

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»



Кафедра горного дела



**IX Международная научно-техническая конференция
«ИННОВАЦИОННЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ
ПРИ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ»**

6-7 апреля 2020 г.
Сборник докладов

Ответственный за выпуск
доктор технических наук, профессор Н. Г. Валиев

Екатеринбург – 2020

Оргкомитет: **Валиев Н. Г.** – советник ректора УГГУ, зав. каф. горного дела УГГУ, д. т. н., проф.

Соколов И. В. – директор ИГД УрО РАН, д. т. н.;

Лель Ю. И. – зав. каф. разработки месторождений открытым способом УГГУ, д.т.н., проф.

Пропп В. Д. – зам. зав. каф. горного дела УГГУ, проф., к. т. н., доцент.;

Волков М. Н. – декан ГТФ, зав. каф. шахтного строительства УГГУ, канд. техн. наук, доцент.

Демин В. Ф. – проф. каф. разработки месторождений полезных ископаемых КарГТУ, (Республика Казахстан), д. т. н., проф.;

Набиуллин Ф. М. – генеральный директор ООО «Березовский рудник»;

Салахияев Р. Г. – главный инженер ОАО «Ураласбест»;

Кутенев А. А. – советник генерального директора ОАО «Урал-АТИ», к. т. н.;

Здоровец И. Л. – главный инженер артели старателей «Нейва»;

Эшмуродов З. О. – доц. кафедры автоматизации и управления НГГИ, (Республика Узбекистан), к. т. н.;

Арефьев С. А. – доц. кафедры горного дела УГГУ, к. т. н., доцент

Печатается по решению Редакционно-издательского совета
Уральского государственного горного университета

Оргкомитет не несет ответственности за содержание опубликованных материалов.
Эта книга или ее часть не могут быть воспроизведены в любой форме без письменного разрешения издателей.

М 43 **IX Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений»**, г. Екатеринбург, 6-7 апреля 2020 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 2-11 апреля 2020 г.): сборник докладов / Оргкомитет: Н. Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. – 307 с.

Доклады IX Международной научно-технической конференции «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений» в рамках Уральской горнопромышленной декады в Уральском государственном горном университете посвящены обсуждению результатов фундаментальных и прикладных исследований по проблемам наук о Земле, вопросам, связанным с использованием компьютерных технологий в горном деле, внедрению новых методов геометризации и прогнозирования состояния геологической среды, повышению уровня подготовки горных инженеров.

Публикуемые материалы могут представлять интерес для студентов, аспирантов, профессорско-преподавательского состава вузов, реализующих программы высшего профессионального образования в области горного дела, а также для специалистов науки и производства горнопромышленного комплекса.

© Уральский государственный горный университет, 2020

© Авторы, постатейно, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВАЛИЕВ Н. Г., ПРОПП В. Д., ВАНДЫШЕВ А. М. Кафедре горного дела УГГУ – 100 лет	6
ПОДЗЕМНАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ	19
АРЫСТАН И. Д., МАТАЕВ А. К., ТАЛИЕВ А. Технология изучения угольных пластов	19
МУСИН А. А., ИМАШЕВ А. Ж., ТАХАНОВ Д. К., СУДАРИКОВ А. Е. Пути снижения потерь и разубоживания руды при отработке маломощных жильных месторождений системой подэтажного обрушения	23
КОРНИЛКОВ С. В., ПОТАПОВ В. Я., ПОТАПОВ В. В., ГУСМАНОВ Ф. Ф., ГРЕБЕНКИН С. М. Расчет арочных и рамно-анкерных крепей по методу предельного равновесия	30
ВАНДЫШЕВ А. М., ТЮЛЬКИН В. П., ПОТАПОВ В. В. Пути повышения эффективности отработки мощных пластов угля	37
ТИМОХИН А. В., КАНТЕМИРОВ В. Д., ТИТОВ Р. С., КОЗЛОВА М. В. Потенциальные (прогноз) и фактические сигналы окислов (ат. № ≤ 20, включая Са) в геометрическом картировании сортов на залежах магнезитов и бокситов (из архивов изучения карбонатно-терригенных месторождений)	43
БЕРКОВИЧ В. Х., ПРОПП В. Д., СТАРЦЕВ В. А. Инъекционный способ возведения искусственных целиков	51
БАИЗБАЕВ М. Б., АБЕУОВ Е. А., МАЛЬЧЕНКО Т. Д., АБДИЕВА Л. М. Влияние техногенных факторов на эффективность комбинированной разработки рудных месторождений	55
УСОВ Г. А., ФРОЛОВ С. Г., ХЛЫНОВА Т. В., РЮМИН Н. А. Современные методы активации технологических материалов в горной промышленности	63
УСОВ Г. А., ФРОЛОВ С. Г., ХЛЫНОВА Т. В., АКИМОВ Д. К. Исследование степени влияния добавки фуллероидного материала “ДМФ” на реологические и прочностные свойства мелкозернистого бетона	70
ОТКРЫТАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ	77
КОРОСТОВЕНКО В. В., МОРОЗОВА Н. В., ЕГОРОВА Е. Л., МОРОЗОВ В. Н. Обоснование параметров горизонтальных дрен при подготовке искусственных сушенцов	77
КАНТЕМИРОВ В. Д., ТИМОХИН А. В., КОЗЛОВА М. В., ЯКОВЛЕВ А. М. Петрофизические сигналы носителей обменной природы в сортовой геометризации залежей хризотиласбеста и титаномагнетитов по нормам обогащения, как факторы спектрального подобия (из примеров оценки магматических месторождений Урала)..	83
ЛЕЛЬ Ю. И., СТЕНИН Ю. В., КОЛОТУШКИН А. А. Выбор и обоснование эффективной модели экскаватора для доработки центрального карьера Костомукшского железорудного месторождения	88
ЧЕБАН А. Ю. Повышение производительности карьерного комбайна за счет применения перегрузочного агрегата	96
ЧЕБАН А. Ю. Способ доработки тонких рудных тел в прибортовом пространстве карьера	100

ПОКЛОНОВ Д. А. Перспективы применения на открытых горных работах мощных современных гидромониторов	104
СТАРЦЕВ В. А., СТАРЦЕВ Ю. А., СТЕНИН Ю. В., БОЙКОВ И.С. Технологическое обоснование диаметра ячейки барабанного грохота при повторной промывке песков в условиях месторождения «Кондер»	106
ТИМОХИН А. В., КОЗЛОВА М. В. Сортвая геометризация развалов известняка в нормах содового производства по петрофизическим данным (из примеров оксид-метрической оценки карбонатно-терригенных ископаемых на Урале)	113
ЛЕЛЬ Ю. И., ГЛЕБОВ И. А., БУДНЕВ А. Б., ИВАНОВА О. А. Обоснование уклонов автодорог при эксплуатации полноприводных автосамосвалов в глубоких карьерах	121
ВАЛИЕВ. Н. Г., КАЗАНЦЕВ Д. В., ЕРМОЛАЕВ А. И., ТЕТЕРЕВ Н. А. Особенности разработки типового проекта БВР для взрывной отбойки известняков на Кашинском месторождении	127
РОМАШОВ А. Л. ИЛЬ А. П. Безопасный способ добычи известняка без применения буровзрывных работ с помощью горного комбайна 2500 SM Varig в Японии	136
САНДРИГАЙЛО И. Н., АРЕФЬЕВ С. А., ВЕЛИЧКИН Д. Е., СОКОЛОВ В. А. Опыт эксплуатации карьерных автосамосвалов на месторождении «50 лет Октября»	139
ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	18745
НИЯЗОВА С. К. РАХМАТОВ А. А. САИДОВ М. К. Технология предварительного обогащения бедных руд методом рентгенолюминесцентной сепарации	145
УСОВ Г. А., ФРОЛОВ С. Г., ХЛЫНОВА Т. В., ШАЙХУТДИНОВ Д. И. Технология обогащения микронного золота методом диспергирования глинистой составляющей вмещающих пород	148
ПОТАПОВ В. Я., АФНАСЬЕВ А. И., ПОТАПОВ В. В., СТОЖКОВ Д. С. Идентификация углесодержащих формаций в радиометрических сепараторах по электрическим свойствам	155
ТИМОХИН А. В., КАНТЕМИРОВ В. Д., ТИТОВ Р. С. Спектрально-сортвая геометризация габбро по нормам минераловатного производства на основе контактной электрометрии (из петрофизических примеров оксид-метрической оценки магмогенных месторождений Урала)	164
ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ	18769
ЭШМУРОДОВ З. О., ИСМОИЛОВ М. Т. Ё., ОРИПОВА У. З. К. Бесконтактное устройство для коммутации и реверса электродвигателей горных машин	169
ФАЙЗУЛЛИН Р. М. Повышение надежности электрооборудования главных механизмов в процессе эксплуатации буровой установки глубокого бурения	173
ФАЙЗУЛЛИН Р. М. Выбор системы электропривода в целях улучшения работоспособности главных агрегатов буровой установки	176
ДЕНИСОВА М. В., ШАНГИНА Е. И. Стили промышленного дизайна инженерно-технических сооружений в машиностроении	180
ФАЙЗУЛЛИН Р. М., КАРЯКИН А. Л. Типовые режимы работы электропривода	1874
ГЕОМЕХАНИКА	187
ЕФРЕМОВ Е. Ю. Геомеханическое сопровождение разделки сопряжения выработок в высококомодульном массиве горных пород	187

