

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

ГОРНОГО ДЕЛА



№1 (9)

МАГНИТОГОРСК 2020

---

---

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНОГО ДЕЛА

№1 (9) ноябрь 2020 г.

Научно-технический журнал

Учредитель: ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»

Основан  
в 2016 году

Выходит  
2 раза в год

### О журнале

Научно-технический журнал содержит публикации по результатам теоретических, экспериментальных и научных исследований в разных областях горного дела.

Предназначен для специалистов в области геологии, маркшейдерского дела и геометрии недр, геотехнологии (подземной, открытой, строительной), обогащения полезных ископаемых. Может быть полезен магистрам, аспирантам, студентам старших курсов соответствующих специальностей.

**Основные направления журнала:** горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр, геотехнология (подземная, открытая и строительная), горные машины, обогащение полезных ископаемых.

### Редакционная коллегия

**Гавришев Сергей Евгеньевич** – председатель редакционной коллегии, проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»); г. Магнитогорск, Россия;

**Галиев Сейтгали Жолдасович** – член-корреспондент НАН РК, проф., д-р техн. наук, заместитель председателя Правления АО «Казахстанский институт развития индустрии», г. Караганда, Казахстан;

**Голик Владимир Иванович** – проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»), г. Владикавказ, Россия;

**Горбатова Елена Александровна** – доц., д-р геол.-минерал. наук (ФГУ «ВИМС»), г. Москва, Россия;

**Калмыков Вячеслав Николаевич** – проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»), г. Магнитогорск, Россия;

**Пыталев Иван Алексеевич** – действительный член Академии горных наук, проф., д-р техн. наук (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»); г. Магнитогорск, Россия;

**Шамшиев Орунбай Шамшиевич** – проф., д-р геол.-минерал. наук, директор КГТУ им. И. Раззакова, г. Кызыл-Кия, Кыргызстан.

### Контакты

#### Главный редактор:

Орехова Наталья Николаевна - доц., докт. техн. наук  
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»), тел.: (3519) 29-85-55

#### Заместитель главного редактора:

Романько Елена Александровна – доц., канд. техн. наук  
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»), тел.: (3519) 29-85-40

#### Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел.: (3519) 29-85-40. E-mail: [mdig@magtu.ru](mailto:mdig@magtu.ru)

#### Адрес издателя:

455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. К. Маркса, 45/2,  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», издательский центр

#### Адрес типографии:

455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38,  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», участок оперативной полиграфии

Выход в свет 29.12.2020. Заказ 371. Тираж 100 экз. Цена свободная.

16+, в соответствии с Федеральным Законом от 29.12.10. №436-ФЗ.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

- Андреева О.Н., Кольцов П.В., Иванов Ю.С., Смяткин А.Н.**  
Организация мониторинга за деформациями Камаганского карьера 3
- Литвиненко Н.В., Маврин Ю.Д., Ишкинин Е.В.**  
Анализ способов съёмки складов полезного ископаемого на карьерах 14

### ГЕОТЕХНОЛОГИЯ (ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ)

- Красавин А.В. Иванов В.А., Пудовкин Н. Е., Каримов Р.А.**  
Выбор и обоснование комплекса механизации для систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород 17
- Красавин А.В., Пудовкин Н.Е., Абдрахманов Д.С.**  
К вопросу оценки устойчивости бортов карьера при комбинированной разработке месторождения 21
- Пыталев И.А., Караулов Н.Г., Доможиров Д.В., Прохоров А.А.**  
Комплексное освоение месторождений мрамора с применением карьерного комбайна Wirtgen 26

- Любавина В.А.**  
Обоснование применения комбайна при проходке горных выработок на примере шахт ПАО «ГМК «Норильский никель» 31

### ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- Сединкина Н.А., Жуматий А.Г., Гаврилов В.Г.**  
Перспективы использования титаномагнетитовых руд Южного Урала 36
- Романенко С.А., Ушаков Е.К.**  
Повышение селективности флотации Cu-Zn руд при использовании метода электрохимического контроля 40



УДК 622.27

## ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ КАМАГАНСКОГО КАРЬЕРА

Андреева О.Н., Кольцов П.В., Иванов Ю.С., Смяткин А.Н.

**Аннотация.** В статье рассмотрены современные и традиционные методы наблюдений за деформациями бортов карьера, их достоинства и недостатки. Показана методика инструментальных наблюдений за деформациями бортов Камаганского карьера и результаты первых двух серий наблюдений.

**Ключевые слова:** деформации, сдвигения, наблюдательная станция.

### Введение

Важнейшими задачами на горном предприятии является обеспечение устойчивости бортов карьера, своевременное предупреждение возникающих деформаций откосов и корректировка углов откосов в зависимости от изменяющейся горно-геологической обстановки как в процессе развития открытых горных работ, так и при постановке бортов в предельное положение на стадии доработки. Решение данных задач направлено на повышение безопасности и экономической эффективности горного производства, а также обеспечение сохранности прилегающих к карьерам территорий и расположенных на них объектов.

Организация инструментальных наблюдений за состоянием бортов карьера, уступов и прибортовых территорий является одним из наиболее эффективных способов изучения устойчивости бортов, и предупреждения их деформаций.

С появлением современного, высокоточного и высокотехнологичного оборудования методы инструментальных наблюдений изменились, что позволило снизить трудоемкость процесса, получать за короткий промежуток времени более полную информацию об отдельном участке или объекте в целом, а также вести наблюдения за недоступными участками, что ранее при использовании традиционных методов и инструментов было невозможно.

### 1. Виды деформационных процессов в бортах карьеров

Устойчивость любого откоса оценивается коэффициентом запаса, представляющим отношение удерживающих сил к сдвигающим при определенных геометрических параметрах откоса и физико-механических характеристиках массива. Когда коэффициент запаса превышает нормативный критерий, откос находится в устойчивом состоянии, а в противном случае возникает риск развития деформаций.

При несоответствии параметров откоса прочностным характеристикам пород или проявлении прочих негативных факторов в массиве происходит перераспределение напряжений, которое является следствием увеличения сдвигающих и уменьшения удерживающих сил. В результате происходит нарушение устойчивости прибортового массива с проявлением деформаций (осыпи, обрушения, оползни, просадки и т.д.).

Все типы разрушающих деформаций можно подразделить на приповерхностные и глубинные (рис. 1). Приповерхностные – поражают приповерхностную часть откосов на карьерах и фиксируются визуальными и простейшими инструментальными наблюдениями. К таким деформациям относят осыпи, фильтрационные деформации – оплывание, выпор, поверхностная эрозия. Глубинные – захватывают большие объемы прибортовых массивов, а зарождение разрушений при их формировании происходит в глубине массива в зоне наибольших касательных напряжений, которая при своем расширении лишь со временем достигает земной поверхности. К ним относят оползни, обрушения, крупные оплывины. Поэтому формирование глубинных разрушающих деформаций в начале развития процесса фиксируют

с помощью фундаментальных или временных инструментальных маркшейдерских наблюдений и наблюдениями за деформациями внутри прибортового массива.

Из всех видов деформаций оползни и обрушения оказывают наибольшее влияние на горные работы в карьере, представляя опасность для людей и горного оборудования. Поэтому маркшейдерские инструментальные наблюдения выполняют прежде всего с целью выявления начала процесса оползнеобразования и его развития во времени.

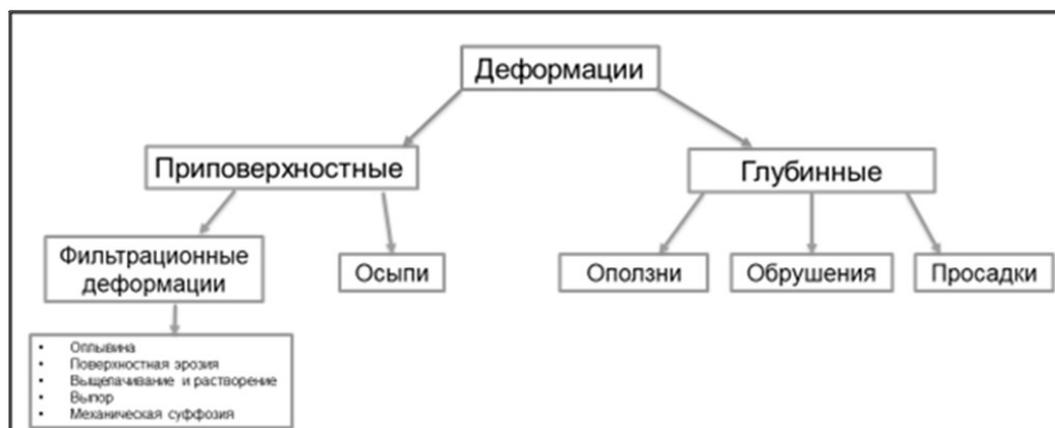


Рис. 1. Классификация деформаций откосов

Разработка месторождений открытым способом должна сопровождаться комплексом маркшейдерско-геологического мониторинга состояния откосов уступов, бортов карьеров и отвалов для обеспечения их устойчивости, своевременного предупреждения развития деформаций и корректировки углов откосов в зависимости от изменяющейся горно-геологической ситуации и в конечном итоге обеспечения безопасности и эффективности ведения открытых горных работ.

Проводимые на карьерах исследования должны включать систематические визуальные и инструментальные маркшейдерские наблюдения за состоянием устойчивости карьерных откосов.

## 2. Методы наблюдений за деформациями бортов карьеров

Для изучения состояния устойчивости бортов карьеров наиболее широкое применение в практике получили две методики инструментальных наблюдений:

1. Методика контрольных точек (аналитических сетей).
2. Методика профильных линий.

Первой из них отдается предпочтение для ведения мониторинга состояния бортов в целом. Вторая методика реализуется на участках, заслуживающих по определенным причинам особого внимания.

### *Методика контрольных точек (аналитических сетей)*

Методика контрольных точек или аналитических сетей заключается в определении относительно опорных пунктов трехмерных координат (X, Y, H) рабочих реперов станции (контрольных точек), расположенных у верхней бровки борта через определенные промежутки вдоль всего периметра карьера (рис. 2).

Ориентировочное количество контрольных точек определяется из расчета:

$$n = \frac{P}{(1 \div 1,5)H},$$

где P – периметр карьера в проектном положении, м;

H – предельная глубина карьера, м.

Места расположения контрольных точек следует увязывать с наиболее характерными участками бортов карьера (значительная высота, крутой угол погашения, наименее устойчивые участки, расположение на прибортовой полосе объектов промплощадки, отвалов и т.д.).

Наблюдения по контрольным точкам могут осуществляться традиционными методами наземной геодезии (построение аналитических сетей, полигонометрия, геодезические засечки) и с применением современных спутниковых навигационных систем.

Инструментальные наблюдения за положением контрольных точек методами наземной геодезии производятся с использованием электронных тахеометров или аналогичных им по точности теодолитов и светодальномеров.

Применение спутниковых технологий для наблюдений по контрольным точкам является более предпочтительным, потому что позволяет избежать сложностей, связанных с отсутствием прямой видимости между определяемыми и опорными реперами наблюдательной станции. Вместе с тем это дает возможность независимого определения координат каждой точки без создания общей сети, что вносит гибкость в организацию наблюдений. Кроме того, методика обладает достаточной простотой технологии полевых работ и относительно небольшим объемом камеральной постобработки, значительно облегчаемой наличием соответствующих программных комплексов. Все это позволяет повысить эффективность проведения инструментальных наблюдений по станции.

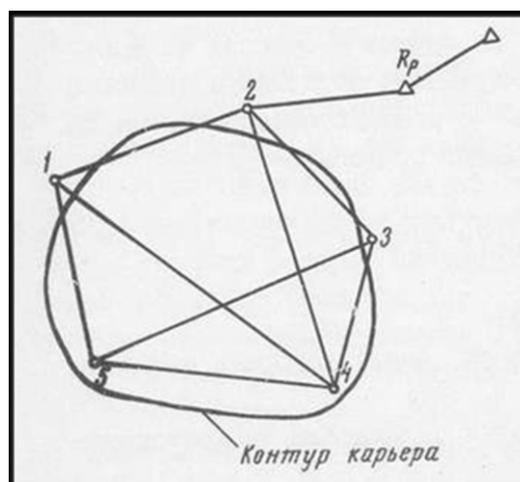


Рис. 2. Схема расположения рабочих и опорных реперов

Наблюдения осуществляются дифференциальным методом позиционирования, предполагающим одновременные измерения двумя или более приемниками. Один приемник (база) располагается на опорном репере с известными координатами, а еще один приемник (ровер) поочередно устанавливается на все определяемые точки наблюдательной станции.

Для наблюдений используются геодезические спутниковые двухчастотные GPS/GNSS-приемники, паспортная точность которых позволяет получать координаты с указанной точностью. Данные полевых наблюдений переносятся с приборов в компьютер, где производится их обработка в соответствующих программных комплексах. Результатом обработки являются трехмерные координаты контрольных точек ( $X$ ,  $Y$  и  $H$ ).

Сравнительный анализ последовательных серий наблюдений позволяет определять величины деформаций: смещения точек по осям координат, вектор горизонтального смещения, полный вектор смещения, скорость смещения. Полученные данные оформляются в табличном виде, для наглядности строятся соответствующие графики и схемы смещений точек.

Результаты наблюдений позволяют судить о состоянии устойчивости бортов карьера и в случае выявления деформационных процессов организовывать мониторинг их протекания. На участках, где фиксируются подвижки контрольных точек, производится развитие наблюдательной сети в виде профильных линий.

### Методика профильных линий

Методика инструментальных наблюдений по профильным линиям различается в зависимости от условий закладки рабочих реперов и может заключаться в следующем:

1. Рабочие реперы профильной линии, закладываемые на бермах в карьере и (или) на отвале (поверхность, характеризующаяся крутыми углами наклона). Определение высотных отметок реперов проводится тригонометрическим нивелированием. Наблюдения в горизонтальной плоскости заключаются либо в определении координат рабочих реперов в плане (X и Y), либо сводятся к измерению расстояний от опорного до каждого рабочего репера (рис. 3).

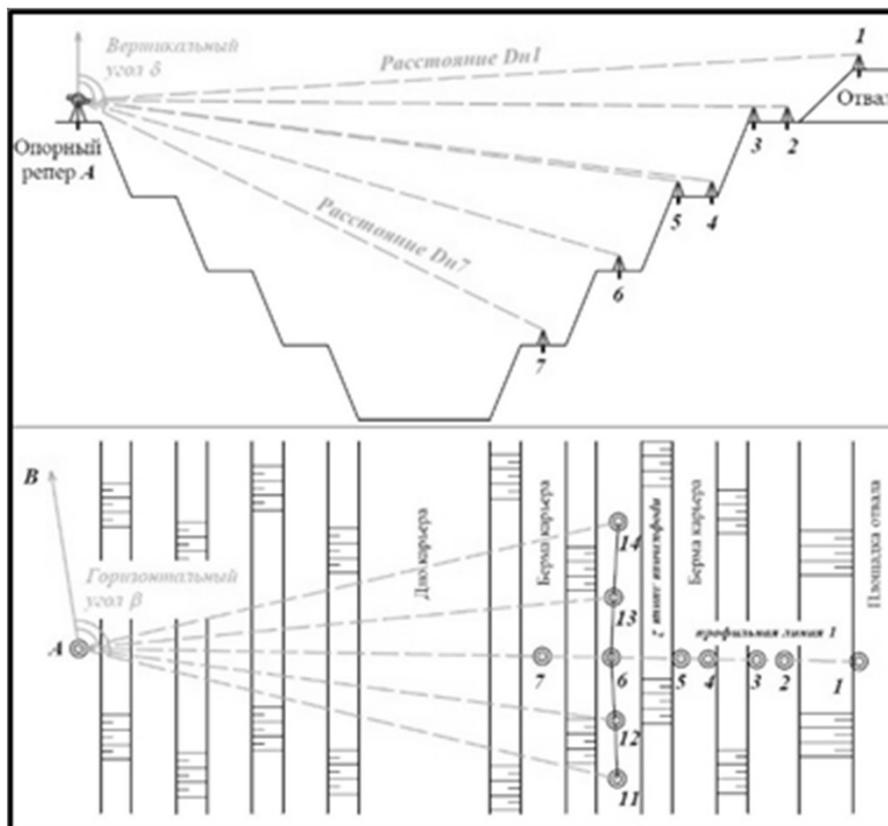


Рис. 3. Схема наблюдений по профильным линиям

2. Рабочие реперы профильной линии, закладываемые на прибортовой поверхности при благоприятных условиях наблюдений (обеспечивается прямая видимость по створу линии и незначительные углы наклона поверхности). Наблюдения проводятся традиционными методами, включающими измерение длин интервалов между реперами с использованием тахеометра или стальной компарированной рулетки, и определение высотных отметок реперов путем геометрического нивелирования.

3. Рабочие реперы, закладываемые на прибортовой поверхности как при благоприятных условиях наблюдений, так и при неблагоприятных (отсутствие прямой видимости между реперами). Рекомендуется проводить наблюдения с применением спутниковых навигационных систем для определения трехмерных координат реперов.

Основными недостатками методики наблюдений по профильным линиям являются невозможность обеспечения доступности и сохранности реперов, расположенных на бермах в карьере (что особенно характерно для деформирующихся участков), высокая трудоемкость (большой объем полевых работ и камеральных вычислений). К тому же данный метод применим для изучения локального небольшого участка.

С появлением наземных сканирующих устройств данная задача стала решаться быстрее и проще. Использование систем наземного лазерного сканирования для наблюдений за де-

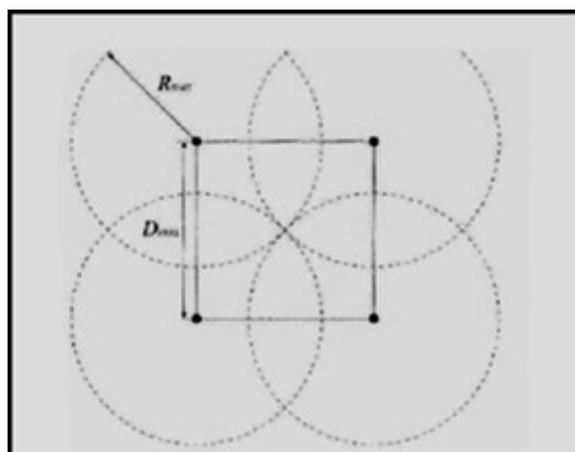
формациями бортов карьеров дает более полную картину ситуации и позволяет объемно оценить степень деформирования любого участка борта и карьера в целом.

