

## Разработка научных основ по добыче графитовых руд комбинированным способом на базе Завальевского месторождения графита

В.И. Бузило, Т.С. Савельева, В.А. Савельев, В.В. Фомичев  
*Национальный горный университет, Днепрпетровск, Украина*

**АННОТАЦИЯ:** Приведены результаты научного обоснования перехода к подземно-открытой разработке месторождения графитовых руд. Рекомендованы схема вскрытия и способ подготовки шахтного поля, способ добычи руды, показана возможность применения камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства хвостами обогащения, рассмотрены вопросы транспорта руды и вскрышных пород.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** комбинированный способ отработки, наклонные стволы, комбинированная выемка, закладка, хвосты обогащения.

В работе рассмотрен вопрос отработки Завальевского месторождения графита, который находится на юго-западе Украинского кристаллического щита, комбинированным подземно-открытым способом. В настоящее время разработка месторождения ведется открытым способом. Большая часть промышленных запасов находится в целиках под поймой реки Южный Буг, обогатительной фабрикой и поселком. Для дальнейшего ведения горных работ открытым способом предусматривается сооружение плотины и руслоотводного канала, перенос имеющейся обогатительной фабрики и отчуждения земель площадью 400 га. Общая стоимость этих работ по предварительной оценке значительно превышает затраты при переходе на добычу графита подземным способом. В связи с этим предусматривается отработка месторождения комбинированным способом, т.е. доработка карьера и переход к подземной разработке.

Для осуществления перехода к подземной разработке требуется выбор схем вскрытия и способа подготовки шахтного поля, транспорта руды и вскрышных пород, вентиляции и охраны окружающей среды, обоснование возможности применения камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства хвостами обогащения,

В пределах месторождения породы образуют синклиналиную складку субширотного направления, в ядре которой залегают известняки, а окаймляют ее граниты: с северо-востока – чарнокиты, с юго-востока – магматиты. Продуктивная свита прослеживается на обоих крыльях складки в виде двух, почти одинаково ориентированных полос (северной и южной).

Существование карьера на "Юго-Восточном" участке, примыкающего к "Промежуточному" делает целесообразным ведение дальнейшей отработки месторождения комбинированным способом: доработка месторождения на участке "Юго-Восточный" открытым способом до отметки -19 м. и переход на подземный способ добычи на участке "Промежуточный". Участок "Промежуточный" находится на северной полосе графитовых пород. Простираение пород – северо-западное, падение почти вертикальное (80 – 90°). Рудоносная толща представлена чередованием биотито-графитовых и биотито-гранатовых гнейсов со скарноидами, известняками и кварцитами. Мощность рудоносной толщи 300 – 350 м. Графит в гнейсовой толще образовался в процессе метаморфизма за счет углистых соединений, содержащихся в первично-осадочной толще. Промышленные концентрации графита приурочены к каолинизированным и хлоритизированным разностям гнейсов. Выделения графита представлены агрегатами игольчатых кристаллов или скоплениями чешуек размером 0,1 до 10 мм. Рудными телами именуется обогащенные графитом пачки и прослойки гнейсов. Мощность их колеблется от 1 – 2 до 25,2 мм. Нередко рудные тела выклиниваются, соединяются друг с другом или раздваиваются, из-за чего количество рудных тел на разрезах изменяется от 4 до 8. Прослеживающиеся внутри рудоносной толщи тела скарноидов имеют такую же, как и рудные тела, морфологию. Мощность тел скарноидов колеблется от 4 до 28 м. на западе участка и от 1 до 24 м на востоке. Количество тел скарноидов изменяется по разрезам от 4 до 6.

Гидрогеологические условия месторождения чрезвычайно сложны. В пределах участка встречаются грунтовые воды четвертичных отложений, пластовые воды третичных пород и трещинные воды докембрийского кристаллического массива. Все воды безнапорные. Водонесные горизонты гидравлически связаны между собой и с рекой Южный Буг. Оценка водопритоков в будущий карьер выполнена ориентировочно, так как гидрологические условия месторождения изучены недостаточно. Границы распространения водонесных горизонтов не установлены, не охарактеризованы.