БАЛЕК А. Е. Геомеханическое обеспечение подземной разработки участка второй очереди шахты «Десятилетия независимости Казахстана»	196
ТИМОХИН А. В. Теория и обоснование способа контактной электрометрии в геометрическом картировании пустот и сплошности в поле сигнального наложения гидравлики карстов	201
ГОЛУБКО Б. П., БАБКИНА Е. А. Анализ технологий аэрофотосъёмки с применением БПЛА при разработке месторождений открытым способом.....	207
ПАНЖИН А. А. Идентификация и визуализация геодинамических движений по результатам мониторинговых измерений	213
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	220
ЖУРАВЛЕВ А. Г. Поиск рациональных параметров транспортных систем карьеров с применением цифровых технологий	220
ПРОХОРОВ Д. О. Инвентаризация техногенных образований Подмосковского угольного бассейна	226
БОТИРОВ Т. В., ЛАТИПОВ Ш., БАРАКАЕВ А. М., НАМОЗОВ Н. Синтез интервальных управляющих устройств в адаптивных систем управления с эталонной моделью	231
ВИКТОРОВ С. Д. ЗАКАЛИНСКИЙ В. М. ШИПОВСКИЙ И. Е. МИНГАЗОВ Р. Я. Компьютерное исследование действия взрыва зарядов различной формы	234
ШАНГИНА Е. И. Прикладное значение методов фрактальной геометрии в моделировании земной поверхности.....	241
ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ	250
БОЕВ М. Б., ЁКУБОВ С., ЮСУПОВ С. М. Инновационный подход в формировании профессиональных качеств студентов посредством графических дисциплин	250
БАБИЧ В. Н. СИРАЗУТДИНОВА Н. Б., ФРОЛОВ А. П., ШАНГИНА Е. И. Геометрическое моделирование треугольных матриц	256
ШАНГИНА Е. И., СИРАЗУТДИНОВА Н. Б., ДЕНИСОВА М. В. Инновационные процессы в инженерном образовании	261
НАСОЛДИНА И. Ю. Методика геометро-графической подготовки студентов технического университета	270
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ	276
НАЗАРМАТОВ А. А. СОБИРОВА Ш. Р., НАБИЕВА Д. М. Особенности формирования и порядка учета затрат на разведку и оценку месторождений полезных ископаемых	276
КАЛАНДАРОВ И. И. Управление и эффективность производственным подразделением с единичным типом производства	283
КАБУЛОВ А. В., КАЛАНДАРОВ И. И. Математические методы решения задачи календарного планирования в мелкосерийном и единичном производстве	290
САВИНА Т. Е., ЯКУПОВ И. Ш., КРАЛИН В. С. Применение торрефиката для сбора нефти и нефтепродуктов	297
ДОРОФЕЕВА О. Ю., МОСКВИНА О. А., ЦЕЙТЛИН Е. М. Анализ оборудования для пылеулавливания выбросов дробильно-сортировочных комплексов горнодобывающих предприятий, специализирующихся на добыче и переработке гранита.....	303

КАФЕДРЕ ГОРНОГО ДЕЛА УГГУ – 100 ЛЕТ

ВАЛИЕВ Н. Г., ПРОПП В. Д., ВАНДЫШЕВ А. М.
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

В России начала XX века остро назрела необходимость укрепления минерально-сырьевой базы. Для этого требовалось более интенсивное освоение огромных территорий и ресурсов Урала, Западной и Восточной Сибири. Решение данной проблемы неотвратимо связано с подготовкой инженерных и научных кадров для горнодобывающих отраслей промышленности. В 1914 году императором Николаем II был издан указ об открытии в г. Екатеринбурге горного института. Однако разразившаяся первая мировая война и последовавшая за ней гражданская война затормозили реальное воплощение указа в жизнь.

И только в 1919 году в Уральском горном институте был проведен набор студентов и начались занятия. Основные преподаватели – специалисты были приглашены из среды ответственных работников производства. К этому времени и относится организация первой выпускающей общефакультетской кафедры, которая получила название кафедры *горного искусства*. Основной целью кафедры являлась подготовка специалистов по разработке всех видов месторождений полезных ископаемых.

В жизни кафедры горного искусства и других кафедр, ставших ее правопреемницами, можно выделить несколько этапов: первый этап – с момента организации кафедры, т. е. с 1919 по 1930 гг.; второй этап – с 1931 по 2009 гг. и третий этап – с 2009 г. по настоящее время.

Первым заведующим кафедрой и ее организатором был профессор Александр Иванович Крылов – бывший управляющий угольными копиями. В состав кафедры входили специалисты по разработке всех видов месторождений полезных ископаемых, по проведению горных выработок, по рудничной вентиляции, освещению, рудничному транспорту, бурению разведочных скважин и другим вопросам горного дела.

Однако основную часть преподавательского коллектива во главе с проф. А. И. Крыловым составляли специалисты по разработке угольных месторождений. Многие преподаватели кафедры были приглашены с производства из числа ответственных работников горной промышленности, обладающих глубокими знаниями, организаторскими способностями и имеющих научные труды. К их числу относились бывший управляющий шахтами и рудниками в Донбассе, на Урале и в Кузбассе доцент А. И. Смирнов (вел курс «Разработка угольных месторождений»), бывший управляющий Ленскими золотыми приисками доцент А. Н. Иконицкий (вел курс «Разработка россыпных месторождений»), бывший управляющий шахтой в Донбассе доцент А. П. Шишов (вел курсы «Рудничный транспорт», «Проектирование», «Рудничные пожары», «Освещение», «Спасательное дело»), доцент А. Н. Сидоров (вел курс «Горные работы и взрывные материалы»), преподаватель Б. П. Любимов (вел курсы «Разведка месторождений и бурение», «Крепление горных выработок», «Горнозаводская механика»). На кафедре в момент ее организации также работала доцент Н. И. Трушков (курс «Разработка рудных месторождений»), доцент Е. Н. Барбот-де-Марни (курс «Разработка россыпных месторождений») и с 1921 года преподаватель М. Ф. Ортин (курс «Обогащение полезных ископаемых»).

Кроме штатных работников на кафедре горного искусства в 1920-30 годы работали в качестве совместителей специалисты горных предприятий и учреждений города.

Некоторые из них – Б. А. Стойлов, Б. П. Данилов, Н. А. Стариков, И. С. Покровский – стали впоследствии штатными работниками института.

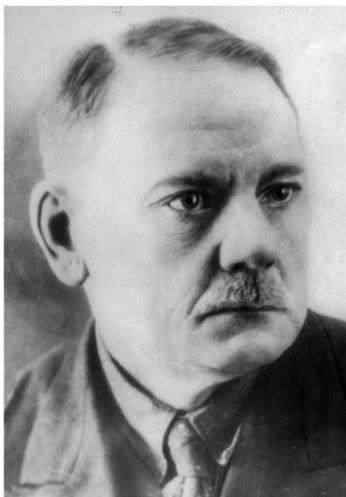
В период с 1919 по 1930 годы кафедра горного искусства готовила горных инженеров широкого профиля без специализации по отраслям промышленности. Первый выпуск горных инженеров (4 человека) состоялся в 1924 году. Всего за 1924-1930 годы кафедра подготовила 22 горных инженера.

С развитием технологии и техники горных работ потребовались инженеры более узкой специализации. Поэтому в 1931 году кафедра *горного искусства* разделилась на 6 кафедр: *разработки пластовых месторождений; разработки рудных месторождений; шахтного строительства; рудничного проветривания и техники безопасности; рудничного транспорта; экономики и организации производства.*

Кафедру разработки пластовых месторождений возглавил Александр Иванович Смирнов, а кафедру разработки рудных месторождений Николай Антонович Стариков.

Именно о становлении и развитии этих двух кафедр и пойдет речь ниже. И так, кафедра разработки пластовых месторождений.

Вместе с профессором А. И. Смирновым на кафедре остались доценты Б. А. Стойлов и С. В. Галкин. Позднее пришли работать на кафедру ее выпускники И. А. Андруков, И. Н. Сидоров, С. Д. Постнов.



Смирнов А.И.

В 1932 году для работы на кафедре был приглашен профессор Сибирского технологического института Л. Д. Шевяков.

Характерным для данного периода был переход на новые учебные планы, освоение новых учебных курсов. Одним из новых предметов был аналитический курс горного искусства. Разработкой его занимался профессор Л. Д. Шевяков. Лекции Льва Дмитриевича, ставшего в последствии академиком, по аналитическому курсу горного искусства пользовались большим успехом у студенческого коллектива, высоко оценивались профессорско-преподавательским составом института. В 1935 году Л. Д. Шевяков издал на стеклографе «Конспект аналитического курса горного искусства», явившимся первым учебным пособием по данному курсу.

Отличным лектором был заведующий кафедрой профессор А. И. Смирнов. Курс «Разработка пластовых месторождений» он читал студентам около 25 лет – в течение всего периода своей научно-педагогической деятельности в Свердловском горном институте (1920-1944 гг).



Шевяков Л. Д.



Опыт и знания, приобретенные при работе на руководящих должностях в угольной промышленности, творческие командировки в Германию и Чехословакию, а также научно-исследовательские работы на шахтах Челябинского бассейна и на рудниках Урала помогли сделать ему свои лекции интересными, насыщенными яркими примерами из отечественной и зарубежной практики.

За период 1931-40 гг. кафедра подготовила 316 горных инженеров.

Великая Отечественная война внесла свои коррективы в работу горного института и его кафедр. Приемы студентов в институт сократились, многие студенты и преподаватели ушли на фронт, ряд преподавателей и научных работников были направлены на производство.

В годы войны на кафедре работами академик Л. Л. Шевяков, профессора А. И. Смирнов, А. М. Цейтлин, доценты Б. А. Стойлов и А. Н. Андреев, асс. Н. И. Голузин, асс. А. А. Павлов.

По состоянию здоровья проф. А. И. Смирнов оставил заведование кафедрой в 1942 году.

Непродолжительное время (1942-1943 годы) кафедрой заведовал профессор А. М. Цейтлин.

С 1943 года кафедру возглавил доцент, канд. техн. наук Борис Алексеевич Стойлов. За годы войны 1941-1945 гг. кафедрой было подготовлено 79 специалистов для горной промышленности.

После окончания войны перед угольной промышленностью встали большие проблемы – восстановление разрушенного войной Донецкого и Подмосковского бассейнов, удовлетворение в топливе народного хозяйства страны. Угольная промышленность испытывала острый недостаток инженерных кадров, так как многие не вернулись с фронтов Великой Отечественной войны. Поэтому из года в год стал увеличиваться прием студентов на специальность.

В 1948 году были организованы Высшие инженерные курсы (ВИК), а позднее – курсы ускоренной подготовки инженеров.

Послевоенный период был наиболее активным периодом работы кафедры по подготовке инженерных кадров. С 1946 по 1960 годы кафедрой было подготовлено и выпущено 1448 специалистов, в том числе 547 человек окончили ВИК и 32 – Курсы ускоренной подготовки инженеров. За этот период был подготовлен 21 инженер для стран народной демократии.



Стойлов А. С.



Коллектив кафедры РИМ в 40^е годы

В годы наибольшего выпуска специалистов коллектив кафедры составлял 12-14 человек. В 1951 году на кафедру был приглашен главный инженер института «Уралшахтопроект» И. С. Богословский, вернулся с производства в институт доцент, канд. техн. наук С. Д. Постнов. После окончания института на кафедре были оставлены молодые инженеры В. А. Подюков, Г. П. Молтусов, К. М. Штукатуров, В. Н. Корнилков, В. И. Матанцев, Ю. Б. Березин.