Принцип тотальной съемки объекта, а не его отдельных точек характеризует наземное лазерное сканирование (НЛС) как съемочную систему, результатом работы которой является трехмерное изображение или так называемый скан. Формой представления результатов наземного лазерного сканирования является массив точек лазерных отражений от объектов, находящихся в поле зрения сканера, с пятью характеристиками, а именно пространственными координатами ( $X, Y, Z$ ), интенсивностью и реальным цветом. Полученные облака точек в специальной программной среде объединяются в единую систему координат, и в результате формируется единая высоко-детальная точечная трехмерная модель карьеров.

Лазерное сканирование предполагает съемку рельефа или объекта с определённым шагом, вплоть до 1 см. Соответственно, для качественной аппроксимации объекта изысканий, например, характерных точек поверхности карьера, необходимо выбирать такой шаг сканирования, при котором обеспечивается захват всех необходимых деталей. Уменьшение шага сканирования приводит к значительному повышению плотности исходных данных.

Как правило, сканирование объекта выполняется с нескольких станций. Используя методы классической геодезии, данные лазерного сканирования приводятся к единой системе координат. В зависимости от условий одним сканером за один день на объекте можно выполнить несколько десятков станций. На каждой станции в автоматическом режиме выполняются десятки миллионов измерений объекта с точностью 2-5 мм. Миллиметровая плотность покрытия измерениями (точками) позволяет детализировать в итоговой съёмке (облаке точек) даже самые малые элементы объекта.

НЛС устанавливается в съемочных точках (реперах), имеющих координаты. В случаях, когда область сканирования не попадает в зону покрытия сканера, допустима установка в удобном для сканирования месте. Зона перекрытия смежных станций сканирования должна быть не менее 30%. Места расположения станций сканирования выбираются исходя из радиуса действия сканера, оптимального охвата сканируемого объекта и необходимого перекрытия сканов (рис. 4). Выбор опорных съемочных точек не отличается от традиционной методики, но время, необходимое для полевых работ, как правило, сокращается на порядок.



Условные обозначения:

- – места расположения станций сканирования;
- – область действия сканера;
- $R_{max}$  – максимальный радиус действия сканера;
- $D_{max}$  – допустимое расстояние между точками установки сканера.

Рис. 4. Выбор оптимального расположения станций сканирования

Установка НЛС является важным этапом и требует большой внимательности. НЛС устанавливается на штатив, выровненный по горизонтали, точно по центру съемочной точки (репера). Конструкция должна быть устойчива, так как любое изменение положения во время работы НЛС приведет к ошибочным данным в отчете. Особое внимание уделяется замеру высоты инструмента, неправильное определение которой также приведет к ошибочным данным.

Обработка данных лазерного сканирования включает фильтрацию данных, то есть удаление точек, не принадлежащих моделируемому объекту (карьеру). Далее создается цифровая модель рельефа в виде поверхности, представленной сетью треугольников (MESH-поверхность), которая и является конечным продуктом наземного лазерного сканирования карьеров.

Сравнительный анализ моделей, полученных из последовательных серий, дополняет наблюдения по контрольным точкам, позволяя проследить протекание деформаций по всей сканируемой площади.

Основное преимущество лазерных сканирующих систем перед электронными безотражательными тахеометрами – скорость работы. Очевидно, что лазерное сканирование быстрее и информативнее, чем большинство существующих методов измерений, но учитывая стоимость данных систем, ограниченный круг решаемых задач, необходим анализ эффективности их применения.

### **3. Наблюдения за деформациями на карьере Камаган**

В 2020 году сотрудниками института «Уралмеханобр» был выполнен проект реконструкции наблюдательной станции за состоянием бортов Камаганского карьера в фактических условиях доработки месторождения подземным способом.

При составлении проекта инструментальных наблюдений учитывался опыт внедрения современных высокотехнологичных приборов и соответствующих методик проведения маркшейдерских съемок, позволяющих существенно повысить полноту и качество представлений о предмете исследований, сокращая при этом объемы полевых изысканий и последующей камеральной обработки.

Целью составления проекта являлась разработка основных методических положений по реконструкции наблюдательной станции и организации инструментальных наблюдений за деформациями бортов карьера, а также за состоянием расположенных на поверхности объектов, подлежащих охране от негативного влияния подземных горных выработок.

Отработка Камаганского месторождения открытым способом началась в 1999 году и практически сразу же, в конце 2000 года, на восточном и юго-восточном бортах карьера были зафиксированы первые деформации. В 2002 году на данном участке зафиксирован оползень. В феврале 2008 года произошла активизация деформаций в виде значительных просадок прибортовой поверхности. Происходящие подвижки привели к деформированию опор ЛЭП в виде их наклона к вертикальной оси и просадкам нитки газопровода.

Открытые горные работы в карьере завершены в 2010 году, а доработка запасов руд месторождения ведется подземным способом. Для вскрытия подземных горизонтов в карьере заложен ряд штолен, доступ к которым осуществляется по карьерному съезду. Поэтому сохранность бортов карьера не теряет своей актуальности.

Инструментальные наблюдения проводились по реперам наблюдательной станции, которая включала в себя несколько профильных линий, расположенных на участках деформаций и характерных участках карьера. На рис. 5 представлена схема наблюдательной станции карьера Камаган до реконструкции.

В изменяющихся горнотехнических условиях существующая наблюдательная станция Камаганского карьера не давала полной и достоверной информации о состоянии устойчивости бортов, так как инструментальные наблюдения велись на разрозненных (локальных) участках, и к тому же большая часть реперов наблюдательной станции была утрачена. В результате возникла необходимость в реконструкции наблюдательной станции, предполагающей

внедрение методик, основанных на применении современного геодезического оборудования для более детального изучения влияния подземных горных работ на состояние устойчивости бортов карьера и охраняемых объектов, находящихся в зоне подработки.

Проектом наблюдательной станции на карьере Камаган была предусмотрена организация комплекса инструментальных маркшейдерских наблюдений:

1. Инструментальные наблюдения за устойчивостью прибортовой зоны карьера по контрольным точкам с применением спутниковых навигационных систем.
2. Наблюдения за деформациями бортов карьера и прилегающей территории с применением наземного лазерного сканирования.



Рис 5. Схема наблюдательной станции до реконструкции

Методика наблюдений была выбрана исходя из имеющегося оборудования, позволяющего обеспечить детальный контроль за всеми участками бортов, включая недоступные (лазерный сканер RIEGL VZ-1000, GNNS – приемники Trimble R8).

Инструментальные наблюдения для оценки общего состояния устойчивости бортов ведутся по контрольным точкам, закладываемым с необходимой частотой вдоль всего периметра карьера. Проектная схема расположения точек показана на рис. 6. В состав станции принимаются все существующие точки, а также для полноты охвата бортов мониторинговыми наблюдениями закладываются дополнительные.

Методика инструментальных наблюдений по контрольным точкам предполагает систематическое определение с применением спутниковых технологий их трехмерных координат относительно исходного (опорного) пункта, расположенного за зоной негативного влияния горных разработок.

Высокоточное наземное сканирование с применением лазерного сканера выполняется для дистанционного мониторинга деформаций бортов карьера и локальных участков прибортовых территорий. Данный вид наблюдений дополняет предыдущую методику и позволяет проследить развитие деформаций по всей площади исследуемого объекта.

В текущем 2020 году сотрудниками института «Уралмеханобр» был выполнен комплекс инструментальных мониторинговых наблюдений за состоянием устойчивости бортов Камаганского карьера, включая спутниковые наблюдения по контрольным точкам, располо-

женным на прибортовой поверхности, и наземное лазерное сканирование чаши карьера и прибортовой поверхности. Весь комплекс наблюдений был разделен на два этапа, первый из которых был реализован в июне, а второй – в октябре.



Рис. 6. Схема наблюдательной станции карьера Камаган

По результатам первой серии инструментальных наблюдений, проведенной в июне, были получены исходные трехмерные координаты всех точек станции и сформирована исходная трехмерная модель карьера (рис. 7). Полученная высокодетальная трехмерная модель карьера позволяет фиксировать деформационные процессы на начальной стадии в любой точке карьера (рис. 8-9).

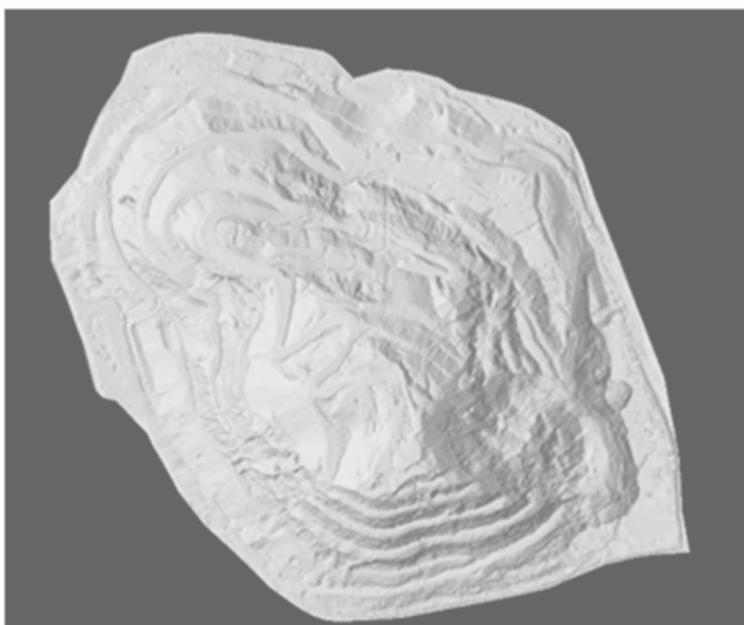


Рис. 7. Трехмерная модель карьера Камаган

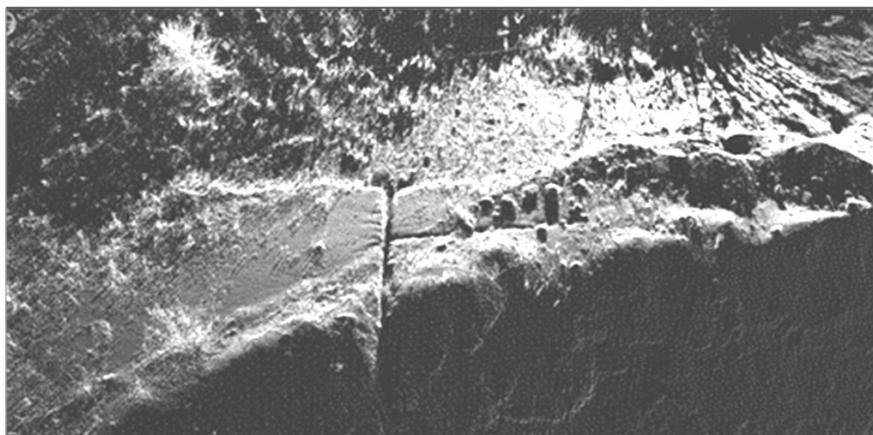


Рис. 8. Деформация в виде трещины отрыва на берме



Рис. 9. Деформация в виде закола с просадкой

В октябре был выполнен сравнительный анализ координат контрольных точек станции и трехмерных высокодетальных моделей, полученных по данным двух последовательных серий наблюдений.

По контрольным точкам были зафиксированы незначительные изменения в их положении. Для получения более полной информации, позволяющей делать выводы о наличии или отсутствии тренда в смещениях точек, инструментальные наблюдения необходимо продолжить. Согласно требованиям нормативных документов [1, 2] периодичность наблюдений устанавливается два раза в год.

В результате сравнения двух серий наземного лазерного сканирования были выявлены участки бортов, подверженные деформированию (рис. 10, 11). Желтым цветом на рисунках выделены участки, где активно протекают деформации в виде просадок и вывалов, а голубым – участки, где деформации происходят в виде осыпей и выпирания. Данный вид мониторинговых наблюдений позволяет проследить характер и интенсивность протекания деформаций по всей площади карьера, выявить границы их распространения.

Таким образом, мониторинговые наблюдения, реализованные на Камаганском карьере и предполагающие внедрение современных методик измерений (спутниковые наблюдения по контрольным точкам и наземное лазерное сканирование), позволяют при небольших объемах полевых и камеральных работ формировать достаточно точное и детальное представление о фактическом состоянии устойчивости бортов карьера и их участков, характере протекания и границах распространения деформационных процессов. Это позволяет повысить представительность результатов мониторинговых исследований и оперативность их проведения, обеспечивая тем самым безопасность работы в карьере в условиях доработки месторождения подземным способом.

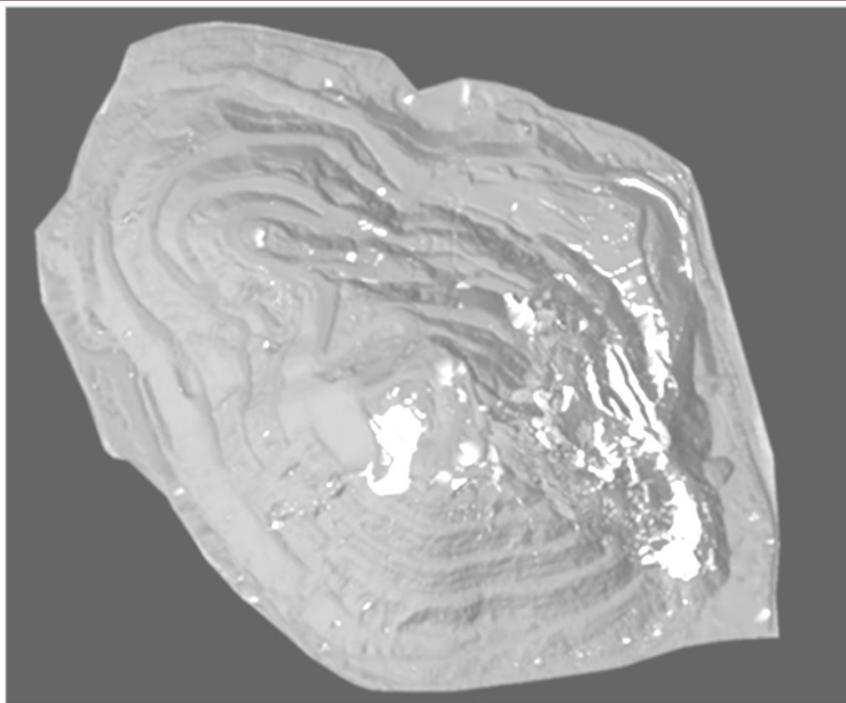


Рис. 10. Изменение контура карьера по данным сравнения двух серий лазерного сканирования (общий вид)

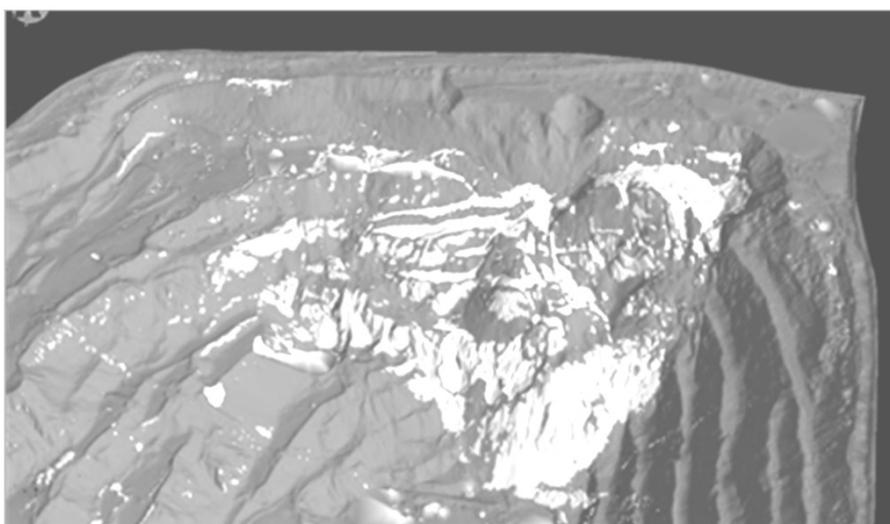


Рис. 11. Изменение контура карьера по данным сравнения двух серий сканирования (деформации юго-восточного борта)

Организация инструментальных мониторинговых наблюдений – это работа, требующая комплексного научного подхода, обеспечивающая своевременное решение задач по обеспечению безопасности работ на карьерах.

Основной задачей организации, осуществляющей разработку проектов наблюдений, является профессиональное совмещение возможностей современной техники, позволяющей за короткий период полевых работ получить исчерпывающий результат, обеспечивающий предупреждение деформационных процессов на ранней стадии.

В проект мониторинга деформаций на карьере Камаган в общую систему наблюдений включены: инструментальные наблюдения системой спутниковой навигации по жестко зафиксированным вдоль периметра карьера реперам (точкам) и высокодетальное, трехмерное лазерное сканирование чаши карьера.

Такая технология позволяет с миллиметровой точностью фиксировать изменения в положении реперов и объемно оценивать изменения контура всего карьера, что в совокупности позволяет получить детальные данные о деформациях в любом месте карьера.

#### **Список литературы**

1. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1971.
2. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов карьеров и отвалов, интерпретация их результатов и прогнозу устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1987.

#### **Сведения об авторах**

**Андреева Оксана Николаевна**, старший научный сотрудник Лаборатории Устойчивости бортов карьеров и сдвижения горных пород, АО «Уралмеханобр» г. Екатеринбург, e-mail: [golovina\\_on@umbr.ru](mailto:golovina_on@umbr.ru)

**Кольцов Павел Викторович, к.т.н.**, заведующий Лабораторией Устойчивости бортов карьеров и сдвижения горных пород, АО «Уралмеханобр» г. Екатеринбург, НЧОУ ВО «ТУ УГМК», e-mail: [Kpavel@umbr.ru](mailto:Kpavel@umbr.ru)

**Иванов Юрий Станиславович**, ведущий научный сотрудник Лаборатории Устойчивости бортов карьеров и сдвижения горных пород, АО «Уралмеханобр» г. Екатеринбург, e-mail: [ivanov\\_us@umbr.ru](mailto:ivanov_us@umbr.ru)

**Смяткин Алексей Николаевич**, главный маркшейдер Сибайского филиала АО «Учалинский ГОК», г. Сибай, e-mail: [ANSmyatkin@sfugok.ru](mailto:ANSmyatkin@sfugok.ru)

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ СЪЕМКИ СКЛАДОВ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО НА КАРЬЕРАХ

Литвиненко Н.В., Маврин Ю.Д., Ишкинин Е.В.

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные способы съемки открытых складов полезного ископаемого. Приведена их краткая характеристика, достоинства и недостатки, область применения. Для условий открытого склада выполнена съемка различным геодезическим оборудованием, определен его объем.

**Ключевые слова:** склад руды, объем склада, способы съемки, тахеометры, GNSS-приемники.

На горнодобывающих предприятиях готовая продукция складывается на открытых площадках или в помещении - закрытых складах. Объем складов определяется ежемесячно. Для этого фиксируют фактическое положение контура отвала полезного ископаемого с помощью маркшейдерских съемок. Затем по результатам съемки с помощью программного обеспечения устанавливают объем полезного ископаемого [1-3].