Запасы на "Промежуточном" участке подсчитаны по категориям  $C_1$  и  $C_2$  на глубину 100 м по результатам геологоразведочных работ. Подсчет запасов производился методом вертикальных параллельных сечений по методике, принятой ГКЗ при утверждении запасов "Юго-Восточного" участка. По результатам анализа геологических запасов и возможности их отработки подземным способом к промышленным запасам отнесены балансовые запасы за вычетом потерь в постоянных охранных целиках. К этим потерям отнесены целики, остающиеся под руслом реки Южный Буг и под сооружениями реконструируемой обогатительной фабрики. Промышленные запасы графитовой руды при 2% содержании составляют 194,5 млн.т.

Учитывая условия залегания рудного тела и рельеф местности можно сделать вывод, что целесообразно применение одного из двух основных вариантов вскрытия Завальевского месторождения на участке "Промежуточный":

1. Наклонным стволом и четырьмя штольнями, пройденными из юго-западного борта карьера (рис. 1).

2. Тремя вертикальными стволами и четырьмя штольнями (рис. 2).

Технологическая оценка вариантов показала, что первый вариант вскрытия месторождений позволяет осуществить сплошную конвейеризацию транспортировки отбитой руды от забойного бункера до приемного бункера обогатительной фабрики. При этом обеспечивается непрерывность транспортировки. Применение же различных видов транспортного оборудования значительно усложняет организацию работ по транспортировке полезного ископаемого, ремонту этого оборудования, требует увеличения обслуживающего персонала, что приводит к увеличению затрат. Кроме того, в первом варианте предусмотрено проведение лишь одного наклонного ствола, во втором – трех вертикальных. Затраты на проведение трех вертикальных стволов до отметки -35 м значительно выше, чем на проходку одного