С 1954 по 1961 гг. кафедрой заведовал доцент, канд. техн. наук И. С. Богословский, а с 1961 по 1963 гг. – доцент, канд. техн. наук С. Д. Постнов.



Богословский И. С.



Постнов С. Д.

В 1961 году на кафедру на должность доцента был приглашен главный инженер проекта института «Уралгипрошахт» Василий Александрович Мичков. В 1963 году он был назначен на должность заведующего кафедрой, в которой проработал до 1980 года. В 1973 году В. А. Мичков успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук на тему «Экспериментальные и экономико-математические исследования способов подготовки угольных месторождений на глубинах 300-600 м». В 1974 году ему было присуждено ученое звание профессора.



Мичков В.А.



Коллектив кафедры РИМ в 70^е годы

За 1965-1985 гг. сотрудниками, аспирантами и соискателями кафедры защищено 30 кандидатских (научные руководители проф. Мичков В. А., доцент Корнилков В. Н.) и две докторские (В. А. Мичков, В. Н. Корнилков) диссертации. Ряд аспирантов, успешно защитивших диссертации, были приглашены для преподавательской работы на кафедре – Г. Е. Лопатин, Г. Т. Грищенко, Л. А. Важенин, А. И. Тучной, Н. Ф. Лобанов, А. М. Вандышев, В. П. Тюлькин, Е. Л. Бейлин.

В 1980 году на должность заведующего кафедрой избирается доцент, канд. техн. наук В. Н. Корнилков, проработавший в этом времени на кафедре 21 год, автор более 120 научных трудов



Корнилков В.Н.



Коллектив кафедры РИМ в 80^е годы

В 1985 году В. Н. Корнилков защитил докторскую диссертацию на тему «Научные основы разработки мощных пологих и наклонных пластов угля без оставления целиков».

В начале 60-х годов на кафедре была организована лаборатория моделирования на эквивалентных материалах. Ввод ее в действие позволил улучшить преподавание и

усвоение студентами вопросов горного давления при ведении очистных работ. Лаборатория моделирования активно использовалась и для выполнения научно-исследовательских работ кафедры.

С 1993 года кафедру возглавил доцент, канд. техн. наук А. М. Вандышев, руководивший в этот период факультетом подземной разработки, а с 1998 г. – доцент, канд. техн. наук Ю. Г. Феклистов.



Вандышев А. М.



Феклистов Ю.Г.

Как уже было сказано выше, кафедра разработки рудных месторождений выделена из существовавшей в то время в институте общефакультетской кафедры горного искусства в 1931 году. Ее основателем и первым заведующим был Николай Антонович Стариков, крупный специалист в области разработки рудных месторождений.



Стариков Н.А.

Выпускник Ленинградского горного института он уже успешно поработал в Кривом Рогу, предложив новый вариант системы разработки с магазинированием руды и выемку подкарьерных целиков подземным способом, Побывал в США на железных рудниках Верхнего Озера и на медных рудниках в штате Монтана. В Уралгипроме, где он работал до горного института, под его руководством были выполнены проекты крупных рудников Высокогорского, Лебяжинского, Гороблагодатского и Бакальского месторождений.

Того, что было сделано Н. А. Стариковым и его сотрудниками, по нынешним меркам хватило бы на современный научно-исследовательский институт. Его деятельность на Урале можно охарактеризовать одной короткой фразой академика Н. В. Мельникова: «Стариков Н. А. создал свою рудную школу и воспитал более 2 тысяч горных инженеров». Особенно «урожайным» для него был 1939 г.: защита докторской диссертации, присвоение звания профессора, награждение орденом «Знак Почета» за работу в медной промышленности. В 1947 г. Н. А. Стариков был переведен в Криворожский горнорудный институт, а через четыре года стал академиком республиканской Академии наук.

При Н. А. Старикове, и много позже кафедра выпускала инженеров по нескольким специальностям: *подземная разработка рудных месторождений и открытая*

разработка полезных ископаемых. В 1934 г. в связи с расформированием Института цветных металлов добавилась еще одна – **разработка россыпных месторождений**, которую стал курировать выпускник нашего института 1930 г., крупный специалист по круглогодичной и цикличной эксплуатации драг Петр Васильевич Ваганов. Он проработал в институте почти 50 лет, занимаясь, все эти годы подготовкой специалистов по разработке россыпных месторождений золота, платины, алмазов. Работая деканом горного факультета с 1943 по 1949 гг., он учил студентов, разгружал с ними вагоны и расчищал станционные пути от снега, проявлял огромную изобретательность, облегчая их жизнь и воспитывая непостижимый по нашим временам патриотизм к своей профессии добытчика золота и драгоценных металлов. Многим аспирантам и работникам производства он открыл дорогу в науку.

В начальный период, когда происходило формирование и развитие кафедры, в ее составе, рядом со Н. А. Стариковым, работали: В. П. Компанеец – специалист по способам разработки руд; П. В. Ваганов – специалист по разработке россыпных месторождений; М. Г. Новожилов – специалист по открытым работам; И. С. Покровский – специалист по разработке и проектированию рудников; Л. Е. Зубрилов – специалист по разработке рудных и россыпных месторождений; П. Э. Зурков – специалист по открытым работам; К. В. Зебзиев, И. П. Кузнецов, С. П. Казаков, П. Т. Васильченков - специалисты по разработке рудных месторождений.

Выпуск инженеров по подземной, открытой разработке месторождений и по разработке россыпей в довоенный период составил 712 человек. Была открыта аспирантура и созданы учебные кабинеты. Среди окончивших институт в 1941 г. был горный инженер Клоков М. И., защитивший диплом с отличием и ставший впоследствии зав. горным отделением Нижне-Тагильского горно-металлургического техникума.

В период военных лет, несмотря на резкое уменьшение числа студентов и преподавателей, на кафедре продолжалась работа.

В этот период на кафедре работали проф. Стариков Н. А., доценты П. В. Ваганов, Б. А. Стойлов, И. Р. Ворошилин, позднее вернувшиеся из армии доценты В. П. Компанеец, М. Г. Новожилов и К. В. Зебзиев. За военный период было выпущено 55 горных инженеров.

После Н. А. Старикова кафедрой до 1961 г. заведовал Василиск Порфирьевич Компанеец.



Компанеец В. П.

В эти годы многое сохранилось таким, как было заведено Николаем Антоновичем, продолжались исследовательские работы на горных предприятиях железорудной и меднорудной промышленности.

В эти годы кафедра ускоренными темпами развертывает научно-педагогическую деятельность. Увеличивается число студентов.

С 1948 г. на кафедре ведется подготовка специалистов для других стран, в первую очередь для Китая, Болгарии, Венгрии, Югославии, Кореи, Монголии. Всего подготовлен 31 инженер, из них 4 получили дипломы с отличием. В 1953 г. подготовлена первая тысяча горных инженеров. Увеличивается и объем учебной нагрузки, так как в этот период кроме очного обучения были организованы Высшие инженерные (1956 г.), а позднее курсы - ускоренной подготовки инженеров.

В 1951 г. после защиты кандидатской диссертации, пришел на кафедру Анатолий Николаевич Иконников, проработавший доцентом до 1966 г., а в период с 1962 по 1963 гг. – заведующим кафедрой.

В 1952 г. оставлен для работы на кафедре ассистентом В. А. Щелканов, проработавший до 1959 г., позднее зам. директора ИГД МЧМ СССР, зав. кафедрой ПРРМ Криворожского горнорудного института, профессор, д. т. н.

В 1955 г. пришел вначале ассистентом Кабаков Юрий Арефьевич, затем проработавший доцентом до 1996 г., декан горного факультета с 1971 по 1980 гг. В этом же году на кафедру пришел доцент Владимир Степанович Хохряков, впоследствии профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой открытых горных работ.

В 1953г. специальность открытых горных работ стала самостоятельной. Новую кафедру сначала возглавил М. Г. Новожилов, потом А. И. Иконников. Но просуществовала она около двух лет и только через три года (1958 г.) в связи с настоятельным требованием промышленности в институте вновь была организована кафедра открытых горных работ.

В 1960 г. на должность доцента был приглашен Борис Константинович Серeda, крупный специалист по разработке меднорудных месторождений, бывший главный инженер института «Унипромедь». В то же время на кафедру пришел Михаил Поликарпович Ожиганов, проработавший ассистентом до 1962 г., а затем доцентом кафедры экономики и организации горного производства.

В 1961 г. заведующим кафедрой был назначен Борис Константинович Серeda. Талантливый организатор и знаток производства, Лауреат Ленинской премии.



Серeda Б.К.

В этом же году был оставлен после окончания института ассистентом В. М. Бахмутов, защитивший в 1969 г. кандидатскую диссертацию и проработавший на кафедре до 1971 г. Б. К. Серeda поработал заведующим кафедрой до 1962 г. и был командирован в Германию для оказания научно-технической помощи по ликвидации эндогенных пожаров на подземных рудниках.

С 1962 по 1963 гг. кафедрой заведовал доцент Анатолий Николаевич Иконников.

В 1962 г. на кафедру на должность доцента был приглашен из института «Унипромедь» И. В. Дементьев. В 1963



Иконников А.Н.

г. на кафедру пришел ассистентом А. А. Химич, который в 1971 г. защитил кандидатскую диссертацию и проработал доцентом до 2011 года.

С 1960 г. на кафедре ведется выпуск трех учебных групп очного обучения – две по подземной разработке рудных месторождений и одна по разработке россыпей дражным и гидравлическим способом. Начиная в 1962 г. на кафедре проводится выпуск инженеров по заочной форме обучения по специальности подземная разработка месторождений полезных ископаемых.

В шестидесятые годы на кафедре наиболее активно развернута работа по подготовке аспирантов. Пришли в аспирантуру П. А. Иванов, (позднее доцент кафедры экономики и организации горного производства), Г. Н. Ворончихин (позднее доцент кафедры), М. А. Лукоянов (доцент кафедры, проработавший на кафедре до 2009 г.), В. С. Ягнышев (доцент, проработавший на кафедре до 1990 г.), А. А. Матвеев (впоследствии профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой разработки россыпных месторождений).

В 1963 г. в связи с уходом в докторантуру доц. А. Н. Иконникова, кафедру возглавил доцент Иван Васильевич Дементьев. В 1966 г. на кафедру был приглашен из института «Унипромедь» доцент, канд. техн. наук Анатолий Тихонович Зайцев, проработавший на кафедре до 1983 г.