В зависимости от формы и сложности отвала полезного ископаемого, его расположения (открытый или закрытый), наличия возможных препятствий применяют различные технологии: традиционные маркшейдерские технологии с применением оптических и электронных тахеометров и лазерных дальномеров, GNSS-технологии, лазерное сканирование, аэрофото-съемка.

Оптические теодолиты удобны к применению в открытых и закрытых складах простой геометрической формы. Достоинствами являются хорошая изученность, низкая стоимость, надежность. Основными недостатками - высокая трудоемкость проведения съемки и последующих расчетов, низкая информативность, зависимость от погодных условий, подсчет объема отвала выполняется классическими способами вертикальных сечений или среднего арифметического.

Недостатки оптических тахеометров устраняются применением электронных тахеометров. В программное обеспечение прибора, помимо выполнения съемки контура, установлена возможность измерения недоступных расстояний и высот. Точность определения положения объектов съемки зависит от технических параметров тахеометра. Область применения: склады открытые и закрытые простой геометрической формы, наличие небольших препятствий не влияет на съемку контура. Появление приборов такого класса позволило повысить их эффективность, время выполнения съемок и обработки результатов, уменьшить трудозатраты. Из недостатков электронных тахеометров можно отметить относительно высокую стоимость оборудования, зависимость от погодных условий, относительную небезопасность выполнения работ.

Использование для съемок глобальных спутниковых систем позиционирования (GNSS-технологий) позволяет обеспечить: полную независимость измерений от времени года и суток; оперативность, автоматизацию, высокую точность измерений (погрешность порядка нескольких сантиметров). Недостатки: невозможность проведения измерений в закрытых помещениях (складах), нестабильный сигнал спутников при производстве съемок на перегруженных складах, расположенных на горизонтах карьера, необходимость использования дополнительного оборудования для фиксации положения верхней бровки отвала. Область применения: открытые склады, размещенные на земной поверхности, любой геометрической формы, без препятствий для прохождения сигналов со спутников.

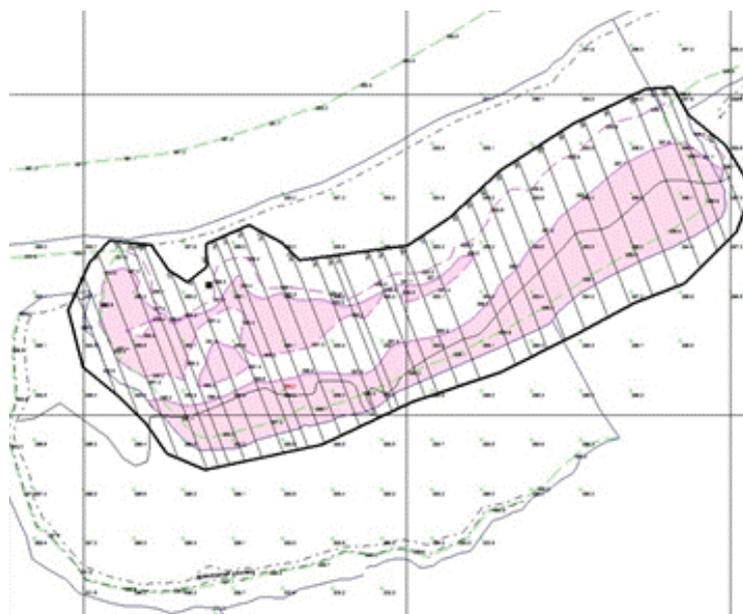
При выполнении съемок тахеометрами и GNSS-приемниками происходит фиксация положения характерных точек отвала полезного ископаемого с шагом до 10-15 м. В процессе наземного лазерного сканирования с высокой скоростью измеряются расстояния от сканера до точек объекта и регистрируются вертикальные и горизонтальные углы. Система выполняет тотальную съемку объекта, а не отдельных его точек, и результатом ее работы является

трехмерное изображение отвала. Достоинствами лазерного сканирования являются: возможность трехмерной визуализации объектов на момент съемки; высокая точность измерений; безопасность исполнителя при съемке на труднодоступных и опасных участках; высокая производительность съемки и степень детализации результатов сканирования. К недостаткам относятся: чрезвычайно большой и, как правило, избыточный объем получаемой информации; высокая стоимость проведения работ; зависимость от метеоусловий; ограничения по дальности сканирования. Область применения: открытые склады любой геометрической формы.

При съемке открытого склада для получения его трехмерной модели необходимо выполнить съемку минимум с двух-трех опорных пунктов. На закрытых складах лазерное сканирование затруднительно. На сегодняшний день разработаны решения по использованию мобильного лазерного сканирования Heron Lite, Geoslam, Leica и аналоги. Лазерная сканирующая система небольших габаритов и массы, удобно размещается в руках, позволяет в режиме реального времени выполнить съемку отвала, пройдя по его периметру. Привязка к пунктам опорной сети осуществляется в процессе съемки. Данное решение позволит ускорить производство съемки для условий открытых складов и сделать возможным сканирование закрытых складов.

Все большее применение сегодня находит съемка с использованием беспилотных летательных аппаратов с установленными GNSS-приемниками, выполняющих фотографирование участка местности (карьера) цифровыми фотокамерами высокого разрешения. Съемка происходит на небольших высотах. Достоинства: эффективное использование для труднодоступных и небезопасных объектов, возможность использования для съемки больших площадей, достоверность и высокая точность получения результатов за счет техники и методов обработки, возможность изучения движущихся объектов и быстропротекающих процессов. Недостатки: зависимость от метеорологических условий, сложная структура организационных работ, необходимость большой вычислительной мощности для обработки данных с использованием персональных компьютеров. Область применения: открытые склады, с небольшим количеством помех для производства съемок.

Выполнена съемка открытого склада полезного ископаемого, план которого изображен на рисунке.



План открытого склада полезного ископаемого

Для производства съемок использованы следующие способы:

- тахеометрическая съемка электронным тахеометром Leica TS06 plus Arctic 5";
- комбинированная съемка электронным тахеометром Leica TS06 plus Arctic 5" (для съемки верхней бровки отвала) и двухчастотных GNSS-приемников (для съемки нижней

бровки отвала), работающих в режиме реального времени (RealTimeKinematic): передвижным приемником (Leica GS08) от базового (Leica GR10). Объем полезного ископаемого для данных двух способов съемки определен способом вертикальных сечений в программном комплексе ГИС ГЕОМИКС;

- лазерное сканирование системой Leica HDS4400 с подсчетом объема в программном обеспечении I-Site Studio;
- аэрофотосъемка DJI PHANTOM 4 Pro с обработкой данных в программном комплексе Agisoft Metashape и подсчетом объемов в Credo Генплан.

Результаты определения объема склада полезного ископаемого приведены в таблице.

Способ съемки	Объем склада, м <sup>3</sup>	Разность независимых определений, %
Тахеометрическая	82087	5,1
Комбинированная	82190	4,9
Лазерное сканирование	84718	2,1
Аэрофотосъемка	84845	1,9

Для оценки точности определения объема склада полученная величина сравнивалась с данными оперативного учета, согласно которым объем полезного ископаемого составил 86500 м<sup>3</sup>.

Анализируя результаты подсчета объемов склада полезного ископаемого, можно сделать вывод, что использование лазерного сканирования и аэрофотосъемки, за счет составления детальной трехмерной модели склада, по точности определения объема, удовлетворяют требованиям Инструкции [4]. Применение тахеометрической съемки и комбинированного способа рационально для условий складов простой геометрической формы. Кроме того, при выборе способа съемки склада необходимо учитывать разницу в величине капитальных и эксплуатационных затрат для каждого вида применяемого оборудования, трудозатрат на выполнение съемок и расчета объема.

#### **Список литературы**

1. Съемка складов полезных ископаемых аэрофотограмметрическим способом при помощи БПЛА / Маврин Ю.Д., Литвиненко Н.В., Романько Е.А., Картунова С.О. Маркшейдерия и недропользование. № 4(108). 2020. С.51-54.
2. О повышении точности маркшейдерских замеров объемов горной массы в современных условиях / Платоненко С.М., Белячков С.В., Кольцов П.В., Волков П.В. // Актуальные проблемы горного дела. №6. 2018. С. 10-18.
3. Анализ применяемых методов мониторинга за деформациями бортов карьеров / Колесатова О.С., Романько Е.А., Литвиненко Н.В., Маврин Ю.Д. // Актуальные проблемы горного дела. №7. 2019. С. 3-7.
4. Инструкция по маркшейдерскому учету объемов горных пород при добыче полезных ископаемых открытым способом (РД 07-604-03). Сер. 07. Вып. 13. М.: ФГУП «Науч.-техн. центр по безопасн. в промышл. Госгортехнадзора России», 2004.

#### **Сведения об авторах**

**Литвиненко Николай Валерьевич** - ст. преподаватель кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: [lini\\_89@mail.ru](mailto:lini_89@mail.ru)

**Маврин Юрий Дмитриевич**, горный инженер – маркшейдер, ООО «Магнитогорский маркшейдерско-геодезический центр», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: [mavrinyurii@mail.ru](mailto:mavrinyurii@mail.ru)

**Ишкинин Евгений Владимирович**, студент группы ГД-16-1, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

## ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСА МЕХАНИЗАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ С ОБРУШЕНИЕМ РУДЫ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Красавин А.В. Иванов В.А., Пудовкин Н. Е., Каримов Р.А.

**Аннотация.** Применение системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород обуславливает необходимость применения высокопроизводительных комплексов самоходного оборудования. Механизация основных горнопроходческих и очистных работ напрямую определяет производительность выемочного участка. В связи с этим работа направлена на выбор и обоснование оптимального комплекса горнотехнического оборудования при очистной выемке системой разработки с обрушением руды и вмещающих пород.

**Ключевые слова:** комплекс горнотехнического оборудования, обрушение руды и вмещающих пород, механизация горнопроходческих и очистных работ.

Освоение месторождений системой разработки с обрушением руд и вмещающих пород на многих отечественных и зарубежных подземных рудниках характеризуется широким использованием самоходного бурового, погрузочно-доставочного и вспомогательного оборудования, что позволяет достигнуть высоких показателей производительности труда. Производительность добычного участка является одним из основных показателей разработки, определяющего в большей степени экономическую эффективность его отработки [2, 5].

Комплекс механизации очистных работ при отработке залежи системой разработки с обрушением предполагает применение исключительно самоходного оборудования: ПДМ, автосамосвалов и буровых установок.

Выделяется четыре основных типоразмера ковшовых ПДМ на очистных работах при применении камерных систем разработки (табл. 1).

Таблица 1  
Типоразмер ковшовых ПДМ при камерных системах разработки

Номер комплекса	Вместимость ковша ПДМ, м <sup>3</sup>	Сечение выработки, м <sup>2</sup>	Производительность блока, тыс. т/год	Расстояние доставки*, м
1	1-1,5	до 6	50-100	до 70
2	1,5-2,0	6-8,5	100-150	до 100
3	2,5-4,0	8,5-12	200-250	до 200
4	4,0-6,0	12-16	250-400	до 400

\* - При длине доставки более 400 м применяется автосамосвал в комплексе с погрузочно-доставочной машиной.

Подбор оборудования в состав комплексов механизации осуществлялся на основании его надежности в работе и распространенности на отечественных предприятиях, ведущих разработку медноколчеданных руд. Наибольшее распространение на выпуске отбитой рудной массы получили погрузо-доставочные машины типа «TORO-Sandvik», «Kawasaki», «Tamrock», на транспортировании – «MoA3», «TORO-Sandvik». При проходке горных выработок применяется современное самоходное буровое оборудование – буровые каретки фирмы «Tamrock-Sandvik». Основная часть запасов камер обустраивается веерами скважин диаметром 89, 105 и 110 мм. Скважины бурят буровыми установками «Simba», «Solo». Зарядка скважин производится пневмозарядчиками с применением гранулированного ВВ типа гранулит АС8 и граммонт 79/21.

С учетом наиболее распространенных погрузочно - доставочных машин предлагается к использованию три типоразмерных комплекса погрузочно - доставочного оборудования и соответствующая минимальная ширина подготовительных выработок (табл. 2). Горная масса из очистных и горнопроходческих забоев отгружается погрузочно-доставочными машинами и перегружается в подземные автосамосвалы на перегрузочных пунктах.

Таблица 2

Рекомендуемые комплексы доставочного оборудования

Номер комплекса	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	Ширина выработки, мм (не менее)	Производительность, т/ч	Рекомендуемый тип оборудования
1	1,3-2,0	2480	70 – 150	TORO 151, ST-2A
2	2,7-3,3	2900	150 – 260	TORO 300, ST-4A
3	4,5-7,0	3540	360 – 560	TORO 500, ST-5

С учетом всего вышеперечисленного предлагается четыре вида комплекса оборудования при применении варианта системы разработки этажного обрушения [4, 5]. Каждый комплекс оборудования может применяться согласно принятой производительности блока и длине доставки:

1. Первый комплекс. Буровая каретка+Буровая установка+ПДМ (1,3-2,0 м<sup>3</sup>): применяется при производительности блока 50 – 100 тыс.т/год и длине доставки до 70м. Минимальная ширина доставочного штрека и погрузочного заезда составляет 2480 мм.

2. Второй комплекс. Буровая каретка+Буровая установка+ПДМ (2,7-3,3 м<sup>3</sup>): применяется при производительности блока 200-250 тыс.т/год и длине доставки до 200 м. Минимальная ширина доставочного штрека и погрузочного заезда – 2900 мм.

3. Третий комплекс. Буровая каретка+Буровая установка+ПДМ (4,5-7,0 м<sup>3</sup>): применяется при производительности блока 250-400 тыс.т/год и длине доставки до 400 м. Минимальная ширина доставочного штрека и погрузочного заезда – 3540 мм.

4. Четвертый комплекс. Буровая каретка+Буровая установка+ПДМ (4,5-7,0 м<sup>3</sup>)+Автосамосвал: применяется при любой производительности блока и длине доставки более 400 м. Минимальная ширина доставочной выработки составляет 3540 мм.

Определение производительности ПДМ при разной длине доставки рудной массы в зависимости от конструктивных параметров системы разработки определяется по графику на рис. 1. При сопоставлении расчетной производительности ПДМ с фактической установлена разница в 10-15% [6]. Поэтому эксплуатационную производительность ПДМ целесообразно принимать ниже на 10-15%.

График на рис. 2 применяется для определения сменной производительности бурильной установки и времени затрачиваемого на обустройство секции.

В комплекс работ по подземной отработке участка рудного тела входят такие производственные стадии, как подготовка и нарезка блока, очистная выемка и управление горным давлением. Все процессы, входящие в очистную выемку, должны быть увязаны в технологическом цикле как по времени, так и по типоразмерам применяемых комплексов оборудования.

Система разработки с обрушением руды и вмещающих пород включает в себя следующие конструктивные элементы: выработки вентиляционного горизонта; доставочный орт; доставочный штрек; погрузочные заезды; вентиляционно-ходовой восстающий.

Производительность блока зависит от конструктивных параметров системы разработки и принятой схемы развития фронта горных работ. Типоразмер комплекса самоходного оборудования зависит от необходимой производительности обрабатываемой секции, ее размеров, крепости руды, а также длины доставки. В табл. 3 приведены рекомендации по требуемому оборудованию в зависимости от вышеперечисленных условий.

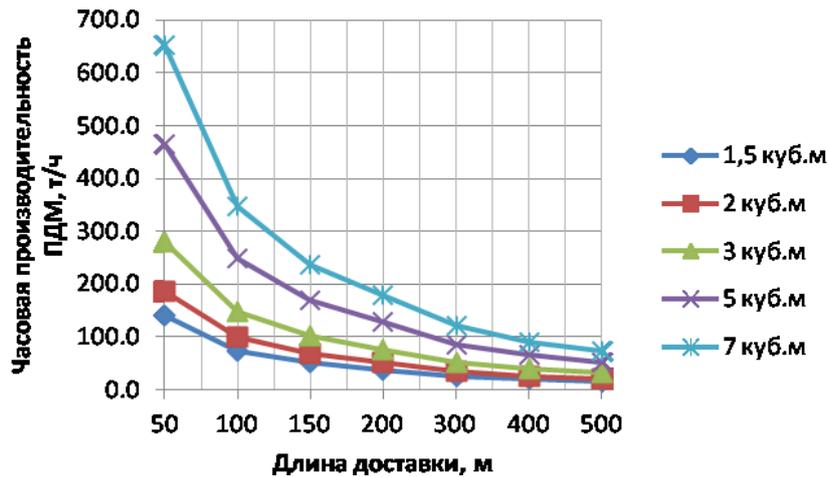


Рис. 1. Часовая производительность ПДМ с различным объемом ковша в зависимости от длины транспортирования

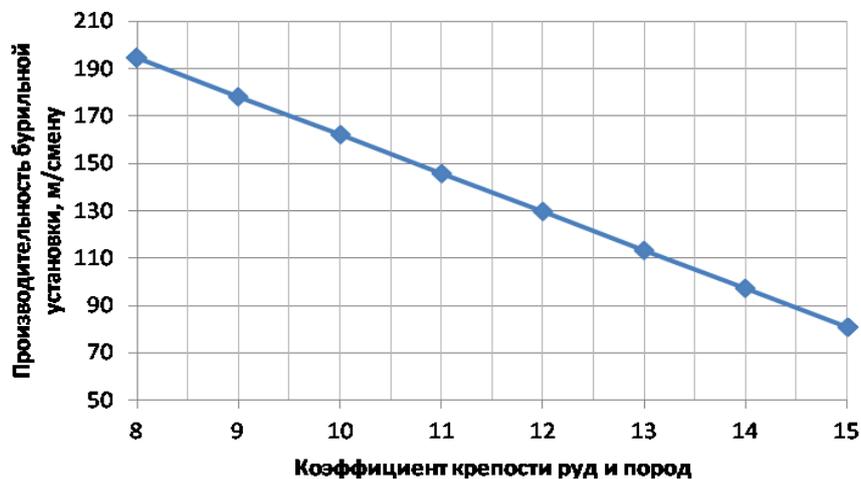


Рис. 2. Зависимость сменной производительности буровой установки от коэффициента крепости руд и пород

Комплекс механизации очистных работ при применении системы разработки с обрушением руд и вмещающих пород предполагает применение самоходного оборудования. В результате оценки технологических возможностей оборудования, получившего распространение на уральских рудниках, к применению рекомендуется комплекс механизации очистных работ, включающий: ПДМ TORO-500, автосамосвал Sandvik-417, буровую установку SOLO 7-10С.

