуация имеет место, например, на разрезе «Кедровский», где в зоне взаимного влияния работают два экскаватора с вместимостью ковша 28 м^3 и несколько экскаваторов с ковшами $12,5 - 15 \text{ м}^3$. На разрезе «Талдинский» угольной компании «Кузбассразрезуголь» рядом с экскаватором с вместимостью ковша 58 м^3 работают машины в 4 – 5 раз меньшей производительности. Простой мощного экскаватора и смежного с ним оборудования не равноценны таким же по времени простоям экскаваторов и оборудования меньшей мощности. Именно поэтому возникает задача распределения суммарного резерва взорванной горной массы по экскаваторам различной мощности с различной производительностью. Решение ее позволит дать практические рекомендации по планированию взрывных работ при подготовке горной массы к выемке при фактически существующих на конкретном разрезе типоразмерах вскрышных экскаваторов.

Расчетные формулы для распределения резерва по экскаваторам устанавливались индуктивным методом – от простых вариантов сочетания типоразмеров экскаваторов к более сложным вариантам.

На первом шаге рассмотрен пример двух экскаваторов различной мощности и, следовательно, различной производительности. Экскаваторы работают

в условиях полного взаимного влияния – при подготовке резерва для одного из экскаваторов останавливается горнотранспортный комплекс на базе и другого вскрышного экскаватора.

Искомými оптимизируемыми величинами служили значения частоты взрывов под экскаваторы n_1, n_2 (раз./мес.), которые обеспечивают минимум простоев $\tau(n_1, n_2) \rightarrow \min$. С учетом ограничения, связанного с производительностью экскаваторов и общими объемами взорванной горной массы целевая функция сводится к одной переменной $\tau(n_1)$, оптимальное решение находится из выражений:

$$\frac{d\tau(n_1)}{dn_1} = 0; \quad n_2 = \frac{n_1 Q_2}{n_1 V - Q_1}, \quad (4)$$

где V – норматив резерва взорванной горной массы, установленный в соответствии с предыдущими разделами, м^3 ; Q_1, Q_2 – расчетная производительность экскаваторов, $\text{м}^3/\text{мес}$.

На рис. 5 показана геометрическая интерпретация последовательности определения частоты проведения взрывов при заданных значениях общего резерва взорванной горной массы и производительности экскаваторов, отличающейся примерно в три раза ($Q_1 > Q_2$).

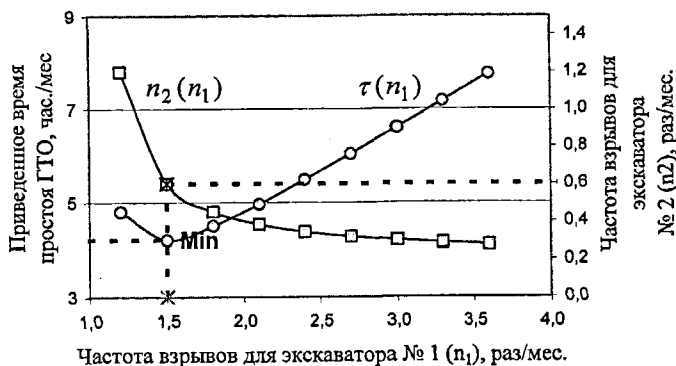


Рис. 5. Зависимость целевой функции $\tau(n_1)$ и частоты взрывов горной массы для экскаватора № 2 $n_2(n_1)$ от частоты взрывов для экскаватора № 1 n_1 .

Из данного примера следует, что при одинаковых простоях экскаваторов при проведении взрывов меньшую частоту взрывания (или больший резерв по времени работы) необходимо предусматривать для экскаваторов с меньшей производительностью.

Последовательное обобщение сформулированного подхода с оптимизацией целевой функции минимума простоев по частным производным позволило получить расчетные формулы для произвольного количества N экскавато-

ров по определению всех показателей резерва: частоты проведения взрывов под i -й экскаватор (n_i , раз/мес.), резерва, исчисляемого временем работы экскаватора (T_i , мес.) и объема взрывного блока (V_i , м³):

$$n_i = \frac{Q_i}{V} \sum_{j=1}^N \sqrt{\frac{t_j Q_j}{t_i Q_i}}; \quad T_i = \frac{1}{n_i}; \quad V_i = \frac{Q_i}{n_i}, \quad (5)$$

где Q_i – производительность i -го экскаватора, м³/мес.; V – общий резерв горной массы, м³; t_i – полные индивидуальные простои i -го экскаватора за цикл создания резерва взорванной горной массы для N экскаваторов, ч.