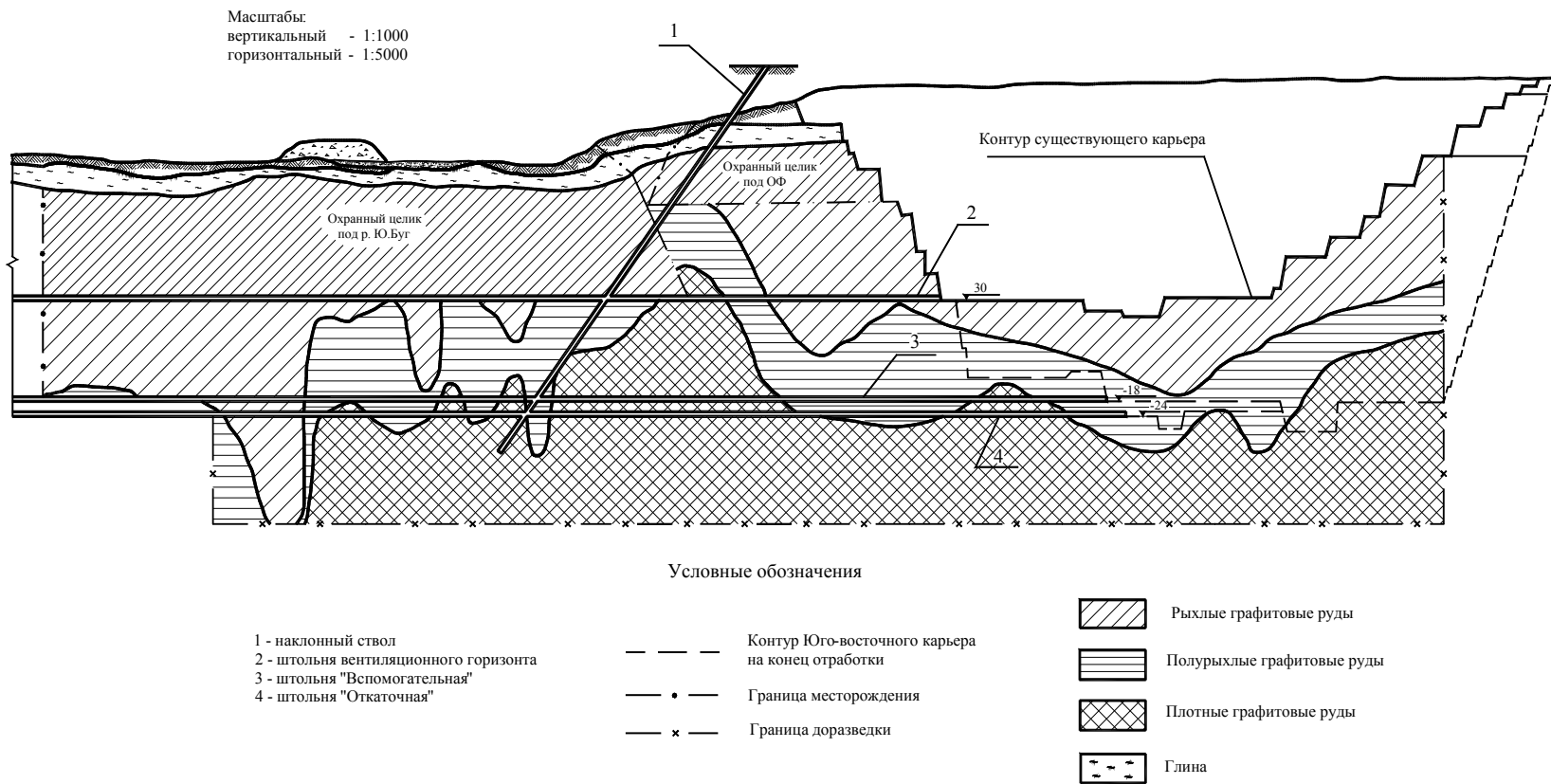


Рис. 1. Схема вскрытия шахтного поля наклонным стволом и штюлями

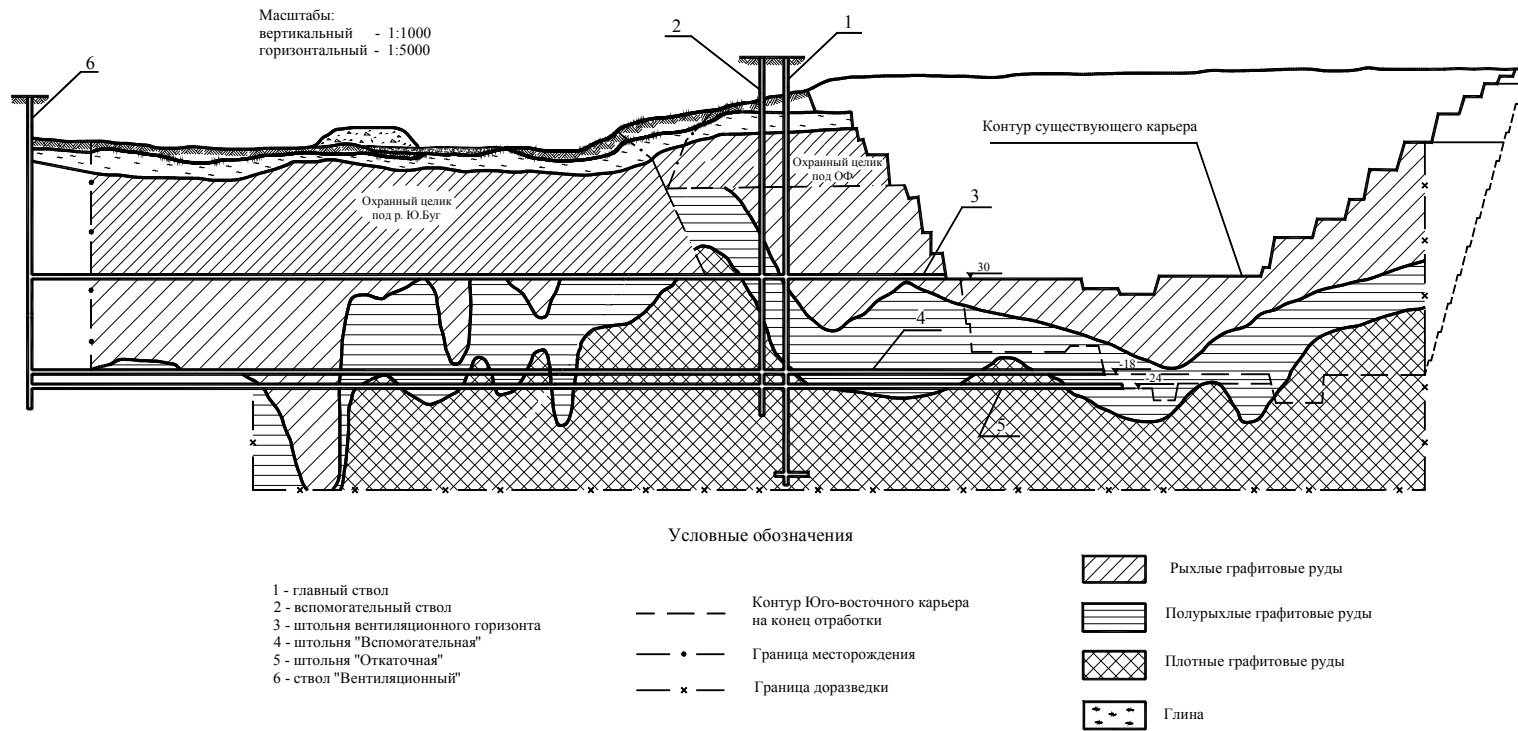


Рис. 2 .Схема вскрытия шахтного поля вертикальными стволами и штольнями

наклонного ствола до той же отметки. В первом варианте значительно упрощается конструктивно промплощадка. Следовательно, наиболее приемлем вариант вскрытия шахтного поля наклонным стволом и штольнями.

Наклонный ствол 1 располагается висячем боку рудного тела и выходит на поверхность на отметке +146 м в непосредственной близости от обогатительной фабрики. (рис.1). Так как вдоль месторождения в юго-восточном направлении над рудным телом протекает река Ю.Буг и основная часть руды выше отметки +30 м приходится на охранный целик, разработка запасов выше этой отметки представляется рациональной при доработке рудника. Поэтому для отработки первоочередных запасов принимаются два горизонта:

1. Вентиляционно-закладочный (отметка +30 м).
2. Эксплуатационный (отметка -18 м).

На вентиляционно-закладочном горизонте пройдены две штольни 2 из юго-западного борта карьера в лежачем и висячем боках рудного тела. Вентиляционные штольни заканчиваются соединительным ортом. Вентиляционный горизонт связан с наклонным стволом квершлагом, пройденным от вентиляционной штольни висячего бока рудного тела. На эксплуатационном горизонте в лежачем боку рудного тела пройдена штольня "Вспомогательная" 3 на отметке -18 м, в висячем боку рудного тела пройдена штольня "Откаточная" 4 на отметке -24 м. Со стороны карьера на расстоянии 50 м от устья штольни эксплуатационного горизонта соединены вентиляционной сбойкой. В центре месторождения штольня "Откаточная" через квершлаг с заездом соединяется с наклонным стволом. Наклонный ствол под квершлагом проходит до отметки -35 м, что позволяет оборудовать приемный бункер между квершлагом и наклонным стволом. Заканчиваются штольни эксплуатационного горизонта соединительным ортом. Предусмотрено транспортирование полезного ископаемого по наклонному стволу конвейерным транспортом, поэтому угол наклона ствола не должен превышать  $18^\circ$ .