Таблица 3  
Выбор самоходного доставочного оборудования в зависимости от производительности блока и длины доставки

Производительность секции, тыс.т/год	Длина доставки, м			
	до 70	до 200	до 400	более 400
50-100	ПДМ 1,3 м <sup>3</sup>	ПДМ 2,7 м <sup>3</sup>	ПДМ 4,5 м <sup>3</sup>	ПДМ 4,5-7,0
200-250	ПДМ 1,5 м <sup>3</sup>	ПДМ 3,0 м <sup>3</sup>	ПДМ 6,0 м <sup>3</sup>	ПДМ 4,5-7,0+автосамосвал
250-400	ПДМ 2,0 м <sup>3</sup>	ПДМ 3,3 м <sup>3</sup>	ПДМ 7,0 м <sup>3</sup>	ПДМ 4,5-7,0+автосамосвал

Таким образом, при применении системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород производительность выемочного участка основывается на производительности и времени буровых работ и не зависит от длины доставки, так как доставка осуществляется автономно от буровых работ. Время выпуска рудной массы при этом принимается равным времени бурения, за счет выбора оптимального погрузо-доставочного оборудования и в расчете времени цикла не принимается. Расчет производился исходя из условия: одна секция в подготовке и одна в очистной выемке и работе одного очистного комплекса. При этом производительность выемочного участка может достигать 250 тыс.т/год. При увеличении производительности необходимо иметь большее число секций в подготовке и очистной выемке, т.е. принимать необходимую схему развития фронта горных работ в пределах выемочного участка в зависимости от требуемой производительности.

### **Список литературы**

1. Баранов А.О. Проектирование технологических схем и процессов подземной добычи руд: справочное пособие - М.: Недра, 1993. 283 с.:ил.
2. Баранов А.О., Уразов Д.К., Сагиев Г.Т. Эффективная технология подэтажного обрушения с торцевым выпуском в малоустойчивых рудах // Горный журнал. 1992. №8. С. 36-39.
3. Малахов Г.М. Выпуск руды из обрушенных блоков. М., 1952.
4. Мажитов А.М., Мещеряков Э.Ю. Определение параметров и показателей адаптивного варианта системы разработки с площадно-торцевым выпуском для условий отработки пологих залежей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 2 (42). С. 5-8.
5. Мажитов А.М., Голяк С.А. Перспективы применения системы разработки подэтажного обрушения в качестве альтернативы системам разработки с закладкой // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S4-2. С. 48-53.
6. Мажитов А.М. Обоснование параметров технологии отработки пологих медноколчеданных месторождений с обрушением руды и вмещающих пород: дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Магнитогорск, 2013.

### **Сведения об авторах**

**Красавин Алексей Викторович** – канд. техн. наук., зав. кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых, НЧОУ ВО Технический университет УГМК, г. Верхняя Пышма, Россия. E-mail: [a.krasavin@tu-ugmk.com](mailto:a.krasavin@tu-ugmk.com)

**Иванов Владимир Алексеевич** – канд. техн. наук., доцент каф. разработки месторождений полезных ископаемых, НЧОУ ВО Технический университет УГМК, г. Верхняя Пышма, Россия. E-mail: [vladimir.ivva@yandex.ru](mailto:vladimir.ivva@yandex.ru)

**Пудовкин Никита Евгеньевич** – студент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: [p.niki97@bk.ru](mailto:p.niki97@bk.ru)

**Каримов Рамазан Аликович** – студент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

УДК 622.274.5:622.343.5

## К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Красавин А.В., Пудовкин Н.Е., Абдрахманов Д.С.

**Аннотация.** Горно-геологическая и горнотехническая обстановка Камаганского месторождения отличается исключительной сложностью. Сложность разработки заключается в непосредственной близости запасов, подлежащих подземной отработке, к поверхности и бортам действующего карьера. Кроме того, подземная разработка осложняется наличием на поверхности охраняемых объектов II и III категорий охраны. Поэтому исследование геомеханической ситуации в прибортовом массиве Камаганского месторождения является весьма актуальной задачей на данном этапе развития горных работ.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние массива горных пород, комбинированная разработка, геомеханическое моделирование, устойчивость борта карьера.

Ведение подземных горных работ при комбинированной разработке месторождения оказывает негативное влияние на устойчивости бортов карьера. Подработка приводит к повышению трещиноватости и разуплотнению горных пород, слагающих прибортовую массив, и, как следствие, к снижению их прочностных характеристик, а также на отдельных участках проявляется в виде выхода в борт воронок обрушения (рис. 1).

Обеспечение устойчивости бортов карьера наиболее актуально при использовании транспортной системы карьера для транспортирования добытой рудной массы.



Рис. 1. Трещина в борту карьера Камаган

В результате анализа причин, приведших к активизации деформаций бортов карьера при отработке подземных запасов Камаганского месторождения, выявлено:

- наличие значительного числа разноориентированных тектонических трещин на участке борта;
- отсутствие подпора борта в виде дополнительного пригруза пустыми породами;
- возможное увеличение коэффициента недозаклада выработанного пространства твердеющей смесью при выемке основных запасов рудных тел, установленное в 5 %;
- обводнение ослабленных выветренных пород и наносов на верхних горизонтах борта, в том числе за счет техногенных стоков;
- массовые взрывы в период производства очистных работ.

С целью оценки возможности сохранения транспортного съезда на северо-восточном борту карьера, связывающего подземные горные работы и поверхность, произведено мате-

матическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

Моделирование по северо-восточному борту карьера осуществлялось по характерному разрезу, построенному нормально к уступам борта. На первом этапе оценивалось природное напряженно-деформированное состояние массива, техногенно-измененное только карьерной выемкой (рис. 2-4). Второй этап представляет обработку рудных тел камерной системой разработки с открытым очистным пространством с целью получения наиболее достоверных данных.

На рис. 2-4 показано природное напряженное состояние прибортового массива в гравитационном поле напряжений. В связи с незначительной глубиной отработки напряжения вблизи контура подземных запасов невелики и составляют по главным составляющим  $\sigma_1$  до 2,1 МПа по отдельным уступам и пропорционально увеличиваются с глубиной.

Анализ гравитационного поля напряжений в приконтурной зоне Камаганского карьера подтвердил закономерности, установленные многочисленными исследованиями [1-6], и показал, что в массиве образуется зона разгрузки всех компонент тензора напряжений, ограниченная в плане проекцией верхней бровки откоса борта карьера и в вертикальной плоскости глубиной карьера. Вблизи поверхности откоса карьера и бортов имеется область растягивающих главных напряжений, действующих перпендикулярно поверхности.

Направление действия главных напряжений  $\sigma_2$  в прикарьерном массиве вблизи земной поверхности карьера и дна – горизонтальное, вдоль поверхности откосов бортов – параллельное контуру откосов. В массиве борта угол наклона  $\sigma_2$  к вертикали с удалением от откоса постепенно уменьшается до  $0^\circ$  вблизи проекции верхней бровки откоса борта. В прикарьерном массиве вертикальные составляющие напряжений превышают горизонтальные.

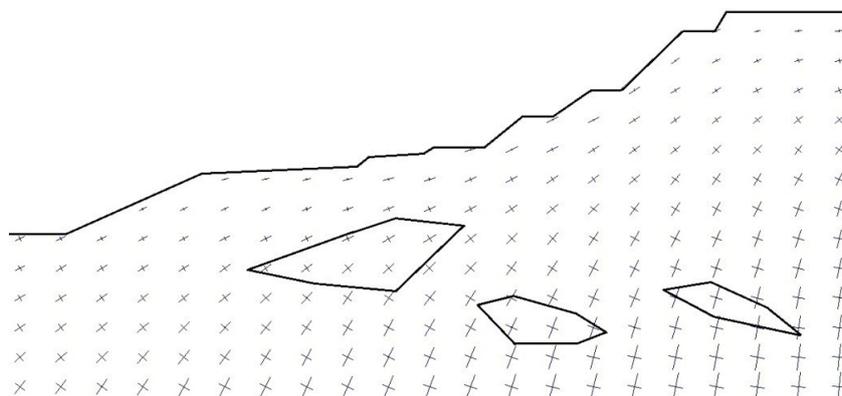


Рис. 2. Направление главных напряжений в массиве пород, не тронутого подземными горными работами

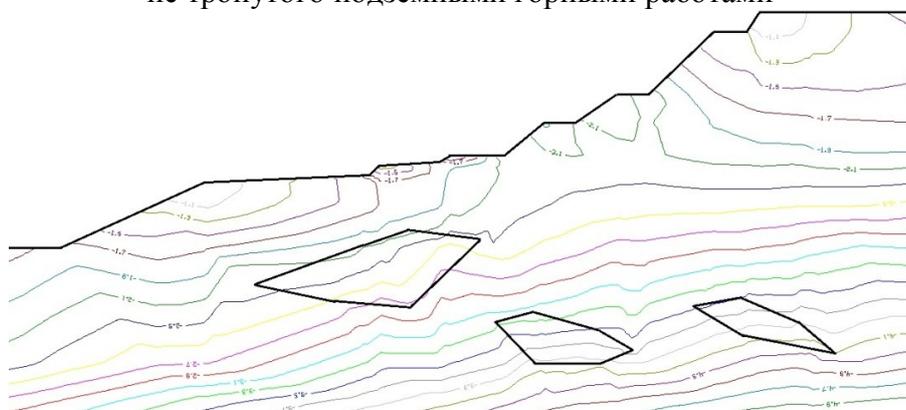


Рис. 3. Изолинии главных нормальных напряжений  $\sigma_1$  в массиве пород, не тронутом подземными горными работами

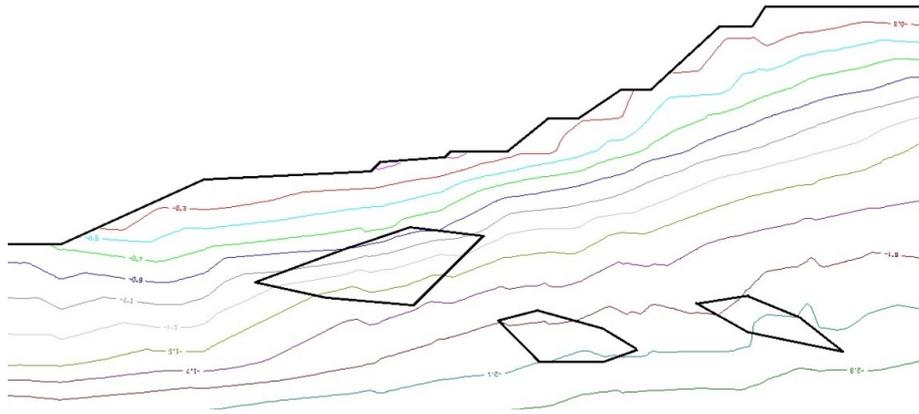


Рис. 4. Изолинии главных нормальных напряжений  $\sigma_2$  в массиве пород, не тронутым подземными горными работами

Отработка рудных тел приводит к перераспределению напряжений в массиве. Согласно рис. 5, над зоной очистных работ формируется область низких сжимающих напряжений, близких к нулю, и при увеличении пролета очистных выработок переходят в растягивающие, что вызывает нарушение устойчивости камер. На рис. 5-9 показаны численные значения главных сжимающих напряжений в приборотном массиве при очистной выемке.

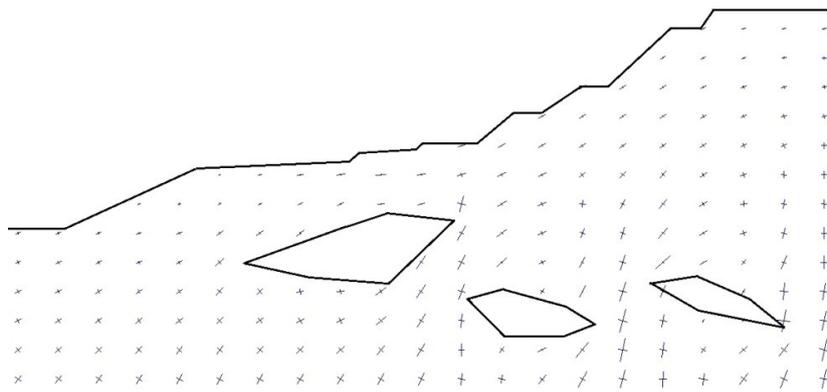


Рис. 5. Распределение главных напряжений в массиве пород при подземной отработке запасов

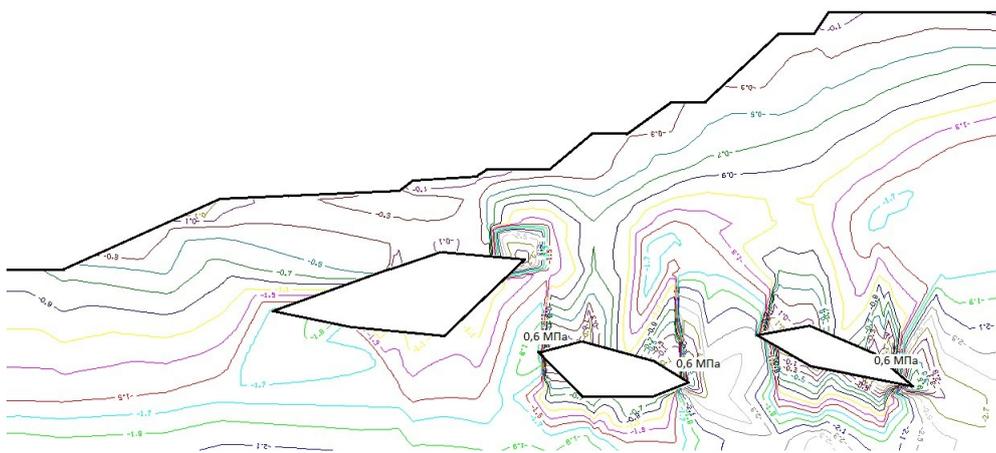


Рис. 6. Изолинии главных нормальных напряжений  $\sigma_1$  в массиве пород при ведении подземных горных работ



Рис. 7. Изолинии главных нормальных напряжений  $\sigma_3$  в массиве пород при ведении подземных горных работ

Наложение тектонических сил на поле гравитационных напряжений значительно изменяет геомеханическую обстановку в прикарьерном массиве. В результате действия дополнительных горизонтальных сил возникает зона значительной концентрации сжимающих (до 25 МПа) и растягивающих напряжений (до 1,5 МПа) в зоне скольжения уступов. При этом по линейной зависимости возрастают смещения точек массива в сторону карьерной выемки, прикарьерный массив в верхней части деформируется в сторону карьера, а в придонной – смещается вниз. Такая концентрация напряжений и деформаций может привести к выполаживанию отдельных уступов, не влияя в целом на конфигурацию борта.

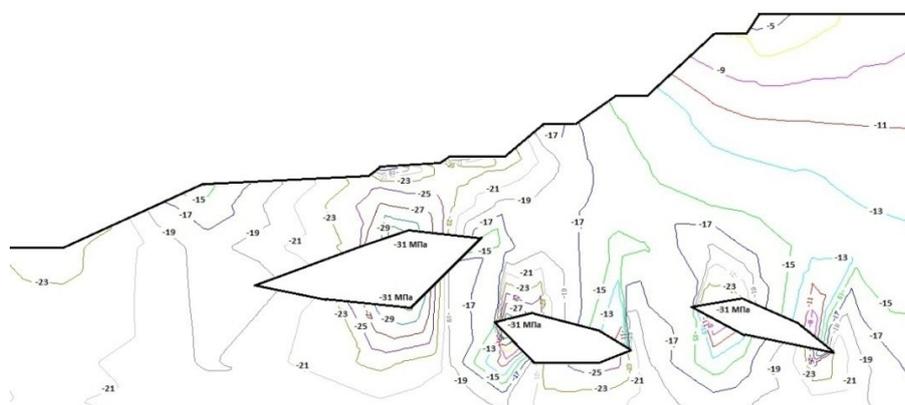


Рис. 8. Изолинии главных нормальных напряжений  $\sigma_1$  при открытом очистном пространстве

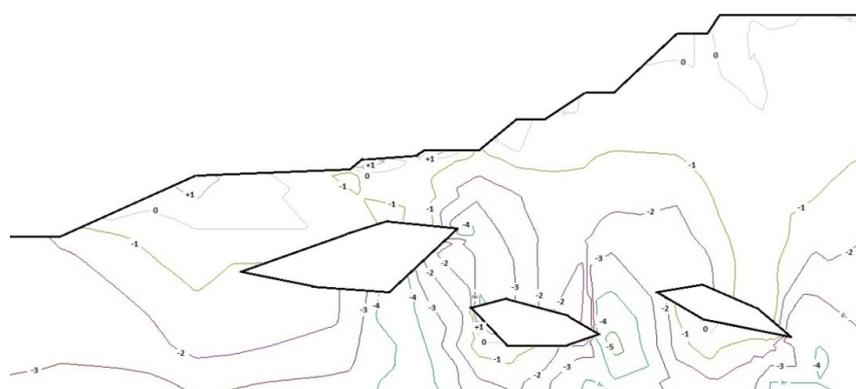


Рис.9. Изолинии главных нормальных напряжений  $\sigma_2$  при открытом очистном пространстве

В целом результаты исследований напряженно-деформированного состояния прикарьерного массива позволяют заключить, что:

- данные моделирования напряженно-деформированного состояния массива хорошо согласуются с результатами многочисленных исследований, которые подтверждают выявленные закономерности;

- вблизи поверхности откоса карьера и бортов имеется область растягивающих главных напряжений, действующих перпендикулярно поверхности, которые в природном поле напряжений незначительны и не влияют на конфигурацию контура борта карьера;

- в прикарьерном массиве вертикальные составляющие напряжений превышают горизонтальные в 1,5-2 раза;

- отработка рудных тел приводит к перераспределению напряжений в массиве: вокруг очистного пространства отношение вертикальной и горизонтальной составляющих главных напряжений увеличивается, а над очистными камерами формируется область низких сжимающих напряжений, близких к нулю, и при увеличении пролета очистных выработок переходят в растягивающие, что вызывает нарушение устойчивости камер.