В этот период на кафедре собрался деятельный коллектив молодых ученых, сумевших со временем сказать весомое слово в теории и практике выпуска руды из обрушенных блоков. Инициатором и вдохновителем этого нового направления научно-исследовательских работ был талантливый исследователь и мужественный человек А. Н. Иконников. В 1966 г. на кафедре была создана лаборатория выпуска руды, которой впоследствии пользовались для проведения экспериментов исследователи других институтов.

В эти же годы были созданы и еще две лаборатории: фотоупругости и центробежного моделирования напряженно-деформированного состояния горных пород, которые просуществовали до 1978 г.

В 1967 г. на кафедру возвратился Б. К. Серeda и возглавил ее. Но Б. К. Серeda проработал только год и с 1968 г. по 1981 г. кафедрой опять руководил профессор И. В. Дементьев, в последствии ректор горного университета.



Дементьев И.В.



Коллектив кафедры РРМ в 70^е годы

В начале семидесятых годов на кафедре стали оставлять выпускников, которые студентами привлекались к выполнению научно-исследовательских работ: Г. С. Карпов – ныне профессор кафедры экономики и организации горной промышленности; В. А. Осинцев – в последствии зав. кафедрой разработки рудных месторождений; В. К. Багазеев – ныне профессор кафедры; В. В. Стряпунин – доцент кафедры; В. Д. Пропп – ныне профессор кафедры (в период с 2003 г. по 2017 г. – проректор университета); В. А. Вотинцев – канд. техн. наук; Б. И. Пашенко – зав. лабораторий кафедры; Д. А. Дедюхин – в последствии перешел на работу в ВГСЧ Урала; Н. В. Ломаев – перешел в

Уральское управление Госготехнадзора. В 1975 г. на кафедре была создана специализированная аудитория систем подземной разработки рудных месторождений, оснащенная макетами передовых систем разработки, просуществовавшая до 1986 г.

В эти же годы еще большее развитие получает научно-исследовательская работа. Тематика исследований определялась запросами производства и была направлена на повышение эффективности разработки месторождений. Исследования ведутся на рудниках Урала (ВРУ, ГБРУ, БРУ, СУБР, шх. «Красногвардейская», «Быньговская»), Казахстана (Иртышский ПМК, рудник «Западный Каражал»), Сибири (Салаир). По материалам исследований (авторы И. В. Дементьев, А. Т. Зайцев, В. А. Осинцев, Н. В. Гобов, В. В. Стряпунин, В. Д. Пропп и др.) получен более двадцати авторских свидетельств на изобретения.

Существенное развитие в эти годы получили исследования по разработке россыпных месторождений, охране окружающей среды и осветлению вод после дражной и гидравлической разработок. Возросло количество сотрудников, занятых выполнением НИР и состав кафедры увеличился на 40 человек. Широкое участие в выполнении НИР принимали студенты старших курсов. Появилась основа для создания самостоятельной специальности – технологии и комплексной механизации разработки россыпных месторождений, на которую с 1978 г. начали принимать две учебные группы. В 1984 г. она выделилась в самостоятельную кафедру разработки россыпных месторождений, ее возглавил профессор Адий Андреевич Матвеев.

В 1984 г. на кафедру из института горного дела пришел доцент Н. В. Гобов.

С 1981 г. по 1984 г. кафедрой руководил доцент Владимир Сергеевич Ягнышев



Ягнышев В.С.



Коллектив кафедры РРМ в 80^е годы

С 1984 г. по 1989 г. кафедрой вновь руководил профессор Иван Васильевич Дементьев. В 1986 г. на кафедре был оставлен для исследовательской работы инженер Ф. Ф. Гусманов, защитивший в 1994 г. диссертацию и работающий в настоящее время доцентом.

С 1989 г. по 2009 г. кафедрой руководил Валерий Андреевич Осинцев.

В 1992 г. на кафедру пришел доцент А. В. Крутиков и проработал до 2000 г. В это же время была создана совместно с кафедрой РРМ лаборатория геомеханики. В 1993 г. на кафедру пришли из ИГД УрО РАН профессор, доктор технических наук О. В. Славиковский и доцент О. В. Зотеев, который в 2000 г. защитил докторскую диссертацию.

В 1991 г. кафедра потеряла из своих рядов «бессменного» старшего preparатора (лаборанта) Надежду Владимировну Лыкову. Она пришла в институт в 1936 г., а на кафедру в 1938 г. и пропустила через свои руки тысячи судеб выпускников.



Осинцев В.А.



Коллектив кафедры РРМ в 2006 году

Обладая блестящей памятью, Надежда Владимировна даже на закате своих дней помнила в лицо практически всех выпускников с 30 - 40-х годов. Ее отличала принципиальность, до щепетильности доходящая честность по отношению к работе, материальным ценностям кафедры, по отношению к студентам и учебному процессу. Живая история не только кафедры, но и института, она помогала сохранить многие значительные детали и факты, дела и характеры людей.

С 1993 г. обучение в университете ведется по трехуровневой системе: I уровень (4 года обучения) – присваивается квалификация бакалавра; II уровень (5,5 лет обучения) – присваивается квалификация горного инженера; III уровень (6 лет обучения) – присваивается квалификация магистра.

Совершенствуется учебный процесс – перерабатываются учебные планы и программы, за каждым циклом дисциплин закрепляются отдельные преподаватели: по основам горного дела – доц. А. А. Химич, проф. Славиковский О. В., доц. Лукоянов М. А.; по технологии горного производства – доц. Гобов Н. В.; по геомеханике – проф. Зотеев О. В.; по подземной разработке МПИ – проф. Осинцев В. А., доц. Стряпунин В. В., доц. Лукоянов М. А.; по управлению состоянием массива горных пород – проф. Зотеев О. В., доц. Гусманов Ф. Ф.; семинары по специализациям (курсам по выбору студентов) – проф. Славиковский О. В., доц. Стряпунин В. В., доц. Химич А. А., доц. Гобов Н. В., проф. Пропп В. Д., проф. Зотеев О. В.; по проектированию горных предприятий – проф. Пропп В. Д.; по управлению технологическими процессами – проф. Славиковский О. В.

Годы демократических преобразований и формирования рыночных отношений в стране тяжело отразились на высшей школе и особенно на первичных звеньях высшей школы – кафедрах. Фактически они оказались без достаточной поддержки со стороны государства и вуза, обреченными на самовывживание.

Кроме того, в этот период начала реализовываться программа реструктуризации угольной промышленности. Были ликвидированы более 100 шахт. Снижился приток молодежи из горняцких районов. Значительно усугубилась ситуация с прохождением производственных практик в связи с закрытием шахт Челябинского бассейна.

В этих условиях в декабре 2009 г. было принято решение об объединении кафедр разработки пластовых и рудных месторождений. Через 78 лет кафедры вновь объединились и на их базе была образована кафедра *горного дела*.

Возглавил кафедру профессор, д-р техн. наук Н. Г. Валиев, работавший в этот период времени сначала проректором по научной работе, а затем первым проректором университета.



Валиев Н.Г.

На кафедре активизировалась работа по всем направлениям деятельности. По результатам научно-исследовательских работ защищены кандидатские диссертации В. В. Котляровым, А. А. Кутеневым, К. В. Кокаревым, В. А. Старцевым и др.

С 2012 года в рамках Уральской горнопромышленной декады на кафедре ежегодно проводится Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений». По материалам конференции выпускается сборник докладов.

Весьма большим достижением для кафедры явилось издание учебника «Основы горного дела» (авт. Б. Д. Половов, А. А. Химич, Н. Г. Валиев, 2012, 49,4 п. л.), допущенного УМО вузов РФ по образованию горного дела в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по специальностям: «Подземная разработка МПИ», «Шахтное строительство», «Взрывное дело», «Марк-

шейдерское дело», «Безопасность жизнедеятельности» направления подготовки дипломированных специалистов 21.05.04 – «Горное дело».

За время существования кафедры *горного искусства – горного дела* подготовлено более **10 тыс.** горных инженеров, из них **52** - для зарубежных стран. Выпускники кафедры успешно работали во всех регионах Советского Союза и сегодня работают на горных предприятиях России, стран СНГ и за рубежом.

Среди выпускников кафедры **2** академика, **18** докторов наук, более **60** кандидатов наук, **3** Лауреата Ленинской и Государственной премий, **6** Героев Социалистического труда, **2** заместителя Министров Правительства страны, несколько Председателей региональных Правительств и Губернаторов областей Российской Федерации.

О нынешних выпускниках кафедры горного дела следует сказать, что основательные теоретические знания, подкрепленные практическими навыками работы в неблагоприятных условиях, помогают им в краткие сроки адаптироваться в различных отраслях горного производства: на открытых горных работах, подземной разработке рудных и нерудных месторождений, в метрострое, в гражданском и шахтном строительстве, а также в Ростехнадзоре, МЧС и МВД России, в учебных научно-исследовательских и проектных институтах.

Кафедра горного дела в настоящее время укомплектована профессиональными научно-педагогическими кадрами.

Сегодня на кафедре работают – проф., д-р техн. наук Н. Г. Валиев; проф., д-р техн. наук В. К. Багазеев; проф. канд. техн. наук В. Д. Пропп; доценты, канд. техн. наук А. М. Вандышев; В. П. Тюлькин; Л. А. Важенин; Ф. Ф. Гусманов; В. М. Беркович; С. А. Арефьев; В. В. Потапов; В. А. Старцев; К. В. Кокарев и ст. препод. И. С. Бойков.



Коллектив кафедры горного дела в 2020 году

Помогают в учебном процессе зав. лабораторией Е. Н. Риве и инженер И. В. Реснянская. Коллектив кафедры горного дела продолжает лучшие традиции предшественников, развивает и совершенствует новые направления работы по подготовке высококвалифицированных специалистов для горной промышленности страны.

УДК 52.35

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗУЧЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

АРЫСТАН И. Д.¹, МАТАЕВ А. К.¹, ТАЛИЕВ А.¹

¹ Карагандинский Государственный технический университет
(г. Караганда, Казахстан)

Аннотация. В работе изложены основные элементы эффективной ресурсосберегающей технологии изучения выходов угольных пластов комплексом геолого-геофизических методов, позволяющей производить необходимый комплекс исследований с минимально возможными материальными затратами и минимальным экологическим ущербом. Выбор рационального комплекса геофизических методов с целью картирования выходов угольных пластов в условиях криолитозоны рассмотрен на примере. Технология основана на использовании комплекса наземных геофизических работ, бурения вертикальных скважин, кернового опробования параметрических скважин, ядерно-физического опробования буровых выработок для изучения показателей качества углей, обработке геолого-геофизических данных комплексом специализированных программ с получением конечных материалов.