Сечения выработок приняты из условия размещения транспортного оборудования при соблюдении необходимых зазоров. Штольни, квершлаг, наклонный ствол и вентиляционная сбойка проходятся сечением  $20,9 \text{ м}^2$  и крепятся металлической арочной крепью. Сечение в свету –  $16,4 \text{ м}^2$ . Сопряжения ствола с квершлагами и приемным бункером, выработка под приемный бункер крепятся бетоном [1]. Все горно-капитальные выработки проходятся буро-взрывным способом.

Подготовка месторождения заключается в проведении подготовительных выработок, после чего в шахтном поле начинается очистная выемка. Способ подготовки месторождения определяется в основном системами разработки и технологией добычи руды. Для горно-геологических условий Завальевского месторождения и принятой системы разработки целесообразно применение способа подготовки полевыми штреками и этажными ортами [2]. Учитывая требования сохранности земной поверхности, крутое падение рудного тела, имеющиеся в настоящее время сведения о механических свойствах руды и вмещающих пород, стремление избежать значительных потерь и разубоживания при безопасных условиях ведения очистных работ, рекомендуется принять этажно-камерную систему разработки с отбойкой руды глубокими скважинами и последующим заполнением выработанного пространства твердеющей закладкой.

Начало отбойки руды производится веерными комплектами скважин, пробуренными из буровых ортов. Руда выпускается самотеком на почву откаточных ортов. Погрузка и доставка отбитой руды с откаточного орта на откаточный штрек осуществляется машиной ПД-12. Одновременно в отработке находится три камеры. По завершению выемочных работ в камере осуществляется ее закладка. Заполнение отработанных камер твердеющей закладкой производится в три стадии:

- заполнение днища камер смесью с повышенным содержанием вяжущего с целью получения упрочненной закладки на уровне перемычек;
- заполнение камеры на всю ее высоту с остановкой на уровне перемычек;
- дозакладка камер с повышенным содержанием вяжущих.

Физико-механические свойства графита и вмещающих пород, подбор закладочного материала производился в лабораторных условиях НГУ. Исследованы разрушающие напряжения на сжатие и растяжение пород [3] и полное сопротивление пород сдвигу [4]. На основании расчетов на прочность элементов блока методом конечных элементов рекомендованы размеры целиков и пролетов камер [5,6].

При подземной добыче руды возникает вопрос о выборе способа выемки рудной массы. Условия залегания и форма рудного тела Завальевского месторождения сложные, поэтому применение только селективной или валовой выемки по всему участку не эффективно. Однако местами целесообразно применение селективной либо валовой выемки в чистом виде. Поэтому в данных условиях самым приемлемым способом выемки является комбинированный – применение валовой выемки в сочетании с селективной. Комбинированная выемка даст наибольший эффект при отработке участка, так как возможно сортовое усреднение (шихтовка), т.е. разделение руды по сортам, накопление разных сортов руды и последующее их дозирование для образования смеси с заданными показателями качества руды.

Поступление в технологические операции руды с отклонением от среднего уровня ведет к отклонению технологического режима, от оптимального уровня и к рассогласованию пропускной способности и эффективности последующих операций. В случае снижения содержания компонента уменьшается производительность вследствие протекания процесса не в оптимальном режиме. Следовательно, основным критерием оценки эффективности применения способа добычи руды является процентное содержание графита в рудной массе, поступающей на обогатительную фабрику, которое не должно быть ниже 5%. Расчет процентного содержания графита в рудной массе при комбинированной выемке показал, что такой способ выемки приемлем для данных условий [7].

Большое значение при подземной добыче имеет выход крупно-кусковатой руды. Обычно выход негабаритной фракции находится в широких пределах (15 – 40%). Выдача руды из очистных камер ограничивается размерами выпускных устройств и применяемыми средствами доставки, погрузки и транспортировки. С увеличением числа кусков, превышающих установленный кондиционный размер, растет объем работ по их вторичному дроблению на горизонте выпуска, что приводит к снижению производительности труда и интенсивности выпуска, простаиванию оборудования доставки, погрузки и средств транспортирования, запыленности и загазованности рудничной атмосферы.