### **Список литературы**

1. Оценка устойчивости бортов карьера «Камаган» при подземной доработке месторождения / А.М. Мажитов, С.А. Корнеев, И.А. Пыталев, Т.С. Кравчук // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S4-2. С. 205-215.
2. Обоснование устойчиво-безопасных параметров откосов бортов карьера «Камаган» при подземной доработке месторождения / А.М. Мажитов, С.А. Корнеев, И.А. Пыталев, Т.С. Кравчук // Горный журнал. 2018. № 2. С. 27-30.
3. Колесатова О.С. Особенности структурного строения горного массива месторождения «Камаган» // Рациональное природопользование: сб. науч. тр. / под ред. С.Е. Гавришева. Магнитогорск, 2014. С. 20-24.
4. Чумарина Т.М., Колесатова О.С. Сопоставление методов оценки устойчивости бортов карьеров при комбинированной схеме отработки // Научные исследования и инновации. 2011. Т. 5. № 1. С. 117-119.
5. Мажитов А.М. Оценка влияния подземных горных работ на напряженно-деформированное состояние прикарьерного массива месторождения Камаганское // Актуальные проблемы горного дела. 2016. № 1. С. 29-35.
6. Обоснование устойчивых параметров бортов карьера Камаганского месторождения с учетом трещиноватости прибортового массива пород / О.С. Колесатова, Е.А. Романько, В.Н. Хонякин, С.О. Картунова, А.В. Красавин // Маркшейдерский вестник. 2017. № 6 (121). С. 49-54.

### **Сведения об авторах**

**Красавин Алексей Викторович** – канд. техн. наук, зав. кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых НЧОУ ВО Технический университет УГМК, г. Верхняя Пышма, Россия. E-mail: [a.krasavin@tu-ugmk.com](mailto:a.krasavin@tu-ugmk.com)

**Пудовкин Никита Евгеньевич** – студент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: [p.niki97@bk.ru](mailto:p.niki97@bk.ru)

**Абдрахманов Динислам Салаватович** – студент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

УДК 622.35

**КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МРАМОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРЬЕРНОГО КОМБАЙНА WIRTGEN**

Пыталев И.А., Караулов Н.Г., Доможиров Д.В., Прохоров А.А.

**Аннотация.** В данной работе анализируется технология разработки месторождений природного камня комбинированным способом: с применением буровзрывных работ (БВР), карьерного комбайна, а также алмазно-канатных и баровых камнерезных машин. Классическая технология разработки месторождений мрамора предусматривает удаление слоя трещиноватого мрамора баровыми камнерезными машинами, такой способ значительно увеличивает продолжительность строительства карьера. Комбинированная отработка месторождения мрамора с применением карьерных комбайнов позволяет значительно сократить время строительства карьера. Для реализации данной технологии произведен расчет мощности зоны разрушения массива в зависимости от вида взрывчатого вещества (ВВ). Определена необходимая мощность мрамора, снимаемого карьерным комбайном Wirtgen. Проведена оценка экономической эффективности применения комбинированной технологии. Предлагаемая технология обеспечивает значительное сокращение срока строительства карьера, снижение себестоимости готовой продукции, а также комплексное освоение месторождений мрамора.

**Ключевые слова:** мрамор, микрокальцит, карьерный комбайн, буровзрывные работы, алмазно-канатная пила, баровая камнерезная машина, комплексная технология добычи мрамора, себестоимость добычи.

**Введение**

Облицовочные и строительные камни являются фундаментальными ресурсами для экономического, городского и социального развития. Они имеют широкое применение во всех строительных проектах, которые подчеркивают целесообразность и экономичность использования камня [1-3]. По разнообразию и объемам добычи природного и облицовочного камня Россия занимает ведущую роль. Балансовые запасы по категориям А, В и С1 на настоящий момент составляет около 5 млрд м<sup>3</sup> [4].

В настоящее время Уральский федеральный округ является ведущим в России регионом по добыче природного камня. Урал по объемам и гамме расцветок всегда был основным поставщиком товарных блоков для перерабатывающих заводов России. Два карьера по добыче мрамора (Коелга и Уфалей) поставляли более 60% мраморных блоков для переработки на заводы России [5]. В то же время разработка месторождений природного камня имеет на данный момент ряд особенностей:

- высокие издержки на вскрышные работы;
- продолжительный период строительства карьера;
- низкий коэффициент выхода блоков (20-35%);
- значительная часть добываемого мрамора уходит в отвал;
- значительная площадь, занимаемая отвалами;
- низкая комплексность освоения запасов месторождения природного камня;
- высокая себестоимость готовой продукции.

Высокая себестоимость блоков мрамора и побочной продукции из него (мраморный щебень, микрокальцит и т.д.) снижает конкурентоспособность отечественного мрамора относительно зарубежного. Наряду с высокой стоимостью блоков мрамора, при добыче полезного ископаемого и при его переработке происходит образование значительных объемов отходов. Ежегодно в Российской Федерации образуется около 7 млрд т всех видов отходов, из которых используется лишь 2 млрд т [6].

Одним из направлений совершенствования технологии добычи мрамора является увеличение масштабов использования в карьерах современных машин, способных высокопро-

изводительно и безопасно разрабатывать массивы горных пород и совмещающих в комбинированном процессе основные операции горного производства – рыхление массива, погрузку и дробление отбитой горной массы. Мировая и отечественная практика показывает, что горные комбайны Wirtgen Surfase Miner надежно сочетают эти операции при выемке скальных пород прочностью до 120 МПа [7-9].

Целью данной работы является обоснование комбинированного способа разработки месторождений мрамора с применением алмазно-канатных пил и карьерных комбайнов Wirtgen, обеспечивающих комплексное освоение ресурсов и повышение эффективности разработки месторождения.

### **Обоснование комбинированного способа разработки**

Невысокая степень утилизации отходов камнедобычи и камнеобработки обуславливает их постоянно растущее накопление в районах функционирования предприятий. Особенно много отходов образуется при добыче блоков стенового камня (пильных известняков, ракушечников, вулканических туфов и т. п.). Это свидетельствует о существовании колоссальных минерально-сырьевых резервов для организации производства различных строительных материалов, а также материалов и изделий для других отраслей народного хозяйства. Анализ деятельности передовых отечественных и зарубежных предприятий по добыче и обработке камня свидетельствует о значительном экономическом и природоохранном эффекте, который может быть достигнут при реализации малоотходных технологических процессов и повышении уровня утилизации отходов. Очевидно, решение проблемы комплексного использования сырья и утилизации отходов при добыче и обработке камня должно начинаться, прежде всего, с обеспечения возможно более полного извлечения блочного сырья из уже разрабатываемых месторождений, чтобы свести к минимуму потери его в недрах. Большое значение при этом имеет сохранение всех свойств добываемого камня и его качества. При этом весьма важен комплексный подход к процессам добычи и обработки камня, использование всех компонентов, имеющих в добываемой и перерабатываемой горной массе, всемерное сокращение количества добываемого сырья, идущего в отвалы, развитие малоотходных и безотходных производств. Возможности комплексного использования мрамора представлены на рис. 1.

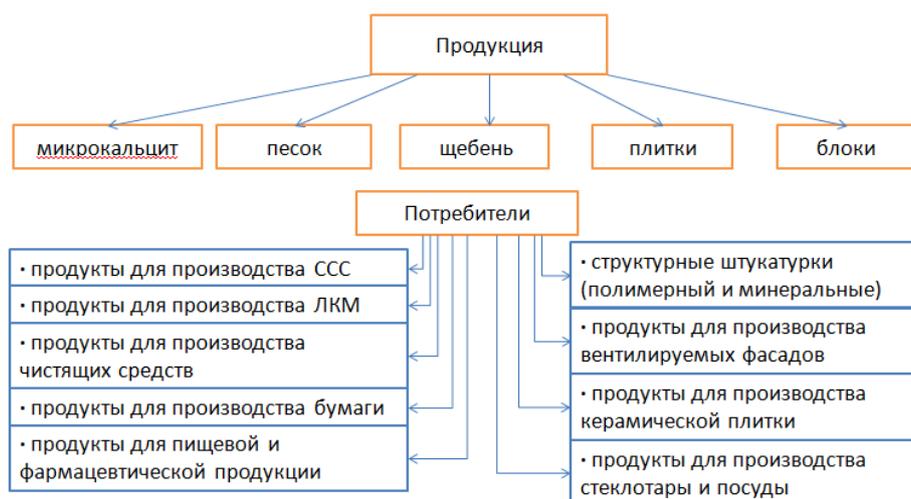


Рис. 1. Виды получаемой продукции из мрамора

В данной работе рассматривается технология разработки месторождения природного камня комбинированным способом: с применением буровзрывных работ (БВР), карьерного комбайна, алмазно-канатных и баровых камнерезных машин. Данная технология предусматривает следующую специфику ведения горных работ: вышележащий выветрелый слой мрамора подготавливается к выемке при помощи БВР, нижний слой массива с балансовыми

ми запасами мрамора с кондиционным коэффициентом выхода товарных блоков обрабатывается алмазно-канатными и баровыми камнерезными машинами, промежуточный слой, частично нарушенный взрывом, обрабатывается при помощи карьерного комбайна.

Удаление трещиноватого слоя мрамора с применением БВР обеспечивает значительное сокращение срока строительства карьера, а снятие промежуточного слоя мрамора с помощью комбайнов фирмы Wirtgen, частично нарушенного взрывом, обеспечивает доступ к основной толще мрамора без повреждений массива. При этом снимаемый промежуточный слой мрамора предполагается использовать для получения микрокальцита.

Предлагаемая технология предусматривает особые требования к проектированию и производству БВР с точки зрения сохранения требуемой блочности камня при производстве массовых взрывов. Для оценки распространения радиуса зоны трещиноватости и определения мощности промежуточного слоя природного камня была выбрана методика Андриевского А.П. и Зуева А.Е. [10].

Методика Андриевского А.П. и Зуева А.Е.:

$$R_T = 0,2102 \cdot d \cdot \rho^{0,75} \cdot D^{1,5} \cdot \sigma_{сж}^{-0,25} \cdot \tau_{ср}^{-0,5} \cdot K_c^{-0,5},$$

где  $R_T$  – радиус зоны трещин, м;

$d$  – диаметр скважины, м;

$\rho$  – плотность ВВ, кг/м<sup>3</sup>;

$D$  – скорость детонации, м/с;

$\sigma_{сж}$  – предел прочности пород при одноосном сжатии, Па;

$\tau_{ср}$  – предел прочности пород на срез, Па;

$K_c$  – коэффициент структурного ослабления взрываемого трещиноватого массива, доли единицы (по справочным данным для мрамора коэффициент принят равным 0,7).

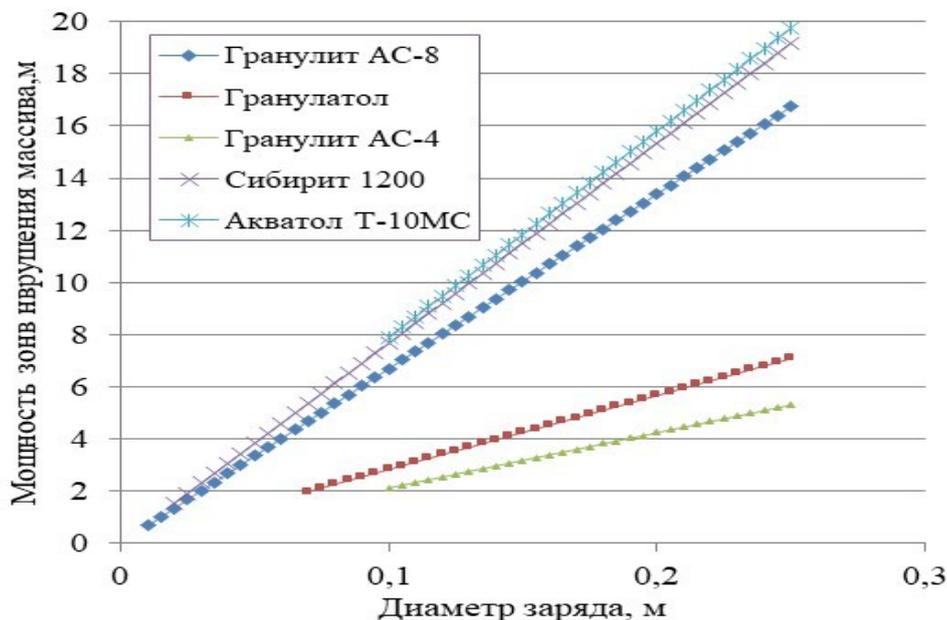


Рис. 3. Изменение мощности зоны разрушения массива в зависимости от вида ВВ по методике Андриевского А.П. и Зуева А.Е.

Анализ данной формулы показывает, что данная методика учитывает не только влияние параметров горных пород и диаметра заряда, но и характеристики взрывчатого вещества на радиус зоны трещинообразования. В виду данного фактора были определены зоны распространения трещиноватости для различных ВВ, которые представлены на рис. 3.

На основе расчетов, приведенных на рис. 3, толщина промежуточного слоя природного камня для скважинных зарядов Гранулита АС-4 диаметром 160 мм повлечет за собой трещинообразование в радиусе 3,4 м, что удовлетворяет условию по мощности слоя, обрабатываемого карьерным комбайном.

Анализ экономической эффективности применения комбинированной технологии с использованием карьерных комбайнов представлен в таблице. Для оценки экономической эффективности применения комплексной технологии добычи мрамора было проведено сравнение себестоимости добычи одного кубометра горной массы при помощи традиционной технологии с себестоимостью добычи одного кубометра горной массы с применением карьерного комбайна и буровзрывных работ.

Сравнение себестоимости и ее элементов для классической и комплексной технологии добычи природного камня

Элементы затрат	Себестоимость на 1 м <sup>3</sup> горной массы, руб.	
	при комплексной разработке мрамора	при классической схеме разработки мрамора
Основная ЗП	45,22	297,06
Дополнительная ЗП	4,69	30,49
Отчисления из ЗП	14,22	93,35
Энергетические затраты	32,89	327,71
Вспомогательные материалы и топливо	100,79	9,04
Амортизация ОС	44,70	44,39
Текущий ремонт ОС	52,87	135,07
<b>Итого по участку</b>	<b>295,39</b>	<b>937,10</b>

Результаты расчетов, представленные в таблице указывают, что себестоимость продукции, получаемой при комплексной отработке месторождения, будет значительно ниже, чем при классической технологии.

Таким образом, предлагаемая комбинация обеспечивает следующие преимущества в сравнении с классической технологией, когда слой трещиноватого мрамора удаляется с помощью баровых камнерезных машин:

- значительное сокращение срока строительства карьера;
- снижение себестоимости готовой продукции;
- комплексность освоения месторождения мрамора;
- снижение площади, занимаемой отвалами.

### Список литературы

1. Shuowei Bai, Qingsong Hua, L. J. Cheng, Q. Y. Wang, Tobias Elwert. Improve sustainability of stone mining region in developing countries based on cleaner production evaluation: Methodology and a case study in Laizhou region of China Journal of Cleaner Production, vol. 20710, January 2019, Pp. 929-950. doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.026.
2. Nicola Careddu, Giuseppe Di Capua, Giampaolo Siotto. Dimension stone industry should meet the fundamental values of geoethics Resources Policy, vol. 63, October 2019, Article 101468. doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101468.
3. Оптимизация параметров забоя при добыче блочного камня с применением канатно-алмазных пил / Г.Д. Першин, Н.Г. Караулов., А.В. Афонин, Е.В. Северин // Добыча, обработка и применение природного камня: межвуз. сб. научн. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2001. С. 54-65.
4. Доможиров Д.В., Караулов Н.Г., Прохоров А.А. Анализ способов подготовки блочного камня на карьерах Уральского региона // Добыча, обработка и применение природного камня: межвуз. сб. научн. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2018. С. 46-57.

5. Савельев Г.П. Сырьевая база Южного Урала. Ее характеристика и темпы освоения. //Камень вокруг нас. 2004. № 7. С.42-43.
6. Гавришев С.Е., Пыталев И.А., Козловский А.А. Особенности формирования отвалов вскрышных пород для утилизации промышленных отходов // Горный информационно - аналитический бюллетень. 2010. № 8. С. 251–256.
7. Опытно-промышленные работы по безвзрывной технологии выемки доломитов комбайнами Wirtgen 2200 SM на карьере «Митино» / М. Пихлер, А.А. Тополев, Р.Б. Моргачев, Ю.Б. Панкевич, М.Ю. Панкевич. URL:<http://www.mining-media.ru/ru/article/ogr/162-opytно-promyshlennye-raboty-po-bezvzryvnoj-tekhnologii-vyemki-dolomitov-kombajnamі-wirtgen-2200-sm-na-karere-mitino>
8. Пихлер М., Панкевич Ю.Б. Некоторые технологические особенности работы комбайнов. Wirtgen Surface Miner на открытых разработках URL:<http://neftegaz.ru/en/science/view/536>
9. Ввод в эксплуатацию карьерного комбайна Wirtgen 2500 SM в карьере Черногорского месторождения ГУП «Чеченцемент»/ М.Пихлер, С-А.А. Габаев, Ю.Б. Панкевич, М.Ю. Панкевич. URL:<http://www.mining-media.ru/ru/article/ogr/3584-vvod-v-ekspluatatsiyu-karernogo-kombajna-wirtgen-2500-sm-v-karere-chernogorskogo-mestorozhdeniya-gup-chechentsement>
10. Андриевский А.П., Зуев А.Е. Методика определения параметров взрывания шпуровых и скважинных зарядов, позволяющих исключить перебур и минимизировать выход негабарита // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. URL: [www.science-education.ru/108-9081](http://www.science-education.ru/108-9081)

#### **Сведения об авторах**

**Пыталев Иван Алексеевич** – докт. техн. наук, директор института горного дела и транспорта, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия

**Караулов Николай Геннадьевич** – канд. техн. наук, доцент, кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: [n\\_karaulov@mail.ru](mailto:n_karaulov@mail.ru)

**Доможиров Дмитрий Викторович** – канд. техн. наук, доцент, кафедры разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

**Прохоров Алексей Александрович** – директор ООО «РИФ-Микрорамор», Карталинский р-н, с. Еленинка, Россия.

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБАЙНА ПРИ ПРОХОДКЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ПРИМЕРЕ ШАХТ ПАО «ГМК «НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ»**

Любавина В.А.

**Аннотация.** В статье рассмотрен вариант применения современных комбайнов с целью замены ими буровзрывного способа проходки подземных горных выработок.

Представлено технико-технологическое сравнение использования традиционного буровзрывного способа и применение высокопроизводительных комбайнов при ведении подземных горных работ. Разработаны схемы заезда комбайнов в камеру и погрузки отгрузки горной массы. Приведены основные показатели проведения выработок при буровзрывном и комбайновом способах.

**Ключевые слова:** проходческий комбайн, проходка подземных выработок, буровзрывной способ проходки, шахта, сечение выработки, механическое разрушения пород, средства механизации, технология проведения выработок.

**Введение**

Эффективность работы горнодобывающего предприятия определяется техническим уровнем средств механизации и автоматизации технологических процессов добычи. В этих условиях основными требованиями для горно-шахтного оборудования становятся: повышение эффективности и безопасности эксплуатации, снижение металлоемкости оборудования и энергоемкости разрушения горной массы, уменьшение экологической вредности горных работ.