Ключевые слова: угольный пласт, геофизика, магниторазведка, морфологические характеристики пласта и качественные показатели углей, буровая скважина, ядерно-физический метод, зонд, база данных.

TECHNOLOGY FOR STUDYING COAL SEAMS

ARYSTAN IBATOLLA DAYIRULY¹, MATAYEV AZAMAT KALYZHANULY¹,
TALYEV ARMAN.¹

¹Karaganda State Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Abstract. The main elements of an effective resource-saving technology for studying the seams of coal seams are described in a complex of geological and geophysical methods that allows you to produce the necessary set of studies with the lowest possible material costs and minimal environmental damage. The choice of a rational complex of geophysical methods for mapping the seams of coal seams in the permafrost zone is considered as an example. The technology is based on the use of a complex of ground-based geophysical work, drilling vertical wells, core testing of parametric wells, nuclear-physical testing of workings to study coal quality indicators, processing geological geophysical data by a complex of specialized programs with obtaining final materials.

Key words: coal seam, geophysics, magnetic exploration, morphological characteristics of the seam and coal quality indicators, borehole, nuclear physical method, probe, database.

Введение. Тенденция увеличения использования угольных ресурсов в энергетике, которая наметилась к середине девяностых годов двадцатого века, в нынешнем веке укрепилась. Одновременно наметилась еще одна тенденция – наряду с разрезами-гигантами годовой производительностью в десятки миллионов тонн угля успешно работают малые угольные разрезы мощностью порядка 0,5–2 миллиона тонн угля в год [11]. Одним из важнейших аспектов разведки угольных месторождений под открытую разработку являются поисковые и разведочные работы по выходам угольных пластов – локализация выхода угольного пласта под рыхлые отложения и изучение геометрических и качественных показателей углей. Традиционно практикуемые методы изучения выходов угольных пластов – проходка канав буро-взрывным способом (БВР) и бороз-

довое опробование. Данные виды опробования в геологических и климатических условиях Якутии зачастую оказываются малоэффективными [10].

Методы исследования. Недостовверная предварительная локализация выходов угольных пластов существенно увеличивает объемы последующих горных и буровых работ на выходах угольных пластов, что неблагоприятно сказывается как на экономической эффективности геологоразведочных работ, так и на экологической обстановке в районе ведения геологоразведочных работ.

Выбор рационального комплекса геофизических методов с целью картирования выходов угольных пластов в условиях криолитозоны рассмотрен на примере Сыллахского каменноугольного месторождения, расположенного в условиях развития комплекса многолетнемерзлых горных пород [9].

Надежное решение задачи локализации выхода угольного пласта под наносы для электроразведочных методов возможно, если мощность покровных отложений не превышает мощности пластов более чем в 5–7 раз для высокоомных наносов и в 2–5 раз для низкоомных [1].

Мощность покровных отложений на Сыллахском месторождении составляет в среднем 2 м, мощность угольных пластов на выходах – от 2 до 20 м [4]. Следовательно, исходные условия благоприятствуют постановке поискового комплекса электроразведочных методов [8].

При определении комплекса методов учитываются следующие параметры: стоимость работ; предполагаемая эффективность; оперативность постановки комплекса и обработки данных; возможность приближенного определения элементов залегания пласта; учет развития островной многолетней мерзлоты в пределах участков работ [9].

Низкая достоверность установления выходов угольных пластов приводит к возрастанию объемов поискового бурения [12]. Для определения оптимального комплекса наземных геофизических работ, позволяющего локализовать выход угольного пласта с высокой степенью достоверности, необходимо рассмотреть помехообразующие факторы и методы их преодоления. Основной помехой при поисках выходов угольных пластов под рыхлые отложения в криолитозоне комплексом наземных электроразведочных методов является развитие многолетнемерзлых пород [7].

Сформулировать проблему, возникшую при геофизических исследованиях на Сыллахском месторождении, можно следующим образом: в комплекс электроразведочных методов, используемый для поиска выходов угольных пластов, необходимо ввести метод, действие которого основано на физических свойствах, не изменяющихся в результате проморозки – оттайки [2].

Как основной поисковый метод, для условий Сыллахского месторождения выбран метод дипольного электрического профилирования (ДЭП), для отбраковки возможных аномалий, обусловленных изверженными породами и областями развития многолетней мерзлоты, предусматривается профильная магниторазведка. Для уточнения условий залегания угольного пласта и приближенного определения элементов залегания предусматривается проведение работ методом дипольного осевого зондирования (ДОЗ) [6].

Первый этап изучения – локализация выхода угольного пласта под рыхлые отложения комплексом наземных геофизических методов – дипольное электрическое профилирование, дипольное электрическое зондирование и наземная магниторазведка.

Локализованный геофизическими методами выход угольного пласта необходимо вскрыть для изучения морфологических характеристик пласта и качественных показателей углей [5].

Традиционные горные выработки – канавы, проходка которых необходима, при традиционной методике, выполняется с помощью буровзрывных работ, предлагается

заменить кустовым бурением мелких вертикальных скважин первой группы (до 25 м). Для уверенного выделения элементов залегания пласта на одном кусту проходятся три скважины.

Замена канав вертикальными скважинами стала второй составляющей новой технологии. Следующее звено технологической цепочки – ядерно-физическое опробование угольных скважин [12].

Сущность методики:

- изучение разреза угольной скважины производится сокращенным комплексом ядерно-физических методов;
- для минимизации влияния промежуточной зоны изучаемые скважины обсаживаются дюралюминиевыми калиброванными трубами;
- опробование производится поточечно с экспозицией в точке 10 секунд и шагом от 4 до 12 сантиметров, в зависимости от типа зонда.

Особенностью применяемого комплекса ядерно-физического опробования (ЯФО) является прежде всего применение варианта селективного гамма-гамма метода (рис. 1).

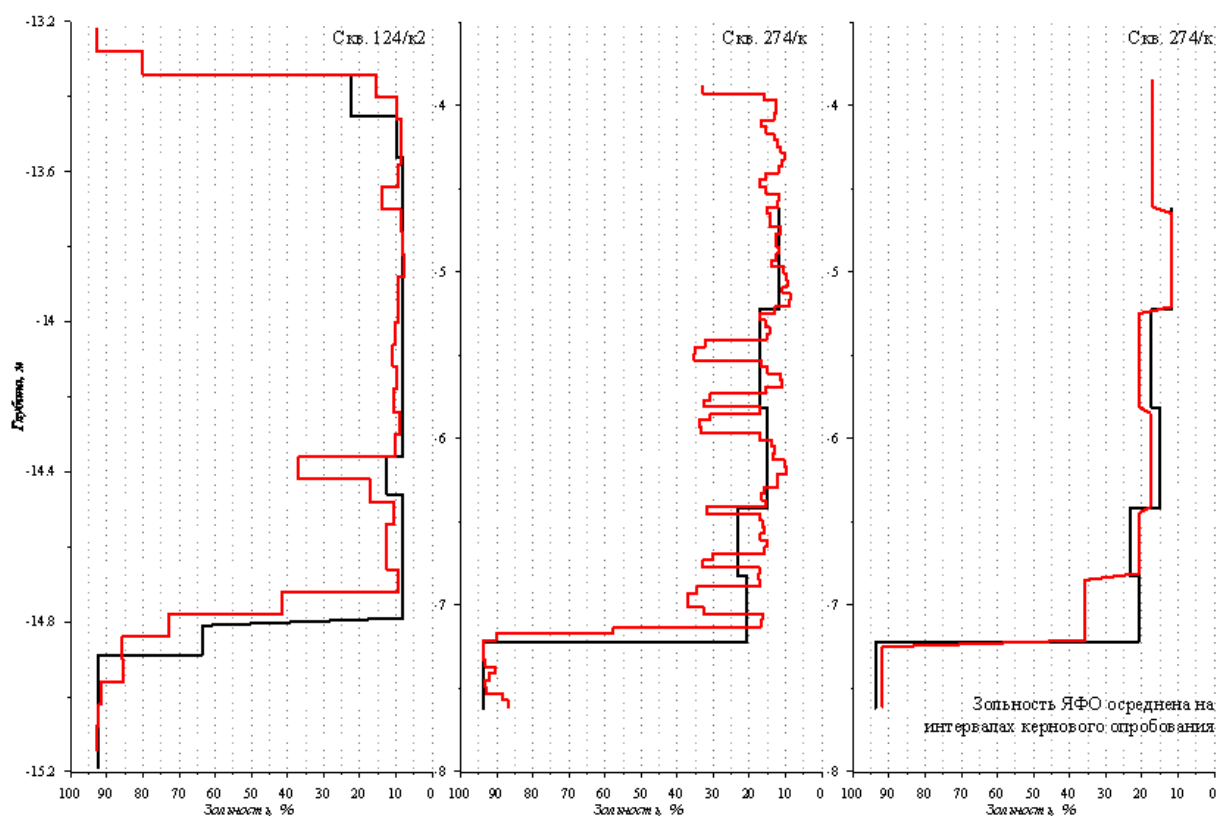


Рисунок 1 - Гистограммы зольности углей по данным кернового и ядерно-физического опробования

В зонде применяется источник – бета-излучатель Sr90 в сборке со свинцовой мишенью. По спектру излучения сборка имитирует спектр изотопа Tl204, применение которого при изучении разреза угольных скважин описал В.И. Уткин [5]. Зонд работает в 4 π -геометрии диффузного рассеяния и рассчитан на опробование обсаженных дюралевыми трубами скважин. Достоинством зонда является высокая воспроизводимость результатов как следствие хорошей представительности замера в точке опробования. К достоинствам относятся и малая (8 см) длина зонда, и получаемая в результате высокая

разрешающая способность метода. Зонд сконструирован на основе скважинного радиометра РСР в комплексе со счетчиком импульсов СИП-1М.

Вспомогательные методы ЯФО – гамма-гамма-опробование плотностное и нейтрон-нейтронное опробование с использованием стандартной аппаратуры ППГР-1 и ВПГР-1 [3]. Данные гамма-гамма-опробования селективного, плотностного и нейтрон-нейтронного опробования регистрируются в цифровом виде (интенсивность счета в точке опробования) в портативном персональном компьютере.

Изначальная регистрация данных ЯФО в цифровом виде явилась предпосылкой для создания ряда специализированных программ для работы с массивами данных ядерно-физического и кернового опробования и их статистической обработки [13].