Основная причина некачественного дробления отбитой руды заключается в чрезмерном разрежении сетки скважин, связанном с тем, что выпускаемые буровые станки имеют низкие скорости бурения и большой диаметр буровых коронок. Это приводит к большой трудоемкости и высокой стоимости одного метра скважины.

На отечественных рудниках для механизации буровых работ преимущественно применяются станки НКР-100 с пневмоударниками. Практика применения НКР-100 показывает, что условия Завальевского месторождения в полной мере соответствуют условиям его применения. Станок имеет большую глубину бурения и, следовательно, при глубине бурения до 30 м искривление скважины будет минимальным, при этом скорость бурения станка в рудах средней крепости 20 – 25 м/сек.

Проектом предусматривается конструкция днища камеры без оставления надштрековых целиков. Это позволяет исключить потери руды, связанные с оставлением надштрековых целиков и на 30 – 40% сократить трудовые затраты на оформление днища. В днище без надштрековых целиков выпускные отверстия можно расположить на более близком рас-

стоянии друг от друга и этим улучшить условия выпуска руды. Руда выпускается самотеком на почву орта, следовательно, погрузка и доставка может осуществляться следующим образом:

1. Погрузка машинами и колесная откатка.
2. Погрузочно-доставочными машинами.

Погрузка руды машинами и колесная откатка требует в каждой точке погрузки присутствие двух рабочих: один занят погрузкой, второй обслуживает транспортные средства. Для повышения производительности труда целесообразно применить машину, которая обслуживалась бы одним рабочим и осуществляла как погрузку, так и доставку руды на расстояние в несколько сотен метров. Погрузочно-доставочные машины (ПДМ) комплексно выполняют операции погрузки, транспортирования и разгрузки разрыхленной горной массы [8]. По сравнению с другими средствами погрузки и доставки они требуют меньшего числа обслуживающего персонала, более маневренны, позволяют в течение смены убирать руду в нескольких забоях, транспортировать ее по выработкам малого сечения с небольшим радиусом закругления, требуют меньше времени на подготовительно-заключительные и вспомогательные операции. В связи с этим рекомендуется применение погрузочно-доставочной машины ПД-12.

С увеличением глубины, условия отработки рудных месторождений подземным способом ухудшаются. Возрастает опасность ведения горных работ, в связи с повышением интенсивности проявления горного давления, увеличиваются затраты на крепление и перекрепление горных выработок, уменьшаются камерные запасы и площади, находящиеся в одновременной отработке. Все это обуславливает снижение технико-экономических показателей разработки месторождений. Отработка рудных месторождений подземным способом системами с обрушением налегающих пород сопровождается высокими потерями и разубоживанием руд. Одним из эффективных способов, который позволит улучшить извлечение руд подземным способом является применение систем разработкой с закладкой.

Рекомендуется заполнение отработанных камер твердеющей закладкой производить в три стадии:

1. Заполнение днища камер смесью с повышенным раствором фосфогипса с целью получения упрочненной закладки.
2. Заполнение камеры на всю высоту с остановкой на уровне перемычек с целью предотвращения аварийных прорывов закладки в выработку.
3. Дозакладка камер с повышенным содержанием фосфогипса.

В период заполнения камеры с закладкой осуществляется систематический контроль уровня закладки и состоянием всех перемычек. После заполнения камеры производится дозакладка камер с помощью трубопровода с быстроразъемными соединениями стыков, проложенного в месте наибольшего подъема кровли камер.