Следует отметить, то на шахтах «Известняков» и «Ангидрит» рудника «Кайерканский» проходка горных выработок осуществляется буровзрывным способом. Буровзрывной способ разрушения горного массива имеет ряд недостатков, которые снижают эффективность ведения горных работ, особенно с увеличением глубины разработки, сопровождающейся ухудшением горно-геологических условий. К основным из них относят: ударное и сейсмическое воздействие взрыва на горные породы (особенно на междукамерные целики), интенсивное заколообразование, отклонение сечения выработки и параметров междукамерных целиков (МКЦ) от проектных размеров. Все это способствует ухудшению безопасности ведения подземных горных работ, снижению производительности труда и скорости проведения выработок, а также увеличению себестоимости проходческих работ [1, 2]. Кроме того, в условиях шахты «Ангидрит», с учетом увеличения производственной мощности и продвижением фронта работ в южном направлении (панели восточного и западного полей 16, 17, 18, 19), и в свою очередь на шахте «Известняков» продвижением фронта работ в западном направлении (столбы 13-16) возникает вопрос обеспечения необходимым количеством воздуха для проветривания проходимых выработок после взрывных работ и при работе СДО. Остро стоит вопрос о необходимости выбора альтернативного способа проходки горных выработок – применение проходческих комбайнов.

**Обоснование технической возможности внедрения проходческих комбайнов в условиях шахтах «Ангидрит» и «Известняков» рудника «Кайерканский»**

Анализ технических параметров проходческих комбайнов, изготавливаемых ведущими фирмами, а также выводы после ознакомления с производством и эксплуатацией современных проходческих комбайнов в Украине, Германии и Австрии, позволяют рекомендовать для проходки горных выработок на шахтах «Ангидрит» и «Известняков» рудника «Кайерканский» усиленный вариант комбайна МН620 (предыдущее наименование АНМ-105) фирмы SANDVIK. С учетом имеющегося и закупаемого в перспективе самоходного оборудования составлены проходческие механизированные комплексы на базе указанного комбайна и выполнены расчеты производственных и экономических показателей при буровзрывном и комбайновом способах проходки выработок в условиях норильских рудников.

Анализ геологических характеристик участков, представленных к рассмотрению возможного применения комбайновой проходки показывает, что наиболее приемлемыми для этой

цели являются горно-подготовительные выработки. В соответствии с рекомендациями предусматривается, что 100% по объему горно-подготовительных выработок будет пройдено по основному промышленному пласту прочностью 60-80 МПа (в среднем 70 МПа). Объемы проходки и основные физико-механические свойства пород представлены в табл. 1 [3, 4].

Таблица 1  
Объемы проходки горных выработок и физико-механические свойства пород [5]

Наименование пород	Объем проходки, м <sup>3</sup>	Крепость по Протоdjяконову	Содержание CaSO <sub>4</sub> и CaSO <sub>3</sub> %
Шахта «Ангидрит»			
Ангидрит	44400	4÷6	80
Шахта «Известняков»			
Массивные известняки	49500	4÷6	86

Согласно типовым паспортам сечение горно-подготовительных выработок  $S=25-36\text{ м}^2$ . Размеры комбайна МН620 позволяют проходить выработки сечением не более  $S=46\text{ м}^2$ .

Современные проходческие комбайны, обеспечивающие механическое разрушения пород прочностью до 160 МПа, оснащены приборами контроля контура зоны отбойки горного массива, позволяющими свести к минимуму отклонения размеров сечения проводимой выработки от проектного [6, 7, 8].

Технико-экономические показатели при буровзрывной и комбайновой проходке в значительной мере определяются средствами механизации [9, 10].

По опыту применения стреловых комбайнов на зарубежных рудниках при проходке выработок в породах прочностью свыше 40-50 МПа более высокую производительность показывают комбайны с поперечной режущей головкой. Поэтому для норильских рудников иностранными фирмами предложены комбайны с поперечной режущей головкой.

Способы транспортирования горной массы и применяемое при этом оборудование выбраны из условия достижения максимальной производительности процесса отгрузки, с учетом наличия и перспективных закупок нового оборудования.

Ограничения комбайна по производительности, как правило, нет при условии ритмичной подачи транспортного средства под погрузку. В случае неритмичной подачи транспортного средства, ограничение комбайна по производительности может быть только из-за параметров выработки, где размещается отбитая порода. Опыт показывает, что при ритмичной подаче транспортного средства и нормальной работе комбайна может быть достигнута высокая нагрузка на забой.

Наиболее эффективно использовать следующую схему отгрузки и транспортирования отбитой горной массы:

Отбитая горная масса от нагребавших звездочек рабочего стола транспортируется двухцепным конвейером в заднюю часть комбайна и загружается в автосамосвал, (рис. 1), с последующей доставкой на поверхность. На ряду с данной схемой следует рассматривать схему с загрузкой в ковш ПДМ и временным складированием отбитой горной массы в специальной нише или любой тупиковой выработке с последующей доставкой на поверхность автосамосвалами.

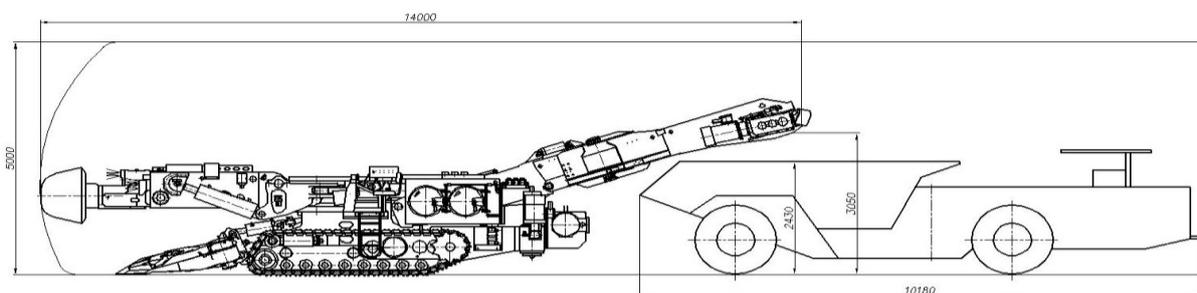


Рис. 1. Схема отгрузки горной массы в самосвал

Для каждого локального участка разрабатывается схема движения порожнякового и груженого транспорта, с установлением оптимального их количества, исключая цикличность и технологическую взаимозависимость.

Комплексы механизации, применяемые при буровзрывном способе проходки в настоящее время (базовые), и сравниваемые с ними комплексы при комбайновом способе проходки в типичных для представленных шахт горнотехнических условиях представлены в табл. 2.

Таблица 2  
Комплексы средств механизации

Буровзрывной способ, сеч. 25-36 м <sup>2</sup>	Комбайновый способ, сеч. 25-36 м <sup>2</sup>
<b>Комбинация вариантов</b>	
<u>Вариант 1Б</u> Boomer M2D – бурение шпуров в забое; Axera D07-260 – бурение под ЖБШ; R2900, R1700 – погруз.машина; MT-42 – шахтный самосвал;	<u>Вариант 1К</u> МН620 – комбайн; Поворотный транспортер (дл. 6-7 м); MT-42 – шахтный самосвал;
<u>Вариант 2Б</u> Boomer M2D - СБУ R2900, R1700 – ПДМ	<u>Вариант 2К</u> МН620 – комбайн; Поворотный транспортер (дл. 6-7 м); R2900, R1700 – ПДМ

В таблице 3 представлены основные технические показатели при проведении выработок буровзрывным способом (вар. «1Б-2Б») и при машинном бурении (вар. «1К-4К»).

Таблица 3  
Основные технические показатели при буровзрывном и комбайновом способах проведения выработок

Наименование показателей	Ед. изм.	БВР		Комбайновый	
		1Б	2Б	1К	2К
Сечение выработки	м <sup>2</sup>	До 36		До 36	
Продолжительность цикла	смен	2	2	3	2
Число смен/циклов в месяце		80/40	80/40	80/26,6	80/40
Бурение, за цикл	объем	шпм 250		265	275
	время	330	220	300	315
Отбойка, за цикл	объем (в целике)	м <sup>3</sup> 162		173	259
	время	(взрыв.)		360	270
Отгрузка, за цикл	объем (разрыхл.)	м <sup>3</sup> 259,2		276,8	414,4
	время	120	120	360	320
Уходка	цикл	п.м. 4,5		10,2	10,8
	месяц	п.м. 180		271,3	432
Установка ЖБШ, цикл	объем	21	21	91	97
	время	60	90	180	195
Ремонт и ТО	Число ремонтн.	2	2	3	3
	время	60	60	180	180
Состав звена, заработная плата	Бурильщик шпуров	2x80,2	-	-	-
	Крепильщик	1x56,6	1x56,6	1x56,6	-
	Машинист ПДМ	-	1x78,9	-	1x78,9
	Взрывник	0,5x51,0		-	-
	Машинист комбайна	-	-	1x80	1x80
	Пом. машиниста комбайна	-	-	1x76	1x76

По результатам анализа технических параметров проходческих комбайнов ET-210Q (предложение фирмы EICKHOFF), AM-75, AM-85 и МН620 (предложения фирмы SANDVIK) наиболее приемлемым для условий шахт «Ангидрит» и «Известняков» рудника «Кайерканский» признан комбайн МН-620 по следующим критериям: достаточно высокая

производительность по породам прочностью на сжатие до 120 МПа, большая масса (115 т), обеспечивающая устойчивую работу комбайна в процессе отбойки при приемлемых размерах комбайна (рис. 2).

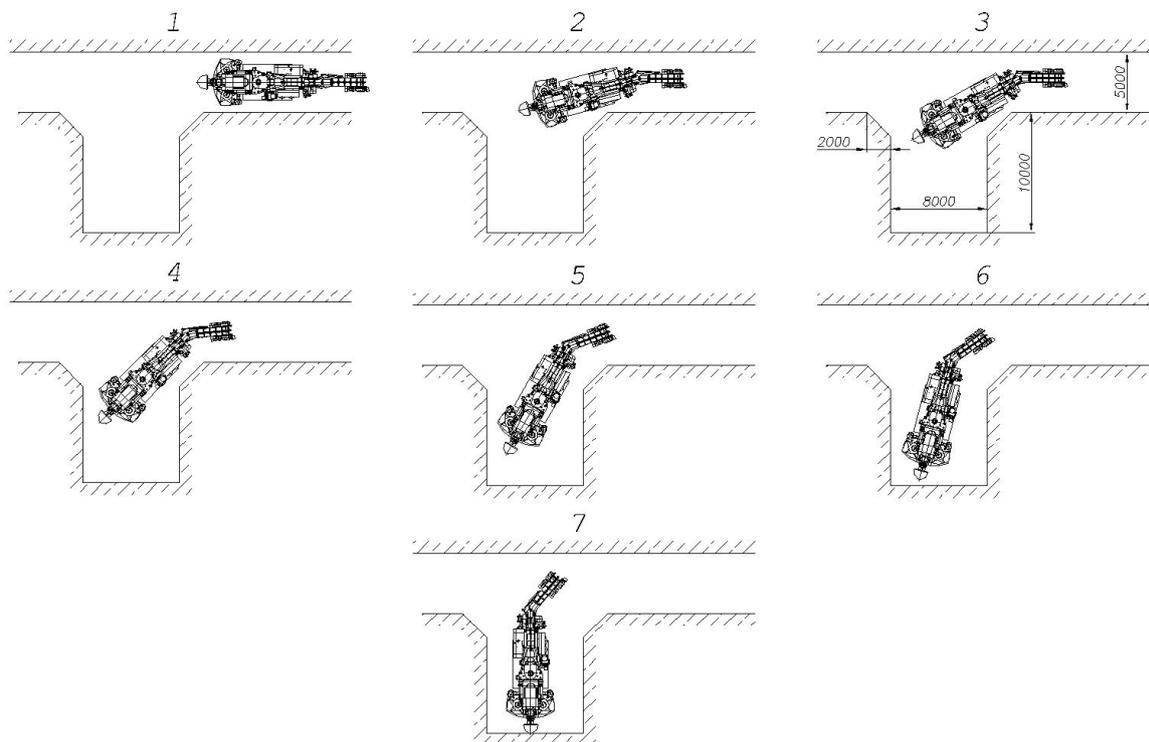


Рис.2. Схема заезда в камеру:

1-7 – последовательность постановки комбайна в рабочее положение

Телескопическое выдвижение и гидравлическая подача режущей головки и погрузочного стола без движения ходовой части комбайна, способствующие снижению нагрузок на ходовую часть и улучшающие управляемость комбайном в процессе отбойки и уборки горной массы.

**Результаты исследования:** к достоинствам комбайнового способа, которые повысят его эффективность, следует отнести:

1. Возможность более точного соблюдения проектного сечения выработок в процессе проходки. При буровзрывном способе в 2012 г. «перебор» горной массы в проходке составил до 7 % к проектному.

2. Высокую безопасность работ при комбайновой проходке.

3. Исключение применения взрывчатых материалов.

4. Уменьшение нарушенности пород приконтурного массива и междукамерных целиков (исключение сейсмического воздействия взрывных работ на приконтурную часть горной выработки).

5. Возможность проходки горных выработок в устойчивых породах без крепления.

6. Снижение запыленности рудничной атмосферы (за счет применения эффективных способов орошения и пылеулавливания).

7. Исключение загазованности рудничной атмосферы (ядовитые и вредные газы от взрывчатых материалов и выхлопные газы СДО). Кроме того, использование дизельной техники инициирует интенсивное таяние льда, что повышает водонасыщенность массива. Поэтому, предпочтительнее является техника с электроприводом.

8. Исключение цикличности в работе, снижение технологических простоев.

9. Снижение потребности в увеличении количества воздуха, необходимого для проветривания.

10. Значительно меньшее число последовательно выполняемых операций за счет совмещения во времени отбойки и погрузки горной массы, а также возведения крепи и вспомогательных операций.

11. Снижение числа одновременно работающих в забое машин, как следствие, меньшая аварийность техники.

12. Более высокую производительность труда.

13. Уменьшение численности рабочих, привлекаемых на выполнение технологических операций.

14. Снижение себестоимости проходки.

**Выводы:** на основании расчетов с учетом действующих на шахтах технико-экономических показателей и норм времени (по состоянию на 2017 год) определена производительность проведения выработок сеч. 25-36 м<sup>2</sup> с креплением замковой части и кровли железобетонными штангами (сетка крепления 1,0х1,0м) по породам прочностью на сжатие до 100 МПа, оставляющих 100% потенциального фронта работ для комбайновой проходки, комплексом в составе комбайн МН650+ШАС МТ-42, которая составила 10,2 м за цикл (при буровзрывном способе 4,5 м за цикл).

На основании расчета технико-экономических показателей для сравниваемых способов проходки по изменяющимся статьям затрат и определены приведенные затраты на 1 м<sup>3</sup> горной массы и годовой экономический эффект от внедрения двух комбайновых комплексов.

Экономический эффект от внедрения 2-х проходческих комбайнов по оборудованию составит 35 143 000 руб., а по материалам 17 639 149 руб. ежегодно. Общий экономический эффект от внедрения комбайновой проходки на нарезной и горно-подготовительной проходке составит 52 836 149 руб.

Таким образом, использование проходческих комбайнов в условиях шахт ПАО «ГМК «Норильский никель» является не только технологически возможным, но и экономически целесообразным.

### **Список литературы**

1. Руппенейт К.В. Определение давления на междукамерные и барьерные целики. – В кн.: Методы определения размеров опорных целиков и потолочин. М., Изд-во АН СССР, 1962, с. 17 – 33.
2. Методические указания по определению размеров целиков различного назначения в условиях многолетней мерзлоты. Резенбаум М.А., Громов Ю.В., Л.: ВНИМИ, 1979, 22 с.
3. Пихлер М., Панкевич Ю.Б. Опыт добычи известняка. «Горная промышленность», № 3, 2003, с. 15 - 22.
4. Пихлер М., Панкевич Ю.Б. Комбайн Wirtgen 2500 SM на известковом карьере Fortman. «Горная промышленность», № 6, 2003, с. 50 - 52.
5. Анализ условий и технико-экономические обоснование применение комбайнового способа проходки горных выработок на рудниках ОАО «Норильская горная компания», Отчет НИР № 21-497, С-П., АО «ИНСТИТУТ ГИПРОНИКЕЛЬ», 2000, 34 с.
6. Малевич Н.А. Горнопроходческие машины и комплексы. - М.: Недра, 1980. – 384 с.
7. Анистратов Ю.И. Оценка эффективности безвзрывных технологий разработки крепких горных пород на карьерах. // Горный журнал, № 10, 1997, с.37-39.
8. Разрушение горных пород проходческими комбайнами. Разрушение резцами./ Л.И. Барон, Л.Б. Глатман, Ю.Н. Козлов и др. — М.: Наука, 1977. – «Горный журнал», 1996 г., 216 с.
9. Захаров Е.И. Энергосберегающие технологии взрывной подготовки пород к экскавации/ Е.И. Захаров, В.П. Сафронов, А.В. Реутов // Горный вестник. –М., 1998.-№6.-С. 114-118.
10. Зайцев Ю.В, Обоснование параметров взаимодействия исполнительных органов комбайнов избирательного действия с горным массивом при добыче известняков: Автореферат дисс. канд. наук // ТулПИ. Тула, 2002. - 18 с.

### **Сведения об авторе**

**Любавина Виктория Александровна** – заместитель начальника ПТО по перспективному развитию ОА «ЮГК», Россия. E-mail: [v.lubavina@Ugold.ru](mailto:v.lubavina@Ugold.ru)

УДК 622.7.01

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИТАНОМАГNETИТОВЫХ РУД ЮЖНОГО УРАЛА**

Сединкина Н.А., Жуматий А.Г., Гаврилов В.Г.

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема сырьевой базы ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Проведен сравнительный анализ сырьевых баз как в России, так и за рубежом. Выявлены основные направления решения комплексной переработки титаномагнетитовой руды. Предложен путь стратегического направления развития комбината в виде создания новой технологической линии комплексной переработки высокотитанистых титаномагнетитовых руд.

**Ключевые слова:** сырьевая база, железная руда, титаномагнетитовая руда, обогащение, металлургия.

Российские металлурги со времен СССР и до наших дней пребывали в полной уверенности в том, что и Россия является неисчерпаемой кладовой железных руд [1-5]. Но при более внимательном изучении этого вопроса становится ясно, что эти руды в основной своей массе значительно более бедные по содержанию железа, чем во многих других странах. Если среднее содержание железа в российских рудах составляет около 36%, то, например, бразильские руды содержат в среднем 58% железа, а австралийские - 62%. В результате российская руда становится дороже в 2-3 раза бразильской или австралийской вследствие затрат, необходимых для ее дальнейшего обогащения [4].