Для детализации формул (3), (5) возникла необходимость ввести понятие матрицы взаимного влияния экскаваторов по фактору взрывных работ, которая представляет собой квадратную таблицу размером $N \times N$:

$$(t_{ij}) = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1N} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{N1} & t_{N2} & \dots & t_{NN} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где t_{ij} – продолжительность простоя j -го экскаватора при взрывании блока под i -й экскаватор, ч.

На рис.6 представлен условный пример взаимного расположения экскаваторов, опасных зон при проведении взрывов, автомобильных дорог, а также соответствующая матрица взаимного влияния.

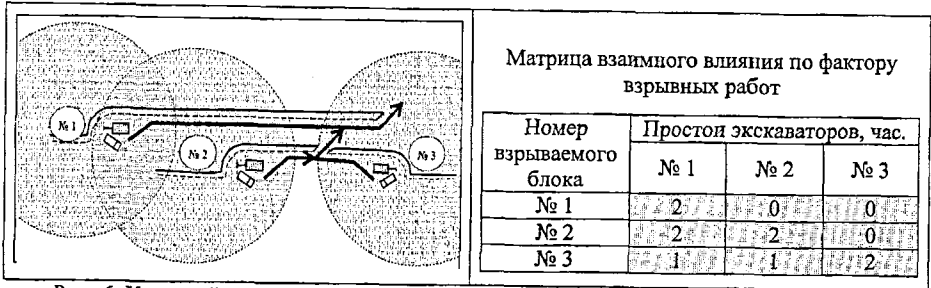


Рис. 6. Условный пример расположения экскаваторов и соответствующая матрица взаимного влияния

Данная матрица иллюстрирует теоретический подход к определению необходимых для расчетов параметров простоев – средней продолжительности простоя одного экскаватора за один взрыв (t) в формуле (3) и полные индивидуальные простои i -го экскаватора за цикл создания резерва (t_i) в формуле (5):

$$t = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N t_{ij}; \quad t_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N t_{ij}. \quad (7)$$

Записанные величины являются главными параметрами матрицы взаимного влияния для группы экскаваторов по фактору взрывных работ.

По результатам исследований, выполненных в настоящей главе, сформулировано научное положение – *распределение общего резерва взорванной горной массы по экскаваторам различной мощности базируется на оптимизации частоты взрывов под эти экскаваторы с учетом их производительности и индивидуальных простоев, определяемых на основе матрицы взаимного влияния.*

В пятой главе представлены методические принципы по практическому использованию рекомендаций и оценка их экономической эффективности.

Исходные данные для расчета резерва взорванной горной массы для группы экскаваторов, работающих в условиях взаимного влияния, и объемов взрывных блоков включают в себя:

- плановый объем вскрыши на месяц (m^3);
- количество экскаваторов в группе (шт.);
- расчетная производительность экскаваторов ($m^3/\text{мес.}$);
- продолжительность простоя одного экскаватора за один взрыв ($t, \text{ч}$);
- полные индивидуальные простои экскаваторов за цикл создания резерва.

Определить главные параметры матрицы взаимного влияния можно при известных значениях всех элементов матрицы. Вместе с тем, сделать это не всегда возможно, хотя бы из тех соображений, что экскаваторы находятся в движении по мере отработки готовой к отгрузке горной массы. Наиболее целесообразным путем является использование фактических отчетных данных о простоях экскаваторов при ведении взрывных работ, которые формируются постоянно и могут быть определены за любой промежуток времени.

В качестве примеров рассмотрены фактически существующие расстановки экскаваторов на участках № 2 Талдинского разреза и № 1 Кедровского разреза (рис. 7). Эти разрезы были выбраны из тех соображений, что простои экскаваторов при взрывных работах существенно отличаются (соответственно 37 % и 5 – 7 % от плановых простоев)

В табл. 2 представлены данные о простоях экскаваторов за шесть месяцев по разрезу «Кедровский». За это время было проведено 57 взрывов, во время которых оборудование простояло 210 часов.

Индивидуальные простои конкретных экскаваторов показаны в последней строке таблицы. Несмотря на то, что за этот период времени было выполнено несколько циклов по созданию резерва взорванной горной массы, данные этой строки можно использовать в формуле (5), поскольку в ней фактически имеет место отношение значений продолжительности индивидуальных простоев, которое не зависит от количества циклов по созданию резерва.