Комплекс программ включает:

– макросы первичной обработки данных (создание заголовка массива данных по скважине, вычисление погрешности рабочего и основного контроля, подготовка массива к графопостроению);

– база данных ЯФО, кернового опробования и сопутствующей информации, созданная на основе СУБД MS Access 97;

– программы статистической обработки геолого-геофизических данных, позволяющие определять корреляционные зависимости данных ЯФО и кернового опробования;

– ряд макросов, позволяющих производить оперативную обработку данных ЯФО и визуализировать результаты этой обработки в виде гистограмм зольности (по данным ЯФО и данным кернового опробования) по пластосечению.

Таким образом, технологическая цепочка поисков и разведки выходов угольных пластов включает:

– комплекс наземных геофизических работ.

– бурение вертикальных скважин первой группы.

– керновое опробование параметрических скважин.

– ядерно-физическое опробование всех буровых выработок.

Обработку геолого-геофизических данных комплексом специализированных программ с получением материалов, соответствующих инструктивным требованиям.

На рис. 1. приведены гистограммы зольности углей, построенные по данным кернового опробования и по данным ядерно-физического опробования – высокая сходимость результатов дает возможность замены кернового бурения бескерновым с определением показателей качества углей ядерно-физическими методами в естественном залегании.

Библиографический список

1. Блох И.М. Возможности и ограничения дипольного электропрофилеирования при решении задач геологического картирования // Разведочная геофизика. – Вып.17. – М.: Недра, 1966. – С. 62–66.

2. Сясько А.А., Гриб Н.Н., Скоморошко Ю.Н., Шкабарня Н.Г. Особенности применения комплекса наземных геофизических методов для локализации выходов угольных пластов в криолитозоне: Препринт. – Якутск. Изд-во ЯГУ, 2002. 28 с.

3. Сясько А.А., Гриб Н.Н., Качаев А.В. Применение ядерно-физического опробования для изучения зольности угольных пластов// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13 (39), № 1(5). С. 1283–1294.

4. Угольная база России. Том V. Книга 2. Угольные бассейны и месторождения Дальнего востока России (Республика Саха, Северо-Восток, о. Сахалин, п – ов Камчатка). М.: ЗАО «Геоинформак», 1999. 638 с.

5. Уткин В.И. Спектр рассеянного гамма-излучения на малых расстояниях от источника // Атомная энергия. 1970. т. 29, вып. 1. 38 с.

6. Подземное строительство: учеб. пособие / А.Б. Пономарев, Ю.Л. Винников – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014 – 262 с.
7. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. М.: ГУП ЦППС, 2003. 61 с.
8. Основные закономерности формирования очагов самоагривания угля, В.О. Торро, А.В. Ремезов // Международный академический вестник – 2015 г. №2 (8) – с.137-143
9. Бегалинов Э. «Тау-кен ісінің негіздері», оқулық. Жоғарғы оқу орындарының қауымдастығы, «BOOKPRINT» ЖШС баспасы, Алматы, 2016. -730с.
10. Демин В.Ф. Геомеханика при анкерном креплении горных выработок : монография / В. Ф. Демин, Т. С. Филиппова ; М-во образования и науки РК, Карагандинский государственный технический университет. - Караганда : КарГТУ, 2015. - 151 с.
11. Бегалинов Э.Б «Шахта және жерасты ғимараттары құрылысының технологиясы», I, II –томдар, «ҚазҰТУ», 2011ж.;
12. Бегалинов Э. «Тау-кен кәсіпорындарының жерасты кешендерін жобалау». Оқулық. Жоғарғы оқу орындарының қауымдастығы, «Дәуір» РПБК ЖШС баспасы, Алматы, 2011. -352б.
13. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. М.: ГУП ЦППС, 2003. 61 с.

УДК 622.242

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ РУДЫ ПРИ ОТРАБОТКЕ МАЛОМОЩНЫХ ЖИЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СИСТЕМОЙ ПОДЭТАЖНОГО ОБРУШЕНИЯ

МУСИН А. А.¹, ИМАШЕВ А. Ж.¹, ТАХАНОВ Д. К.¹, СУДАРИКОВ А. Е.²

¹Карагандинский государственный технический университет

²Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Рассмотрены современные способы разработки маломощных жильных месторождений. Перечислены основные факторы, влияющие на разубоживание и потери полезного ископаемого при отработке маломощных руд системой подэтажного обрушения. Проведены научно-исследовательские и опытно-промышленные работы в целях определения влияния силы взрыва на устойчивость вмещающих горных пород. Предложены оптимальные параметры БВР в зависимости от структурных и прочностных свойств массива.

Ключевые слова: разубоживание, система разработки, маломощные жилы, буровзрывные работы, потери руды, контурное взрывание.

WAYS TO REDUCE ORE LOSS AND DILUTION WHEN DEVELOPMENT LOW VEINS DEPOSITS WITH A SUBLEVEL CAVING SYSTEM

MUSIN AIBEK ABDUKALYKOVICH¹, IMASHEV ASKAR ZHANBOLATOVICH¹,
TAKHANOV DAULET KUATOVICH¹, SUDARIKOV ALEXANDER EVGENIEVICH²

¹Karaganda State Technical University

²St. Petersburg Mining University

Abstract. The analysis of modern methods of developing low-power vein deposits is carried out, and their brief characteristics are given. The main factors that affect the dilution and loss of minerals during mining of low ores by the system of sub-level caving system. Research and development work was carried out to determine the seismic effect of the explosion force on the stability of the host rocks. Optimal parameters of drilling and blasting operations are proposed depending on the structural and strength properties of the array.

Keywords. Dilution, development system, low-power veins, drilling and blasting operations, ore losses, contour blasting.

Большинство маломощных месторождений характеризуется сложной морфологией рудных тел, наличием параллельных трещин, тектоническими нарушениями и разнообразием физико-механических свойств руды и вмещающих пород. Небольшая мощность рудного тела в сочетании со сложными условиями залегания вызывает значительное разубоживание руды.

Маломощные жильные месторождения в основном отрабатываются с потолкоуступной системой или сплошной выемкой по восстанию и установкой в очистном пространстве распорной крепи, с системой магазинирования руды блоками, закладкой выработанного пространства и реже системой подэтажного обрушения.

Исследованию технологии добычи руд на маломощных месторождениях посвящен ряд работ, выполненных под руководством М. И. Агошкова, Г. Н. Попова, И. А. Турчанинова, Н. Г. Дубынина и др. [1].

По результатам анализа многих исследователей система разработки с выемкой блоков по восстанию с закладкой выработанного пространства позволяют значительно снизить потери и разубоживания руды. Однако для данной системы разработки характерны низкая производительность труда, большой объем подготовительных работ до начала добычи, большие затраты на вспомогательные работы и высокая себестоимость добываемого полезного ископаемого. Все перечисленные факторы отрицательно влияют на рентабельность отработки месторождения.

По статистике разубоживание руды при отработке маломощных жил системой подэтажного обрушения с открытым очистным пространством достигает 50% и более. Система подэтажного обрушения с открытым очистным пространством для отработки наклонных маломощных рудных тел на сегодняшний день является актуальной задачей как для исследователей, так и для производителей.

Целью работы является снижения разубоживания руды при отработке маломощных жил системой подэтажного обрушения за счет оптимизации параметров БВР.

Исследовательские работы проводились на маломощном золоторудном месторождении «Акбакай» с системой подэтажного обрушения отбойкой руды параллельными скважинами с торцевым выпуском руды. На рисунке 1 иллюстрировано фактическое состояние выработанного пространства после отбойки. По результатам анализа буровзрывных работ выявлены ряд основных факторов, влияющих на разубоживание:

1. сила взрыва;
2. мощность рудного тела;
3. прочностные и структурные свойства массива;
4. ширина буровых штреков;
5. параметры очистной камеры.

Для снижения разубоживания руды при попутной добычи, то есть при проходке нарезных горных выработок выполнены работы по оптимизации БВР в целях снижения влияния взрыва на законтурный массив.

Согласно предложенной авторами схеме зарядания, контурные шпуры зарядаются с применением аммиачной селитры, детонирующего шнура и капсуля детонатора. Таким обычным способом зарядания контурных шпуров достигаются весьма эффективные результаты, направленные на повышение устойчивости законтурного массива горных пород при ведении взрывных работ. Схема зарядания контурных шпуров показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема зарядки контурных шпуров

На рисунке 2 показана фактическая маркшейдерская съемка поперечных сечений выработок тахеометрическим прибором при обычном способе взрывания (а) и при зарядке контурных шпуров способом предложенными авторами работ (б). Фактическая площадь поперечного сечения выработок при обычном способе взрывания равна $14,1 \text{ м}^2$, тогда как проектная площадь поперечного сечения равна $12,0 \text{ м}^2$. Исходя из рисунка 2 (а) можно утверждать, что при обычном способе взрывания происходит вывалы с кровли и бортов выработки, что зачастую приводит к увеличению коэффициента излишка сечения (КИС) не менее 1,175. При контурном взрывании (рисунок 2, б) средний КИС не превышает 1,05, соответственно контур выработки близок к проектному очертанию.

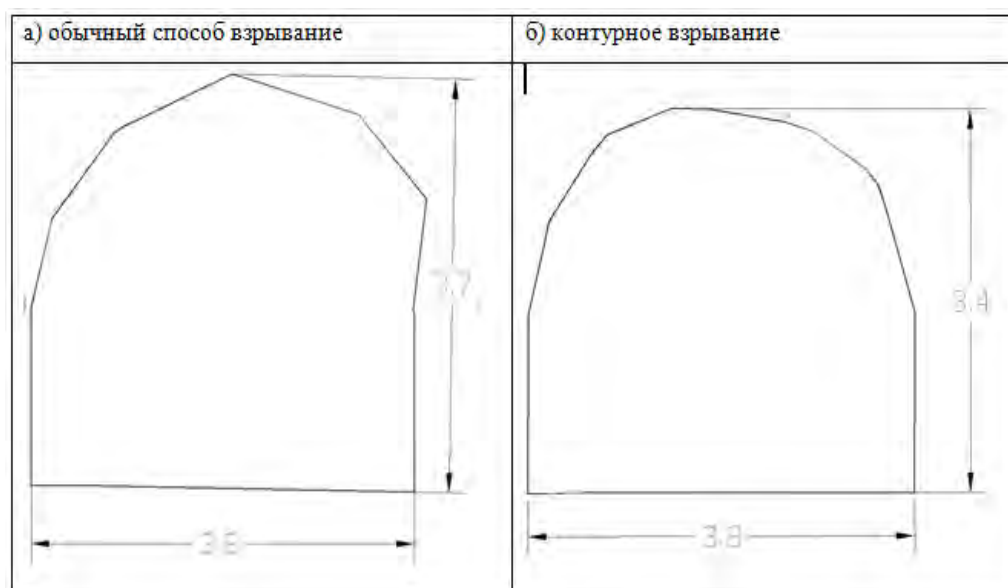


Рисунок 2 – Фактическая тахеометрическая съемка выработок

Опытные взрывы проводились на двух подэтажах в одном блоке в идентичных породах в выработок сечением $9,0 \text{ м}^2$. В верхнем подэтаже взрывные работы проводились обычным способом, а в нижнем подэтаже с применением контурного взрывания. В общей сложности в течении 1,5 месяца произведен по 37 взрывов (отпал) с каждого подэтажа. После каждых взрывов проводились съемка сечении выработок лазерным

тахеометром. Результаты съемок приведены в диаграмме 1. По данным результата съемок сечение выработок с обычным способом взрывания варьируется в интервале 10,5-12,1 м², а при контурном взрывании максимальная фактическая сечение выработки равен 10,2 м².