Кроме того, для добычи этой руды нужно затратить намного больше средств, чем в Бразилии или Австралии. Около 80% рудных тел характеризуется крутопадающими рудными телами, что многократно увеличивает коэффициент вскрыши.

Также нужно учесть экономико-географические факторы: удаленность месторождений от заводов потребителей, транспортные и энергетические условия, экономическую развитость района и т.д. В частности, эти условия существенно неодинаковы для разных предприятий отрасли [6].

В благоприятных сырьевых условиях работают предприятия Центра России, такие как ПАО «Северсталь», ПАО «НЛМК». Данные предприятия наиболее благополучные в сырьевом отношении благодаря своей близости к железорудным месторождениям: Курской магнитной аномалии и Карело-Кольской провинции. И руды по российским меркам достаточно хорошие (главным образом, железистые кварциты с содержанием кварцита 32-37 %, отчасти богатые руды с содержанием железа 52-57 %), и расстояние между месторождениями и перерабатывающими предприятиями невелико.

Уральская металлургия находится в более сложном положении. В соответствии со справкой о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Челябинской области (на 15.06.2020), подготовленной ФГБУ «ВСЕГЕИ», в Челябинской области на 01.01.2019 балансом запасов железных руд учтены 29 месторождений с запасами: кат. А+В+С1 – 2 578,3 млн т, кат. С2 – 2 422,3 млн т; забалансовыми – 682,6 млн т, из них около 1 млрд т - это бакальские сидериты, которые остаются практически невостребованными. Оставшиеся руды разбросаны по мелким месторождениям и не решают проблемы сырьевого обеспечения металлургии Южного Урала. Конечно, мощным железорудным ресурсом является АО «Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение», который обрабатывает 4 месторождения с суммарными запасами 1,4 млрд т, но потребности потенциальных потребителей гораздо выше производственной мощности объединения по товарной руде. Например в ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК») даже с учетом местного сырья приходится ввозить часть сырья издалека, с Лебединского, Михайловского ГОКов.

Таким образом, вырастает проблема развития местной сырьевой базы. Борьба за конкурентоспособность продукции начинается со снижения затрат на сырье. Metallурги Урала здесь проигрывают не только иностранным компаниям, но и своим, расположенным вблизи от сырьевых источников. По оценке специалистов Министерства природных ресурсов и ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского» (ВИЭМС), сырьевой дефицит уральской металлургии, покрываемый поставками из Центрального и Северо-Западного районов России, составляет около 15 млн т в год. По мнению ученых, «металлургам Урала целесообразно направлять часть своих средств на развитие местной сырьевой базы, сокращая, таким образом, расходы на ввоз сырья из других регионов» [7-10].

Прогнозные ресурсы Челябинской области весьма внушительны – 24,9 млрд т. Правда, и здесь традиционных для черной металлургии гематитовых и магнетитовых руд практически нет, основная масса, 21,2 млрд т, – это титаномагнетитовые руды.

Особенностью переработки агломерата и окатышей из низкотитанистых руд является ухудшение производственных и технико-экономических показателей доменного процесса, поэтому избежать резких потерь эффективности производства в целом не удастся. Но в настоящее время в мире нарастает тенденция применения комплексной переработки высокотитанистых руд [11,12] как средства подъема экономической эффективности предприятий черной металлургии, например проект канадской фирмы «Titanium Corporation» с компанией «Koninklijke Hoogovens» по разработке месторождения титаносодержащих руд провинции Нова Скотия в качестве сырья для местной сталелитейной кампании «Sysco». Титановый шлак предполагается продавать на рынок США, а «Susco» получит дешевый чугун для производства стали.

Поэтому в дополнение к существующему в ПАО «ММК» массовому производству металлопродукции из стратегических направлений развития комбината может стать создание новой технологической линии комплексной переработки высокотитанистых титаномагнетитовых руд [11-17], в том числе получения ильменитового концентрата из хвостов обогащения титаномагнетитовой руды [17,19]. Комплексная переработка минерального сырья, добываемого из недр, была и остается одной из важных и сложных проблем [11]. Рациональное ее решение для любого месторождения минерального сырья позволяет не только сократить или исключить образование отходов, загрязняющих окружающую среду, но и повысить эффективность капиталовложений и сократить срок их окупаемости. Поэтому всестороннее комплексное изучение минерального титан-, железосодержащего сырья [13,15], исследование его обогатимости [10], совершенствование и разработка новых технологических процессов и схем комплексной переработки минерального сырья приобретают особую актуальность в условиях рыночной экономики [7].

Для Урала и Сибири, где местной железорудной базой черной металлургии в перспективе могут быть титаномагнетиты, эти задачи стоят особо остро.

Поэтому ведется непрерывный поиск новых решений, как способов производства металла, так и схем его организации при переработке этого сырья.

Опыт работы предприятий с полным металлургическим циклом, перерабатывающих титаномагнетитовое сырье, свидетельствует о специфике в организации производства, прежде всего при выплавке чугуна, связанной с наличием титана в рудах [1].

В последние годы активно ведутся исследования по поиску новых решений по переработке титаномагнетитовых руд. К поставленной проблеме привлечены горняки и металлурги. Разрабатываемые новые технологии обогащения, металлургии и химии ванадия ориентированы на решение проблемы железорудной базы черной металлургии России. Разработанные технологии позволяют получать железованадиевые и ильменитовые концентраты по магнитно-гравитационным и магнитно-флотационным технологиям [7,18], осуществлять селективное выделение металлов с использованием предварительного восстановительного обжига [16,19], повысить комплексность обогащения применением кусковой и мелкозернистой магнитной сепарации [11].

Для повышения эффективности реализации проектов отработки титаномагнетитовых месторождений следует использовать рычаги государственной поддержки и возможностей развитой базы старопромышленных регионов [21].

Вовлечение в активный баланс железорудного сырья титаномагнетитовых месторождений – это сложный путь. Отдельные этапы новых технических решений по схеме переработке титаномагнетитовых руд апробированы в промышленности. Однако, учитывая масштабность и стратегическую значимость задачи, целесообразно расширить объемы исследований и переходить на сквозные промышленные испытания вариантов ее решения.

### **Список литературы**

1. Борисенко Л.Ф., Делицин Л.М. Перспективы освоения титанового сырья в // Горная промышленность. – 1996. № 4. С. 23-25.
2. Резниченко В.А., Шабалин Л. И., Манохин А. И. Титаномагнетиты: месторождения, металлургия, химическая технология. М: Наука, 1986. 294 с.
3. Федосеев В.А., Федосеев С.В. Проблемы воссоздания минерально-сырьевой базы титанопотребляющих отраслей промышленности России // Горный журнал. 1999. № 10. С.30-32.
4. Проблемы комплексной переработки титаномагнетитов Южного Урала: материалы научно-технической конференции / под ред. Г.В. Монетова. Магнитогорск: МДП, 2001. 126 с.
5. Деркач В.Г. Обогащение титановых руд на зарубежных обогатительных фабриках // Фабрики для обогащения титановых руд: сб. пер. ст. –Л. 1958. С. 5-17.
6. Состояние и перспективы развития сырьевой базы ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» / В.И. Гладких, С.В. Гром, К.А. Емелин, В.Б. Чижевский, О.П. Шавакулева // Горный журнал «Черные металлы». Специальный выпуск. 2012. С.12-14.
7. Чижевский В.Б., Шавакулева О.П., Гмызина Н.В. Обогащение титаномагнетитовых руд Южного Урала // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №2(38). С. 5-7.
8. Шавакулева О.П. Обогащение титаномагнетитовых руд// Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы ХУП Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2012. С. 39-41.
9. Чижевский В.Б., Шавакулева О.П. Технология обогащения титаномагнетитовых руд Чернореченского месторождения // Современные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья: материалы Международного совещания «Плаксинские чтения-2012». Петрозаводск, 2012. С. 291-292.
10. Чижевский В.Б., Шавакулева О.П. Обогащаемость различных типов титаномагнетитовых руд // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2011. С. 529-531.
11. Терещенко С.В., Алексеева С.А., Черноусенко Е.В., Нерадовский Ю.Н. К проблеме обогащения титаномагнетитовых руд Кольского полуострова // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. Апатиты: Изд-во ФГБУН «Геологический институт Кольского научного центра Российской академии наук», 2017. № 14. С. 330-333.
12. Дмитриев А.Н. Современное состояние и перспективы использования титаномагнетитовых руд Свердловской области // Труды Конгресса с международным участием и Конференции молодых ученых, V Форума. Редакционная. – Екатеринбург: Изд-во ФГБУН «Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук», 2017. С. 141-143.
13. Дмитриев А.Н., Носков В.Ю. Физико-химические и теплофизические основы переработки титаномагнетитовых руд // Металлург. 2017. № 5. С. 42-45.
14. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М. оценка влияния минерального состава титаномагнетитовой руды на результаты магнитного обогащения // Обогащение руд. 2017. № 4 (370). С. 36-41.
15. Предварительная оценка технологических типов титаномагнетитовых руд /В.Д. Кантемиров, А.М. Яковлев, Р.С. Титов, М.В. Козлова // Обогащение руд. 2018. № 3 (375). С. 56-60.

16. Валиев Х.Р., Хожиев Ш.Т., Файзиева Д.К. Исследование селективного извлечения металлов из титаномагнетитовых руд // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. Пенза: Изд-во МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. С. 145-147.
17. Кожевникова А.О., Пелевин А.Е. Получение ильменитового концентрата из титаномагнетитовой руды // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – регионам». Уральская горнопромышленная декада: материалы конференции. Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного горного университета, 2019. С. 247-248.
18. Колокольцев В.М., Гришин И.А. Перспективы развития минерально-сырьевой базы черной металлургии на Южном Урале // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. Бишкек: Изд-во Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, 2018. № 3(47). С. 133-140.
19. Шавакулева О.П., Дегодя Е.Ю. Технологические свойства титаномагнетитовой руды // Актуальные проблемы горного дела. №4. 2017. С.40-44.
20. Корнилов С.В., Дмитриев А.Н., Пелевин А.Е. Комплексное решение вопросов глубокой переработки текущих отходов титаномагнетитовых руд // Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований «Техноген-2019»: труды конгресса с международным участием и конференции молодых ученых. Екатеринбург: Изд-во ФГБУН «Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук», 2019. С. 56-60.
21. Садыхов Г.Б. Фундаментальные проблемы и перспективы использования титанового сырья в России // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2020. Т. 63. № 3-4. С. 178-194.
22. Точило М.В. Оценка вероятности реализации проектов отработки месторождений диоксида титана Северо-Западного региона // Вестник Евразийской науки. 2019. Т.11. № 2. С. 49.

#### **Сведения об авторах**

**Сединкина Наталья Анатольевна** – канд. техн. наук., доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: [magnetyt@mail.ru](mailto:magnetyt@mail.ru)

**Жуматий Александр Геннадьевич** – начальник карьера Рудника ГОП ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Россия. E-mail: [zhumaty74@mail.ru](mailto:zhumaty74@mail.ru) **Гаврилов Виталий Геннадьевич** – мастер участка Рудника ГОП ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Россия. E-mail: [nat.gawrilowa2012@yandex.ru](mailto:nat.gawrilowa2012@yandex.ru)

**ПОВЫШЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОСТИ ФЛОТАЦИИ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ РУД ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

Романенко С.А., Ушаков Е.К.

**Аннотация.** Активация поверхности цинковых минералов при селективной флотации медно-цинковых руд приводит к снижению контрастности сульфидов меди и цинка, что приводит к повышенным содержаниям последнего в медном концентрате, снижая его качество и нарушая селективность флотационного процесса в целом. Основным фактором, способствующим флотации цинка, является нарушение образования металсульфитных комплексов, являющихся, в свою очередь, депрессорами сфалерита. Данные комплексы образуются при определенном значении электрохимического потенциала пульпы. Вследствие многокомпонентности измеряемой среды поддержание окислительно-восстановительного потенциала пульпы при использовании только рН электрода не всегда обеспечивает получение высоких технологических показателей обогащения. Применение биметаллической пары Cd и Mo электродов для поддержания электрохимического потенциала пульпы при селективной флотации медно-цинковой руды Артемьевского месторождения позволяет достигать высокой степени селективности флотационного процесса. Применение данной технологии на базе прямой потенциометрии флотационных потоков позволяет достигать высоких технико-экономических показателей селективной флотации медно-цинковых руд.

**Ключевые слова:** флотация, селекция, прямая потенциометрия, нейросетевое моделирование, медно-цинковая руда.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Проект № 19-17-00096).*

**Введение**

Флотация является сложным физико-химическим процессом, заключающимся в создании условий для избирательной сорбции реагентов, формировании поверхностных пленок, определяющих гидрофобные и гидрофильные свойства поверхностей разделяемых минералов.

Известно, что электрохимические реакции, протекающие на поверхности минералов при флотации, изменяют электрохимический потенциал пульпы. Одним из методов диагностирования различных физико-химических величин в ходе протекания реакции является прямая потенциометрия. При наличии какой-либо электрохимической реакции на поверхности происходит падение свободной энергии системы, которая связана со значением электродного потенциала [1-5].

Применяемые реагенты, участвующие в процессе селективной флотации, и их концентрация влияют на получаемые технологические показатели. Электрохимическая природа реакций, протекающих на поверхности минералов, позволила использовать второй закон термодинамики для управления флотационного процесса [6].

Установившийся равновесный потенциал электрода  $E_{\text{равн}}$  зависит от активности компонентов Redox-системы в приэлектродном пространстве  $a_{\text{ок}}$  и  $a_{\text{восст}}$ . Когда скорости переноса электронов компонентами Redox-пары в единицу времени становятся равными, вся система приходит к динамическому равновесию, подчиняясь общему принципу Ле-Шателье [8], а электрод приобретает равновесный потенциал  $E_{\text{равн}}$ . Данный эффект описывается уравнением Нернста [7]:

$$E_{\text{равн}} = E_{\text{ок/восст}}^0 - \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln \frac{[a_{\text{ок}}]}{[a_{\text{восст}}]}$$

где  $E_{\text{ок/восст}}^0$  – стандартный электродный потенциал, мВ;

$n$  – число электронов, принимающих участие в электродной реакции;

$F$  – постоянная Фарадея, Кл/моль;

R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура, K;

$[a_{ок}]$ ,  $[a_{восст}]$  – активности соответственно окисленной и восстановленной форм вещества.

Безусловно, вследствие многокомпонентности измеряемой среды селективность применяемых электродов не является абсолютной. Вследствие этого, на практике чаще всего с целью достижения максимальных технологических показателей используется эмпирический метод поиска оптимальных электрохимических характеристик пульпы для управления технологическим процессом флотации с помощью метода прямой потенциометрии [3,4]. Целью данной работы стало изучение возможности применения метода прямой потенциометрии для повышения технологических показателей селективной флотации на примере медно-цинковых руд.

### **Методы и объекты исследования**

Объектом исследований послужила Cu-Zn-руда Артемьевского месторождения, предварительно раздробленная до класса крупности -2 мм.

С целью всесторонней оценки изучаемой пробы руды были проведены исследования минералогического и химического состава.

Средний минеральный состав пробы подсчитан оптико-геометрическим методом по МР НСОММИ №180. При диагностике нерудных минералов были использованы данные микро-рентгеноспектральным анализом. Минеральный состав исходной Cu-Zn-руды Артемьевского месторождения представлен в таблице 1.

Таблица 1

Минеральный состав исходной руды

Наименование минерала / группа минералов	Содержание, %	Наименование минерала / группа минералов	Содержание, %
Нерудные		Рудные	
Кварц	43,62	Пирит	4,8
Хлорит (Fe-Mg)	21,4	Блеклая руда	0,10
Мусковит	16,1	Галенит	0,02
Альбит	2,8	Ковеллин	0,01
<b>Всего нерудные</b>	83,92	Пирротин	ед.з.
Рудные		Борнит	ед.з.
Сфалерит	6,5	<b>Всего рудные</b>	16,08
Халькопирит	4,6	Итого	100,00

Согласно результатам минералогического исследования, представленным в таблице 1, установлено, что в исходной руде преобладают нерудные минералы (хлорит, мусковит, альбит и кварц), суммарное содержание которых составляет более 80%. Согласно диаграмме флотоактивности алюмосиликатов, разработанной А.А. Абрамовым, флотационная активность последних резко возрастает при pH более 11, что обуславливает недопустимость ведения флотационного процесса в высокощелочной среде. Также в случае попадания данных рудных компонентов в циклы перечистки возникают существенные сложности с получением кондиционных концентратов [8].

Среди рудных минералов преобладает сфалерит, халькопирит и пирит. Также отмечается присутствие блеклых руд.

В табл. 2 приведен химический анализ исходной пробы Cu-Zn-руды Артемьевского месторождения.

Для проведения лабораторных исследований была применена система электрохимического контроля, которая состоит из следующих элементов: мультиканальный pH-метр EMF-16, электроды: pH, Mo, Cd, Ag<sub>2</sub>S и Pt.

С целью оценки влияния тех или иных параметров была рассчитана нейросетевая модель в пакете STATISTICA 12.6.

Таблица 2

Химический состав исходной руды

Компонент	Массовая доля, %	Компонент	Массовая доля, %
Cu	1,49	Si в пересчете на SiO <sub>2</sub>	48,94
Pb	0,01	Al в пересчете на Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,61
Zn	4,26	Mg в пересчете на MgO	5,71
Fe общ.	10,91	Ca в пересчете на CaO	0,46
S общ.	11,87	BaO	0,063
S сульф.	11,45	Другие	<0,038

Расчет эффективности селективной флотации произведен по уравнению Тюренкова:

$$E = 100 - (\varepsilon + \varepsilon_n), \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  – извлечение полезного компонента в продукт, %;  $\varepsilon_n$  – извлечение неполезной части в хвосты, % [9].

Для дальнейшего наглядного представления результатов селективности из формулы (2) была исключена константа, таким образом выражение было преобразовано:

$$E = \varepsilon + \varepsilon_n \quad (3)$$

### Результаты и обсуждение

Наличие во флотационной пульпе огромного количества различных солей, а также частичного растворения минералов и гидроокисей в пульпе влияет на поверхностные свойства разделяемых минералов, изменяя их флотируемость, тем самым являясь причиной нарушения селективной флотации Cu-Zn руд.

По причине ненадежности рН систем, вследствие конструкционных особенностей, в данной работе был осуществлен поиск альтернативных методов процесса оптимизации ионного состава пульпы.

Для оценки влияния электрохимических характеристик пульпы на получаемые технологические показатели флотации была проведена серия опытов в открытом цикле.

Технологическая схема проведения данных флотационных опытов представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Технологическая схема проведения серии флотационных опытов

Расход CaO в мельницу в данной серии опытов представлена в табл. 3.