В табл. 3 представлены результаты расчета по разрезу «Талдинский».

Таблица 2

Фактические данные о простоях экскаваторов по фактору «взрывные работы» на горном участке № 2 разреза «Талдинский» за период 01.07.12 – 31.12.12

Месяцы	Количество взрывов, шт.	Простои экскаваторов горного участка № 2, ч					Групповой простой, ч
		Liebherr-9350 №250	HITACHI I №1013	ЭКГ-18Р №2	ЭКГ-12,5 №42	ЭКГ-1500Р №1	
Июль	10	0	13	5	4	6	28
Август	11	0	6	5	17	14	42
Сентябрь	8	7	1	1	3	5	17
Октябрь	9	12	14	12	0	20	58
Ноябрь	11	17	8	15	0	11	51
Декабрь	8	11	2	0	0	1	14
ВСЕГО	57	47	44	38	24	57	210

Фактически создаваемый резерв – до 1200 тыс. м³

Таблица 3

Распределение резерва по экскаваторам

Показатели	Экскаваторы					ВСЕ ГО
	Liebherr-9350 №250	HITACHI №1013	ЭКГ-18 №2	ЭКГ-12,5 №42	ЭКГ-1500Р №1	
Расч. произв. тыс. м ³ /мес.	400	600	450	300	450	2200
Резерв ВГМ, мес.	1,28	1,01	1,08	1,05	1,33	1,14
Объем взр. блоков, тыс. м ³	510	605	487	316	597	2515

Оптимальное значение резерва для группы экскаваторов - 1,14 мес.

Оптимальный объем резерва для группы экскаваторов 2515 тыс. м³.

Аналогичные расчеты выполнены для разреза «Кедровский», для которого на рис. 7 показано одно из текущих положений экскаваторов, а в табл. 4 – 5 представлены фактические данные о простоях экскаваторов, а также результаты расчета резерва взорванной горной массы и его распределение по отдельным экскаваторам.



Рис. 7. Фактическое положение экскаваторов на участке № 1 и № 3 разреза «Кедровский»

Таблица 4
Фактические данные о простоях экскаваторов по фактору «взрывные работы» на горных участках № 1 и № 3 разреза «Кедровский» за период 01.01.12 – 31.06.12

Месяцы	Кол-во взрывов, шт.	Простои экскаваторы горных участков № 1 и № 3, ч											Групповой простой, ч
		ЭКГ-8у № 7	ЭКГ-10 № 202	ЭКГ-15 № 41	ЭКГ-15 № 49	РС-1250 № 693	РН-2800 № 195	ЭКГ-12 № 9	ЭКГ-12 № 12	ЭКГ-15 № 42	Р-994 № 8061	РН-2800 № 152	
январь	5	1,0		7,5	1,0		11,5		3,5			2,5	27,0
февраль	8	2,0	3,0	1,5				12,0			2,5	1,5	22,5
март	9	1,5		14,5		2,5	2,0	6,0	8,5	17,0	2,5	11,5	66,0
апрель	7	2,0		1,0	2,5		5,5	8,0	12,0		2,5	2,5	36,0
май	6	1,5	1,0	14,0	5,5	1,0	3,0	3,0	3,0	1,0	2,0	6,5	41,5
июнь	5			18,5	1,0		1,0	8,5		1	2,0	1,0	33,0
ВСЕГО	40	8,0	4,0	57,0	10,0	3,5	23,0	37,5	27,0	19,0	11,5	25,5	226,0

Фактически создаваемый резерв – до 6500 тыс. м³

Таблица 5

Распределение резерва по экскаваторам

Показатели	Экскаваторы											ВСЕГО
	ЭКГ-8у № 7	ЭКГ-10 № 202	ЭКГ-15 № 41	ЭКГ-15 № 49	РС-1250 № 693	РН-2800 № 195	ЭКГ-12 № 9	ЭКГ-12 № 12	ЭКГ-15 № 42	Р-994 № 8061	РН-2800 № 152	
Расч. произв. тыс. м ³ /мес.	140	210	360	360	140	900	260	260	360	290	890	3950
Резерв ВГМ, мес.	1,1	0,6	1,8	0,8	0,7	0,7	1,7	1,5	1,1	0,9	0,8	1,08
Объем взр. блоков, тыс. м ³ /мес.	161	138	676	283	107	670	488	397	390	273	705	4270

Оптимальное значение резерва для группы экскаваторов – 1,08 мес.
Оптимальный объем резерва для группы экскаваторов – 4270 тыс.м³

Расчеты показывают, что в обоих случаях фактически создаваемый резерв взорванной горной массы существенно отличается от оптимального значения (рис. 8). Фактический резерв для группы экскаваторов на разрезе «Кедровский» примерно в 1,5 раза больше оптимального и находится на самой границе диапазона рациональных значений. Фактический резерв для группы экскаваторов на разрезе «Талдинский» составляет всего 46 % от оптимального значения и выходит за границы диапазона рациональности.