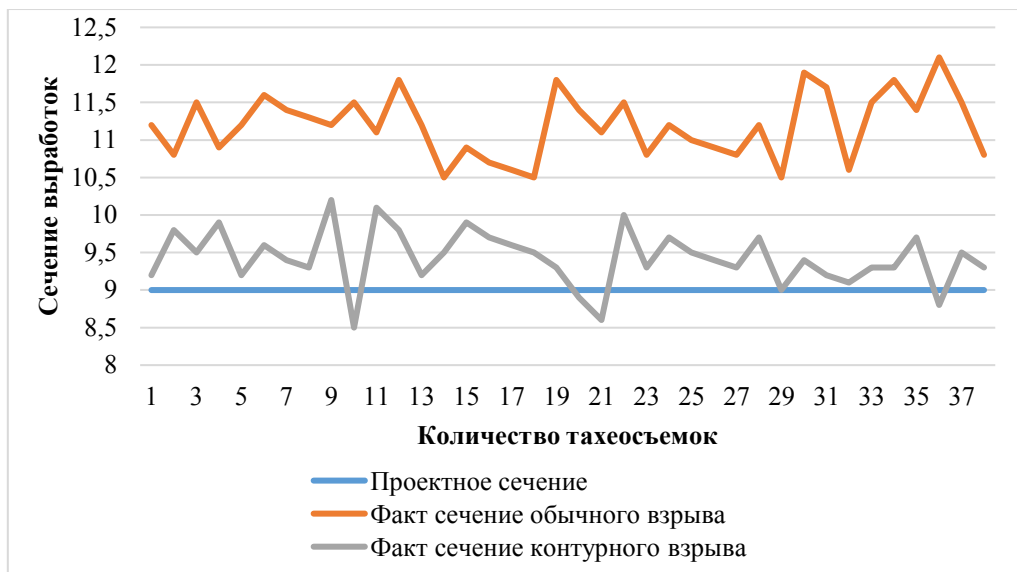


Диаграмма 1 – Результаты БВР

Анализ результатов проведенных опытно-промышленных испытаний в выработках рудника «Акбакай» после трех месяцев показал положительный результат. К чему свидетельствует сведения к минимуму образования заколов и трещин в законтурном массиве горных пород по сравнению с обычным способом взрывания. На основании вышесказанного можно утверждать, что снижения воздействия взрыва на законтурный массив горных пород достигнуто.

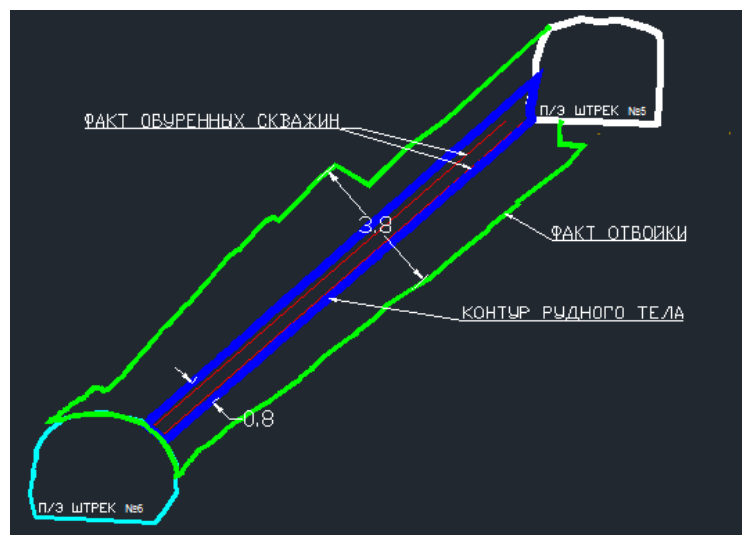


Рисунок 3 – Фактическая выемочная мощность очистной камеры.

При отработке запасов руды системой поэтажного обрушения с бурением глубоких скважин на месторождении «Акбакай» фактическое разубоживание руды составляет в среднем 65-75%, тогда как проектное разубоживание не должно превышать 35%. На рисунке 3 показан фактическая съемка очистной камеры после взрывных работ. По

данному разрезу при мощности руды 0,8 м и выемочной мощности 3,8 м разубоживание руды составляет 72,7%.

Произведено сравнения фактического разубоживание (рисунок 4) с результатами численного анализа (рисунок 5). По результатам сравнение можно отметить, что фактическое разубоживание намного больше, чем данные полученные на основе моделирование. Моделирование было выполнено для определения возможных участков обрушения после техногенного воздействия на массив.

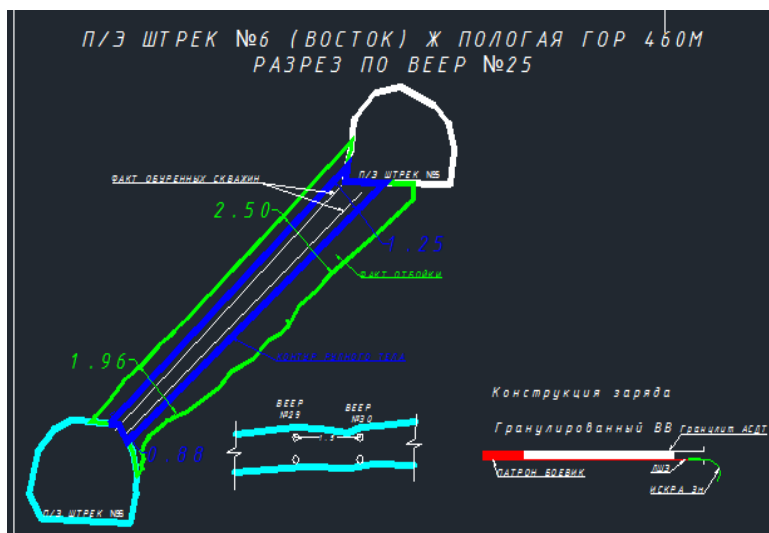


Рисунок 4 – Фактическое разубоживание

На основе вышесказанного можно утверждать, что разубоживание руды происходит в основном из-за сейсмического влияния взрыва на законтурный массив.

По результатам сравнения фактического разубоживания с результатами моделирования выявлено необходимость внесения корректировки или изменения паспорта БВР в целях снижения влияния взрыва на законтурный массив.

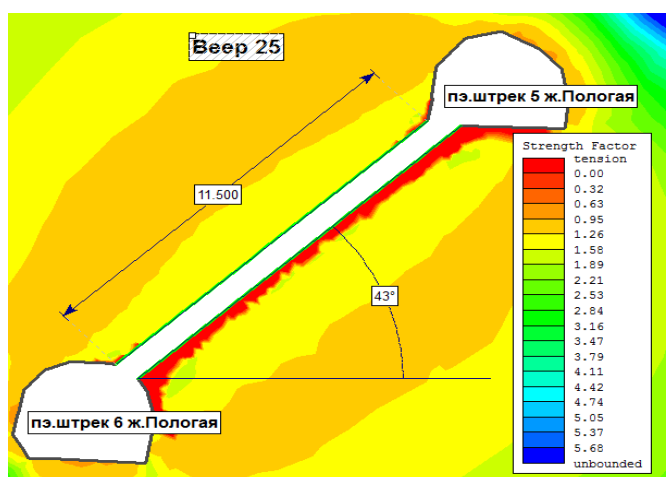


Рисунок 5 –Результаты компьютерного моделирования

Выбор оптимальных паспортов БВР. Паспорта БВР для отработки маломощных жил разработан на основе Австралийского золотодобывающего рудника «Краков» (рисунок 6).

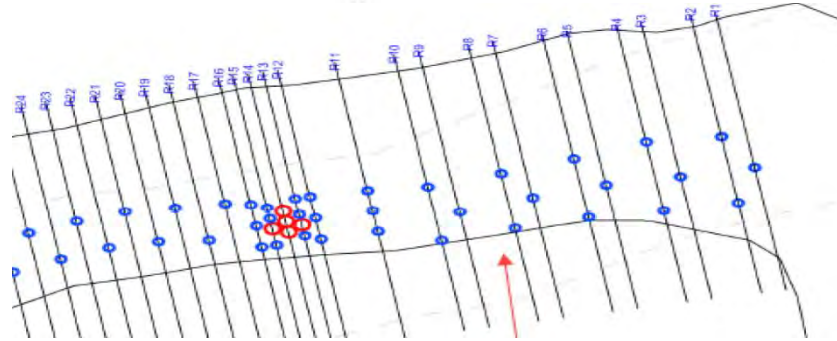
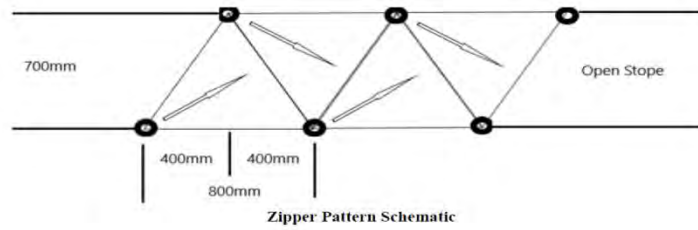


Рисунок 6 – Схема БВР применяемый на руднике Краков (Австралия)

На рисунке 7 приведена схема бурение и отбойки взрывных скважин, применяемые на месторождении «Акбакай».