Таблица 3

Расход СаО в мельницу в проведенной серии флотационных опытов

Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7
Расход СаО, г/т	550	450	850	300	300	450	850

По результатам проведенных опытов были получены технологические показатели Cu концентратов, представленные в табл. 4.

Таблица 4

Технологические показатели полученных концентратов проведенной серии опытов

Номер опыта	Выход концентрата, %	Содержание, %			Извлечение, %		
		Cu	Zn	Fe	Cu	Zn	Fe
1	7,30	13,88	7,77	19,42	71,05	13,38	13,71
2	5,54	17,32	6,09	28,35	71,02	7,76	15,11
3	5,75	16,24	6,80	29,71	66,17	8,91	15,46
4	10,50	9,60	7,17	31,47	71,34	17,23	29,49
5	7,05	9,19	6,31	34,03	45,71	10,29	25,04
6	5,10	17,68	6,50	24,92	67,11	7,71	11,55
7	6,51	14,53	7,48	28,91	69,50	11,38	16,65

Для более наглядного представления результатов флотационного обогащения, представленных в табл. 3, построены зависимости извлечения Cu и Zn в концентрат от содержания данных компонентов в нем соответственно (рис. 2, 3).

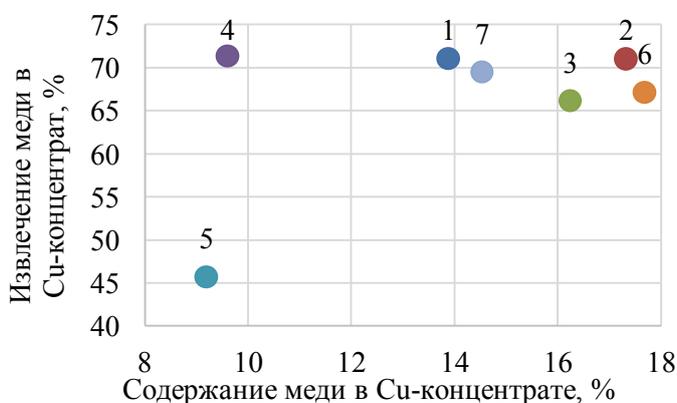


Рис. 2. Зависимость извлечения меди в Си-концентрат от его содержания в нем, %

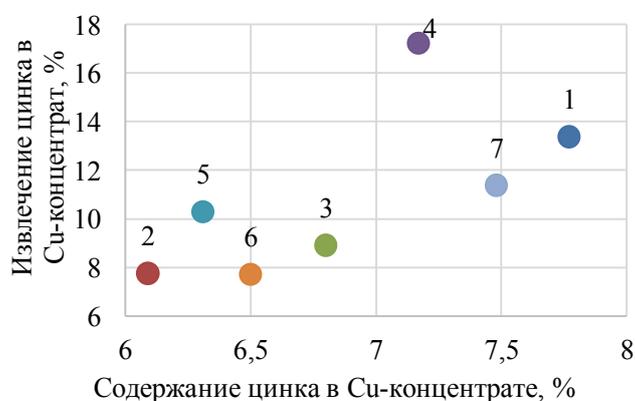


Рис. 3. Зависимость извлечения цинка в Си-концентрат от его содержания в нем, %

Как видно из рис. 2 и 3, наиболее высокие показатели по извлечению и содержанию меди в Си-концентрате достигаются в опытах № 2 и 6. Для опытов с повышенной дозировкой извести в мельницу (опыты № 3 и 7) отмечается снижение показателей, также фиксируется ухудшение селективности по отношению к опытам № 2 и 6, что связано с флотацией цинковых минералов вследствие нарушения образования металлсульфитных комплексов.

Для флотационных опытов с более низкими дозировками извести в мельницу замечен процесс флотации алюмосиликатов, что подтверждается кривыми обогатимости по показателю селективности и более высоким выходом концентрата в данных опытах по отношению к остальным.

Одним из факторов ухудшения селективности флотационного процесса по отношению к цинковым минералам является нарушение окислительно-восстановительного потенциала пульповых продуктов, оптимальный уровень которого обуславливает формирование металлсульфитных комплексов, являющихся, в свою очередь, депрессорами сфалерита.

Результаты электрохимических измерений разгрузки мельницы представлены в табл. 5.

Согласно результатам серии опытов, представленных в табл. 5, можно заметить, что в парах опытов 4 и 5, 2 и 6, 3 и 7 наблюдаются различные значения pH пульпы при одинаковых расходах CaO, что может быть связано с различными исходными электрохимическими характеристиками представленных проб руды.

Таблица 5

Значения электрохимических потенциалов исходного питания флотации «медной головки» (слив лабораторной мельницы)

Номер опыта	pH	Электродный потенциал, мВ			
		Pt	Ag <sub>2</sub> S	Mo	Cd
1	9,99	-50,55	-215,71	-410,35	-759,53
2	9,98	-35,30	-150,09	-353,34	-762,49
3	10,52	-34,76	-119,06	-354,79	-699,16
4	9,30	-152,84	-253,02	-380,36	-770,45
5	8,67	-321,77	-283,97	-343,51	-761,93
6	9,92	-37,18	-121,41	-335,22	-762,07
7	10,47	-59,05	-123,50	-358,03	-761,61

При обработке результатов электрохимических измерений по проведенной серии опытов для операции флотации «медной головки» была рассчитана нейросетевая модель ОРНС 4:4-19588-3-2:2 [10]. Оценка значимости входящих переменных (pH, разница потенциалов Cd- и Mo- электродов, разница потенциалов Ag<sub>2</sub>S- и P-t электродов) на выходящие функции (извлечение и содержание меди в Cu-концентрате) представлена в табл. 6.

Таблица 6

Анализ чувствительности

	pH	Разница потенциалов Cd- и Mo- электродов	Разница потенциалов Ag <sub>2</sub> S- и P-t электродов
Отношение	1,859	1,393	1,239
Ранг	1	2	3

Согласно результатам нейросетевого моделирования, представленным в табл. 6, наиболее значимыми контролирующими параметрами являются уровень pH (ранг 1) и разница потенциалов между Cd- и Mo-электродами (ранг 2).

На рисунке 4 представлено влияние значения pH на селективность технологического процесса в операции флотации Cu-головки.

Влияние разницы потенциалов между Cd- и Mo-электродами на селективность технологического процесса в указанной операции представлено на рис. 5.

Как видно из представленной диаграммы на рис. 4, оптимальный уровень pH для максимальной селективности флотационного процесса находится в диапазоне значений 9,6-10,5 pH.

Из представленной диаграммы на рис. 5 видно, что максимальная селективность технологического процесса достигается при поддержании электрохимического потенциала биметаллической пары (Cd-Mo-электроды) на уровне -470±10 мВ.

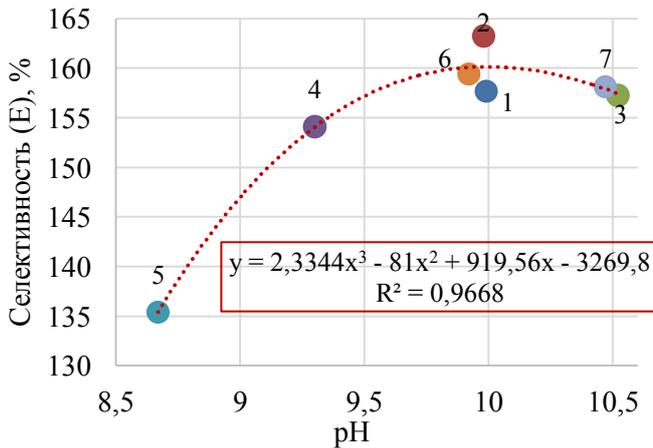


Рис. 4. Зависимость селективности технологического процесса в операции флотации Cu-головки от значения рН. Точки соответствуют опытам 1-7

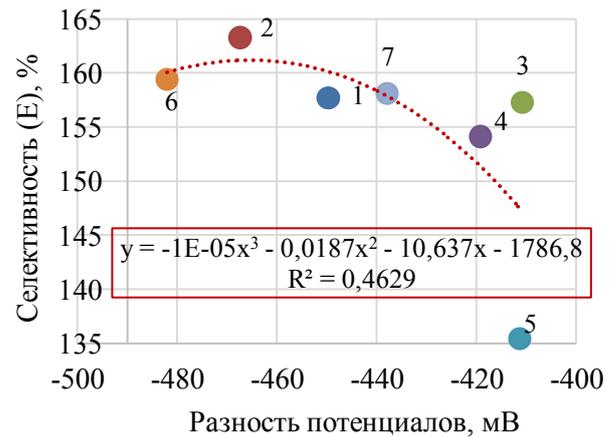


Рис. 5. Зависимость селективности технологического процесса в операции флотации Cu-головки от значения разности потенциалов Cd- и Мо-электродов

### Заключение

Проведенная в открытом цикле серия флотационных опытов, по оценке влияния вариации подачи СаО на технологические показатели, позволила выявить необходимые параметры ведения флотационного процесса.

Значение рН, при котором обеспечиваются наиболее высокие технологические показатели, порядка 10 ед., что связано в первую очередь с особенностями минералогического состава Cu-Zn-руды Артемьевского месторождения (присутствие алюмосиликатов и выщелачивание ионов железа и меди).

Электрохимический потенциал биметаллической пары в диапазоне от -460 до -480 мВ, регулируемый посредством дозировки известкового молока, измеренный непосредственно перед подачей собирателя, формирует благоприятные условия для образования металлсульфитного комплекса. Выбранная точка контроля учитывает особенности перерабатываемого сырья, а именно скорость протекания окислительно-восстановительных реакций, что в значительной степени определяет формирование указанного комплекса в необходимой точке флотационной схемы и, следовательно, определяет селективность флотационного процесса.

В опыте № 2 были достигнуты следующие технологические показатели: извлечение меди в медный концентрат – 71,02 % при содержании меди в нем 17,32 %; извлечение цинка в медный концентрат – 7,76 % при содержании цинка в нем 6,09 % и селективности флотационного процесса порядка 163%.

На сегодняшний день существуют технологии на базе прямой потенциометрии флотационных потоков, например «Smart Ion» и «Chena», которые устанавливаются непосредственно на технологическом процессе и обеспечивают поддержку определенного ионного состава пульпы с целью получения высоких технико-экономических показателей в условиях вариативности перерабатываемого сырья.

### Список литературы

1. Aleksandrova T., Romanenko S., Arustamian K. Research of slurry preparation before selective flotation for sulphide-polymetallic ores // IMPC 2018 - 29th International Mineral Processing Congress. 2019. Pp. 2071-2078.
2. Kuznetcov V.V., Aleksandrova T.N. Methods for efficiency evaluation of flotation recovery of precious metals from sulphide raw materials. // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources - Proceedings Of The International Forum-Contest of Young Researchers, 2018. 2019. Pp. 211-216.

3. Arustamyan K.M., Romanenko S.A. Reclaimed water treatment for production data improvement in terms of Nikolaevskaya Processing Plant. // Gornyi Zhurnal. Issue 11 2016. Pp. 60-64. DOI 10.17580/gzh.2016.11.11.

4. Romanenko S.A. Effectiveness of multi-sensor ionometry systems and neural network modeling methods application in flotation processes laboratory studies. Obogashchenie Rud. Issue 1. 2013. Pp. 18-22.

5. . New approach to regulating the flotation process of selecting sulphide minerals from pyrite in a lime environment / Etelapaa M., Petrov A.V., Romanenko S.A., Sufianov F.S., Balmanova A.Z // 26th International Mineral Processing Congress, IMPC 2012: Innovative Processing for Sustainable Growth - Conference Proceedings. 2012. Pp. 4508-4515.

6. Scientific substantiation and practical realization of selective comminution process of polymetallic mineral raw materials / Lieberwirth H., Popov O., Aleksandrova T., Nikolaeva N. // E3S Web of Conferences. Vol. 192, 30 September 2020. Article number 02003. DOI 10.1051/e3sconf/202019202003.

7. Курс физической химии. /Я.И. Герасимов, В.П. Древинг, Е.Н. Еремин и др.; под общ. ред. Я.И. Герасимова. М.: Химия, 1973. Т. 2. 623 с.

8. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных Т. 1. Обогащительные процессы и аппараты. – Изд-во Московского государственного горного университета. Москва, 2004. 470 с.

9. Барский Л.А., Козин В.З. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. М.:«Недра», 1978. 486 с.

10. Ushakov E., Aleksandrova T., Romashev A. Neural network modeling methods in the analysis of the processing plant's indicators. // Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 1259 AISC. 2021. Pp. 36-45. DOI: 10.1007/978-3-030-57453-6\_4

#### **Сведения об авторах**

**Романенко Сергей Александрович** – Начальник лаборатории НМФО ООО «МЭК-Майнинг», г.Санкт-Петербург, Россия, sromanenko@yandex.ru

**Ушаков Егор Константинович** – Инженер-технолог ООО «МЭК-Майнинг», г. Санкт-Петербург, Россия, s195065@stud.spmi.ru

**Голик Владимир Иванович**

Доктор технических наук, профессор кафедры «технология разработки месторождений» Северо-Кавказского горно-металлургического института (СКГТУ) Голик Владимир Иванович родился – 1 мая 1940 г. в станице Васюринская Динского района Краснодарского края. С 1 по 6 класс учился в пос. Судоверфь Камчатской обл. В 1957 г. окончил с золотой медалью среднюю школу в с. Трехсельское Успенского района Краснодарского края.

В 1962 г. окончил Северо-Кавказский горно-металлургический институт, получив звание «горный инженер» по специальности «разработка месторождений полезных ископаемых».

Начал трудовую деятельность в Садонском свинцово-цинковом комбинате, где в 1962 - 1966 г. прошел ступени горного линейного надзора: горный мастер, начальник участка, зам. главного инженера рудника. В 1966-1990 г. работал на горных предприятиях Первого Главного Управления Министерства среднего машиностроения СССР в должностях: начальник участка, главный инженер рудника, зам. начальника ПТО Целинного горно-химического комбината (Казахстан), начальник ПТО Приаргунского горно-химического комбината (г. Краснокаменск, Читинской области), главный инженер рудоуправления №4 Целинного горно-химического комбината (п. Красногорск, Тургайской обл.).

В период освоения урановых месторождений Северного Казахстана участвовал в разработке технологий добычи руд, в частности, с управлением состоянием массива закладкой пустот твердеющими смесями из отходов горного и смежных производств, технологии добычи металлов выщелачиванием, создании и освоении буровой и доставочной техники нового поколения с электрогидрофицированным приводом и др. Руководил проходкой горной выработки одним забоем сечением 7,4 м<sup>2</sup> со скоростью 805,2 метров в месяц.

Принимал участие в общественной деятельности, в частности, был членом Президиума общества «Знание» Казахской ССР и председателем общества «Знание» г. Степногорск Казахской ССР.

Без отрыва от производства защитил диссертации:

- кандидатскую: «Исследование и усовершенствование систем разработки и технологии очистной выемки рудных тел средней мощности со сложной морфологией», Москва, 1974, ВНИИХТ,

- докторскую: «Технологии погашения выработанного пространства с сохранением земной поверхности при разработке сложно-структурных месторождений», Москва, 1990, МГРИ.

В 1991г. на альтернативной основе был избран деканом горно-геологического факультета СКГТУ, где работал в течение 15 лет. С 2006 г. по 2008 г. работал заведующим кафедрой «технология разработки месторождений». В настоящее время – профессор этой кафедры.

В настоящее время профессор кафедры Северо-Кавказского государственного технологического университета, профессор кафедры Южно-Российского государственного технологического университета, главный научный сотрудник лаборатории горнопромышленной экологии и безопасности жизнедеятельности Центра геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства РСО–Алания.

Принимал активное участие в проектировании и осуществлении проектов горного направления, например, проходка Зарамагского водопроводного комплекса.

Направления научной деятельности: управление состоянием рудовмещающих массивов при добыче руд, добыча металлов подземным, кучным и скважинным выщелачиванием, утилизация отходов горной добычи и переработки с повышением качества компонентов подготовкой в активаторах, проходка горных выработок скоростными темпами, горная экология, природоохранная техника и технология, экономика недродопользования. Основатель направления

«утилизация отходов переработки руд с извлечением металлов выщелачиванием в дезинтеграторе».

Автор до 1000 научных трудов, в том числе, до 70 монографий, учебников и учебных пособий, 35 патентов и свидетельств на изобретения 4 поэтических сборников и книг «Горняки урановой империи» и «Осетия глазами друга».

Действительный член Российской Академии горных наук, Российской академии естественных наук, Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности.

Член диссертационных советов СКГТУ, ЮРГТУ и ГГНТУ. Выпустил 40 докторов и кандидатов наук.

Заслуженный деятель науки Российской Федерации и РСО – Алания. Почетный работник высшего профессионального образования РФ. Полный кавалер знака «Горняцкая слава». Ветеран атомной промышленности. Почетный член Союза горняков и металлургов Саксонии. Заслуженный профессор ЮРГТУ, ЮИМ, Экибастузского ИТИ, СКГТУ. Действительный член РАГН, РАЕН, МАНЭБ. Член редколлегии журналов Известия Тул ГУ, Известия ТПУ, Устойчивое развитие горных территорий, Безопасность труда в промышленности, CSITA(Украина), Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, Известия УГГУ, Маркшейдерия и недропользование, Актуальные проблемы горного дела, Вектор геонаук.

Федеральный эксперт научно-технической сферы.

Награды: медаль в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина, 1970 г. Знак «Победитель социалистического соревнования 1973 г.». Медаль имени В.А. Легасова, 1999 г. Орден «Звезда ученого» (МАНЭБ), 2002 г. Медаль «100 лет профсоюзам России», 2008 г.

Обладатель грантов:

- Исследование и разработка инновационных технологий комбинированной механохимической активации извлечения металлов из некондиционного сырья.

- Снижение риска и уменьшения последствий техногенных катастроф путем создания экологически безопасных технологий разработки техногенных месторождений с добычей из них полезных компонентов методами механохимической активации.

- Разработка безотходных экологически безопасных способов добычи и переработки руд месторождений Северного Кавказа на основе комбинирования традиционных и инновационных технологий.

- Разработка инновационных технологий повышения качества твердого, жидкого и сыпучего минерального сырья активацией в дезинтеграторах, с целью решения проблемы утилизации отходов добычи, снижающих негативное влияние на окружающую среду.

Женат. Двое детей 1962 и 1968 г. рождения, 4 внука и 1 правнук. Отличается любовью к земле, в годы развития садово-огородных кооперативов имел один из лучших участков в кооперативе СКГМИ (РСО-Алания). Руководитель традиционных застольных церемоний в РСО-Алания.