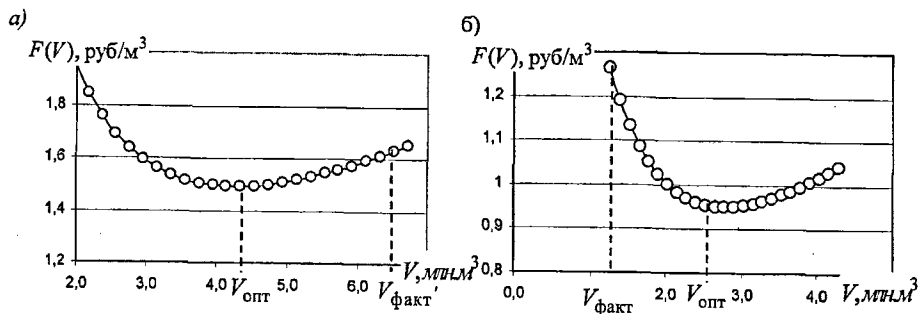


Рис. 8. Расчетная зависимость целевой функции ущерба (F) от резерва взорванной горной массы (V) для условий Кедровского (а) и Талдинского (б) разрезов.

По численным значениям целевой функции на графиках рис. 8 можно оценить экономический эффект для рассмотренных групп экскаваторов. При обеспечении равенства фактического объема резерва взорванной горной массы и оптимального для группы экскаваторов разреза «Кедровский» можно ожидать эффект до 400 тыс. руб. за полный цикл создания резерва, а по рассмотренной группе экскаваторов разреза «Талдинский» – до 750 тыс. руб. При этом средняя продолжительность простоя одного экскаватора по фактору взрывных работ в течение месяца в первом случае увеличится с 3,5 до 5,0 ч, а на Талдинском разрезе уменьшится с 9,0 до 4,0 ч.

Заключение

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основе установленных закономерностей изменения ущерба от простоев горно-транспортного оборудования при ведении взрывных работ и ущерба от консервации средств на подготовку резерва взорванной горной массы, установленного диапазона рациональных значений резерва взорванной горной массы, методики определения объемов взрывных блоков для отдельных экскаваторов различной мощности решена задача обоснования резерва взорванной горной массы на разрезах с автомобильным транспортом, имеющая существенное значение для открытого способа разработки месторождений.

Основные научные и практические результаты, выводы и рекомендации заключаются в следующем.

1. В основе результатов ранее выполненных исследований по определению оптимального объема взрывных блоков и резерва взорванной горной массы при открытой разработке месторождений полезных ископаемых лежит критерий минимизации совокупного ущерба от консервации средств на создание резерва взорванной горной массы и ущерба от простоев горнотранспортного оборудования при ведении взрывных работ. Этот технико-экономический критерий остается актуальным и в настоящее время, поэтому применительно к проблематике диссертации он модифицирован путем введения нормы дисконта, как средства для оценки ущерба от консервации средств на создание резерва взорванной горной массы.

2. Введено понятие группы экскаваторов, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ, с использованием которого установлено, что оптимальный объем резерва взорванной горной массы пропорционален корню квадратному из количества экскаваторов в группе и средней продолжительности одного экскаватора за один взрыв за полный цикл создания резерва взорванной горной массы.

3. Исследована закономерность изменения ущерба от консервации средств на создание резерва взорванной горной массы и ущерба от простоев горнотранспортного оборудования при ведении взрывных работ от объема этого резерва и показано, что в окрестности точного математического минимума график целевой функции ущерба не является ярко выраженным.

4. При изменении объема резерва взорванной горной массы в диапазоне от 60 до 150 % его оптимального значения ущерб от простоев горного оборудования при взрывных работах и консервации средств на создание резерва не превышает 10 % от минимально возможной его величины при любых практически встречающихся значениях исходных данных, характеризующих горно-технические условия разработки.