Основным критерием при выборе рационального состава закладочной смеси принята прочность закладочного массива в трехмесячном возрасте, так как это позволяет установить допустимую величину площади обнажения, выбрать сейсмически безопасные параметры взрывных работ [9]. Определение величины предела прочности при сжатии закладочного материала осуществлялось путем раздавливания кубиков размерами  $5,0 \times 5,0 \times 5,0$  см в лабораторных условиях НГУ по утвержденной методике. В качестве закладочного материала рекомендуется применять четвертый состав смеси из испытанных и представленных в табл. 1, прочность которого по истечении 90 суток составила  $41,0 \cdot 10^5$  Па. Основными компонентами для приготовления закладки являются отходы Завальевской обогатительной фабрики – хвосты обогащения и отходы химкомбинатов по производству фосфорных удобрений – фосфогипс.

Технология ведения закладочных работ разработана на основе анализа ведения

Таблица 1. Качественный и количественный составы испытываемых составов смесей

Компоненты	Расход материалов на 1м <sup>3</sup> закладки			
	Номер состава			
	I	II	III	IV
Хвосты флотации, кг	1931	1867	1697	1600
Фосфогипс, кг	33	64	117	165
Вода, л	276	267	273	257
Объемная масса закладочной смеси, кг/м <sup>3</sup>	2,24	2,20	2,08	2,02

закладочных работ на современных рудниках с учетом горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождения комбинированным способом. Целесообразно применять самотечную закладку выработанного пространства. При отработке камер, находящихся за пределами самотечного участка, необходимо применять дополнительно пневматический транспорт.

Проектируемый закладочный комплекс является самостоятельным цехом комбината и состоит из двух участков: поверхностного, в состав которого входят комплекс по приему, разгрузке, складированию хвостов обогатительной фабрики, фосфогипса и технологический комплекс приготовления твердеющей закладочной смеси; и подземного, в задачу которого входит сооружение перемычек, монтаж закладочных трубопроводов и ведение закладочных работ [10].

Результаты проведенного исследования позволяют рекомендовать дальнейшее ведение горных работ на Завальевском месторождении графита комбинированным способом, т.е. доработка карьера до отметки -19 м и переход к подземной разработке. Основным результатом такого перехода является бесперебойное обеспечение графитом основных его потребителей, сохранение занятости населения и максимально возможное сохранение экологического равновесия района.

Экономическая эффективность при добыче графитовых руд комбинированным способом будет достигнута за счет применения прогрессивной технологии ведения горных работ и сохранения поверхности земли для нужд народного хозяйства.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Инфантьев А.Н. 1978: Вскрытие и подготовка мощных рудных месторождений. М., Недра, с. 245.
- [2] Борисенко С.Г. 1977: Вскрытие и системы разработки рудных месторождений. Киев: Вища школа, с. 296.
- [3] Барон Л.И., Логунцов В.М., Нозин Е.З. 1962: Определение свойств горных пород. Москва: Госгортехиздат, с. 332.
- [4] Турчанинов И.А., Медведев Р.В., Панин В.И. 1967: Современные методы комплексного определения физических свойств горных пород. Москва: Недра, с. 199.
- [5] Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. 2000: Finite Element Method: Volume 1 – The Basis. London: Butterworth Heinemann, pp. 712.
- [6] Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. 2000: Finite Element Method: Volume 2 – Solid Mechanics. London: Butterworth Heinemann, pp. 480.
- [7] Ковалев И.А., Стебанов Б.А. 1968: Повышение эффективности разработки рудных месторождений. Москва: Недра, с. 216.
- [8] Байконуров О.А., Филимонов А.Г., Калашин С.Г. 1981: Комплексная механизация подземной разработки руд. Москва: Недра, с. 264.
- [9] Добровольский В.В. 1970: Методика определения физико-механических характеристик закладочного материала. Москва: ИГД им. А.А. Скочинского, с. 38.
- [10] Кравченко В.П. 1974: Применение твердеющей закладки при разработке рудных месторождений. Москва: Недра, с. 200.

Разработка научных основ по добыче графитовых руд комбинированным способом на базе Завальевского месторождения графита / В.И. Бузило, Т.С. Савельева, В.А. Савельев, В.В. Фомичев // *Materialy Szkoły Eksploatacji Podziemnej – Krakow : Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energia PAN, 2011 . – С. 392-400.*