Существование такого диапазона позволяет управлять объемом резерва взорванной горной массы с учетом фактически существующих горнотехнических условий разработки месторождения без существенного увеличения ущерба от простоев оборудования и консервации средств.

5. При объеме резерва менее 25 % от оптимального значения имеет место асимптотическое увеличение ущерба в два и более раз.

6. Простой мощного экскаватора и смежного с ним оборудования не равноценны таким же по времени простоям экскаваторов и оборудования меньшей мощности. Поэтому возникает задача распределения суммарного резерва взорванной горной массы по экскаваторам различной мощности с различной производительностью, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ.

7. В работе введено понятие матрицы взаимного влияния экскаваторов по фактору взрывных работ, которая является теоретической основой для определения исходной информации по продолжительности простоев, используемых в расчетах при обосновании общего объема резерва взорванной горной массы и его распределении по отдельным экскаваторам.

8. Установлено, что распределение общего резерва взорванной горной массы по отдельным экскаваторам, работающим в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ, необходимо производить с учетом их производительности и индивидуальных простоев за цикл создания резерва.

9. Главные количественные характеристики матрицы взаимного влияния – средняя продолжительность простоя одного экскаватора за один взрыв и продолжительность индивидуальных простоев экскаваторов за цикл создания резерва взорванной горной массы – могут быть определены по результатам обработки имеющихся на разрезах фактических данных по простоям экскаваторов при ведении взрывных работ по предыдущим плановым периодам.

10. В диссертации разработаны рекомендации по планированию объемов взрывных блоков при подготовке горной массы к выемке при фактически существующих на конкретном разрезе типоразмерах вскрышных экскаваторов и смежного горнотранспортного оборудования.

Область применения рекомендаций – группы экскаваторно-автомобильных комплексов, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ.

При проектировании перспективных разрезов эти рекомендации могут быть использованы для обоснования концентрации горнотранспортного оборудования, обеспечивающей заданные объемы горных работ.

11. Методика обоснования резерва взорванной горной массы для группы экскаваторов, работающих в условиях взаимного влияния по фактору взрывных работ, а также распределения общего резерва по экскаваторам с учетом их мощности и ожидаемых индивидуальных простоев принята для опытно-промышленной проверки на разрезах «Кедровский» и «Талдинский» ОАО «Угольная компания «Кузбассразрезуголь».

Основное содержание работы опубликовано в следующих статьях.

Издания рекомендованные ВАК;

1. Сысоев, А. А. Распределение резерва взорванной горной массы по вскрышным экскаваторно-автомобильным комплексам/ Сысоев А. А., Голубин К. А.// Вестн. КузГТУ. – 2013. – № 3. – С 49 –50.
(<http://ko.kuzstu.ru/herald/php/download.php?year=2013&issue=3&ID=350&TYPE=2&pb=49&pe=50>)
2. Голубин, К. А. Расчет технической производительности зарядных машин при использовании гранулированных ВВ/ Сысоев А. А., Голубин К. А.// Вестн. КузГТУ. – 2012. – № 6. – С 48 –49.

(<http://ko.kuzstu.ru/herald/php/download.php?year=2012&issue=6&ID=219&TYPE=2&pb=48&pe=49>)

Другие издания

3. Сысоев, А. А. К вопросу об обосновании резерва взорванной горной массы на разрезах // А.А. Сысоев, Я.О. Литвин, К.А. Голубин /т.1/ Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2012. Материалы XIV Международной научно-практической конференции, 1–2 ноября. 2012 г./ ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2012. – Т.1 - с. 36-38.
(<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=80087&type=conference:common>)
4. Голубин К. А. Матрица взаимного влияния для оценки суммарных простоев экскаваторов при ведении взрывных работ на разрезах / К.А. Голубин, А. А. Сысоев // Сб. материалов V Международной, 58 научно-практической конференции молодых ученых «Россия молодая». – КузГТУ. – Кемерово. – 2013. – Т.1 - с. 13 – 16.
(http://kuzstu.ru/science/doc/conference_ipo/14.08.2013/digest.rar)
5. Голубин К. А. Моделирование и анализ состояния открытых горных работ / Голубин К.А., Ермолаев В.А. // Сб. материалов IV Международной, 57 научно-практической конференции молодых ученых «Россия молодая». – КузГТУ. – Кемерово. – 2012.

Подписано к печати 06 ноября 2013г.

Формат 60×84 1/6. Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Печ. л. 1,2. Тираж 100 экз. Заказ № 744

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

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28

Полиграфический цех КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А