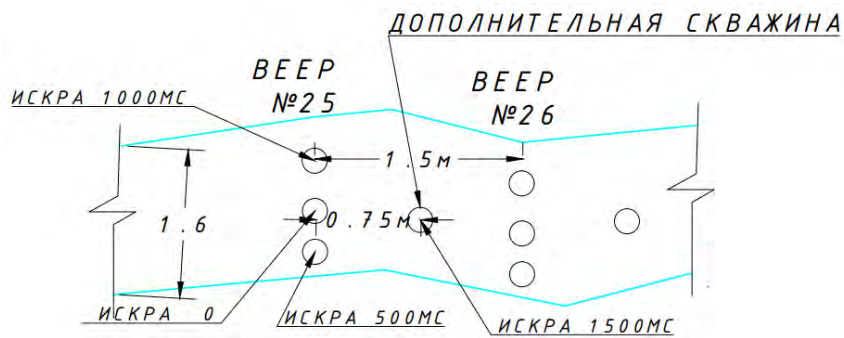


Рисунок 7 – Схема расположение скважин

На основе схем, показанных на рисунке 6 был разработан параметры БВР для месторождения «Акбакай» (рисунки 8, 9, 10).

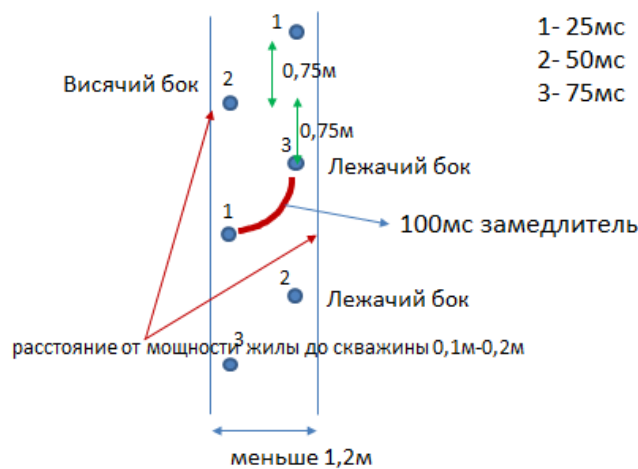


Рисунок 8 – Схема БВР для жил мощностью < 1,2 м

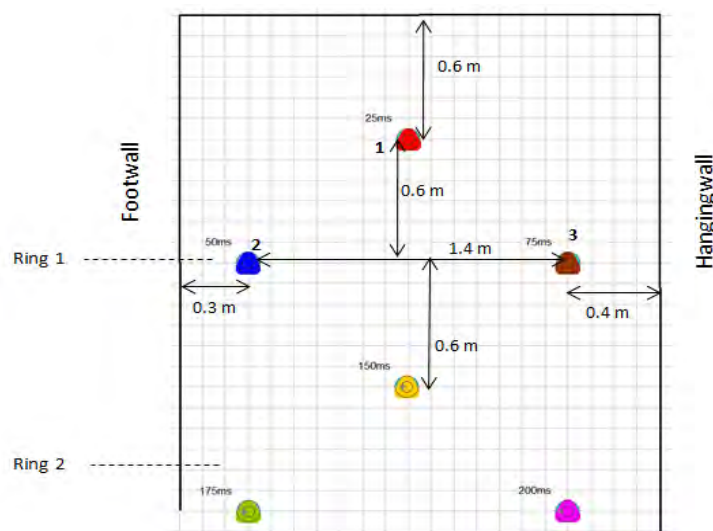


Рисунок 9 – Схема БВР для жил мощностью $<2,2$ м и $> 1,2$ м

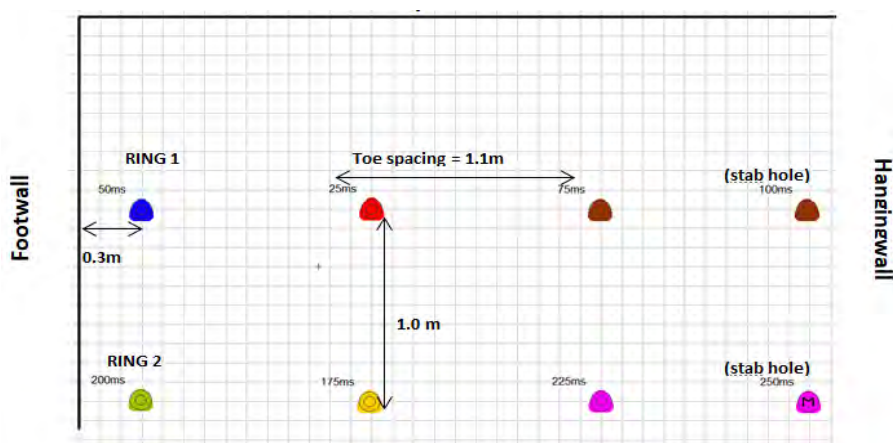


Рисунок 10 – Схема БВР для жил мощностью $< 3,0$ м и $> 2,2$ м

Выводы:

- определено GSI массива на основе натуральных измерений непосредственно в забое, что в свою очередь является основным показателем при переходе с прочности образца на прочность массива горных пород;
- результаты численного анализа отличаются от результатов фактического контура отбитого очистного пространства. В связи с этим можно полагать, что разубоживание руды происходит из-за сейсмического влияния взрыва на законтурный массив;
- с целью уменьшения разубоживания руды разработаны различные типы паспортов БВР в зависимости от мощности рудного тела для снижения влияния взрыва на законтурный массив.

Библиографический список

1. Brown C.J., Thomas G.O. Experimental studies of ignition and transition to detonation induced by the reflection and diffraction of shock waves. Shock Waves. 2000.10(1). 23 – 32.
2. Адушкин В.В. Модельные исследования разрушения горных пород взрывом. // Сборник «Физические проблемы разрушения горных пород». М., ИПКОН РАН, 1998г.-с.18-29.
3. Адушкин В.В., Спивак А.А. Разрушающее действие взрыва в предварительно напряженной среде // ФТПРПИ. — 2002. № 4. - С. 61-69.
4. Адушкин В.В., Щекин Л.Н. О влиянии горного давления на характер разрушения пород взрывом //Проблема разрушения горных пород,взрывом. М.: Недра, 1967.-С. 28-32.

5. Азаркович А.Е., Шуйфер М.И. Оценка относительной взрывной эффективности различных взрывчатых веществ массивов пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых; 1997г. - №2, С.47-51.
6. Акаев М.С., Крутило А.А. О повышении эффективности скважинных зарядов с воздушными промежутками // Взрывное дело; М.: Недра, 1974г. -№73/30, 16-19С.
7. Александрова Н.И., Шер Е.Н. Влияние утечек газов из полости взрыва сферического заряда на разрушение горных пород // ФТПРПИ; 2000г. — №5, 43-53С.
8. Г.Г. Ломоносов. Условия рационального применения малогабаритного самоходного оборудования в проектах разработки тонких рудных тел – М.: Горная книга, 2015, – 37 с.
9. Макаров А.Б. и др. Геомеханическое обоснование параметров горных работ при переходе на подземный способ добычи руд Березитового месторождения. - ФТПРПИ, 2016, № 3, с. 27-38.
10. Hoek, E. Practical Rock Engineering (2017). – www.rockscience.com.
11. Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M.S. (2013). Quantification of the Geological Strength Index chart. - ARMA 13-672.
12. Hutchison, D.J., Diederichs, M.S. (1996). Cablebolting in Underground Mines. - BiTech Publishers Ltd., Canada. – 417 p.
13. Imashev A., Suimbayeva A., Zholmagambetov N., Takhanov D. Research of possible zones of inelastic deformation of rock mass // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. ISSN 2224-5278. Volume 2, Number 428 (2018). p. 177–184.

УДК. 622.235

РАСЧЕТ АРОЧНЫХ И РАМНО-АНКЕРНЫХ КРЕПЕЙ ПО МЕТОДУ ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ

КОРНИЛКОВ С. В.¹, ПОТАПОВ В. Я.¹, ПОТАПОВ В. В.¹,
ГУСМАНОВ Ф. Ф.¹, ГРЕБЕНКИН С.М.¹

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. Представлена методика расчета арочных и рамно-анкерных крепей по методу предельного равновесия, приводятся основные расчетные уравнения и эпюры распределения напряжений по поперечному сечению при возрастании величины изгибающих моментов на крепь

Ключевые слова: металлическая крепь, горизонтальная выработка, эпюра напряжений, прочность, упругость, деформация.

CALCULATION OF ARCH AND FRAME-ANCHOR FASTENERS BY THE METHOD OF EXTREME EQUILIBRIUM

KORNILKOV S. V.¹, POTAPOV V. Ya.¹, POTAPOV V. V.¹,
GUSMANOV F. F.¹, GREBENKIN S. M.¹

¹Ural State Mining University

Abstract. A methodology for calculating arch and frame-anchor supports using the method of limiting equilibrium is presented. The main calculation equations and diagrams of the stress distribution over the cross-section are presented with an increase in the value of bending moments on the support.

Keywords: metal support, horizontal working out, stress diagram, strength, elasticity, deformation.

Повышение устойчивости горных выработок является одной из важнейших задач при подземной разработке месторождений полезных ископаемых. При разработке

угольных месторождений ежегодно проходятся сотни километров горизонтальных и наклонных горных выработок.

Металлическая крепь является основным видом крепи горизонтальных и наклонных выработок угольных шахт. В настоящее время металлическими крепями в России крепится более 80% всех протяженных выработок, причем имеется явная тенденция к росту общей протяженности выработок с металлической крепью. Наиболее распространенными как в России, так и за рубежом (Германия, Великобритания и др.), являются крепи арочных конфигураций, которыми крепится от 80% до 95% выработок с металлической крепью. Удельный вес выработок угольных шахт, закрепленных металлическими крепями, ежегодно увеличивался в среднем на 0,8-1,2%. В то же время масса применяемого для изготовления крепи специального взаимозаменяемого профиля ежегодно возрастает на 10%. В связи с увеличением глубины заложения горных выработок и ухудшением условий их поддержания идет устойчивый рост объема применения тяжелых спецпрофилей (СВП22, СВП27, СВП33) и снижение объема применения легких (СВП17, СВП19).

К основным показателям механических свойств стали относятся прочность, упругость, пластичность и склонность к хрупкому разрушению.

Учитывая, что металлические конструкции могут эксплуатироваться как в упругой, так и упругопластической стадии работы материала, при их расчете используются две величины сопротивления: предел текучести σ_T и предел прочности σ_B .

Рассмотрим изменение величины нормальных напряжений по высоте сечения при нагружении балочной конструкции, в которой учитывается только действие изгибающих моментов [1, 2]. Известно, что в пределах упругого поведения материала нормальные напряжения изменяются по высоте сечения по линейному закону (рис. 1а). Влиянием касательных напряжений на образование пластических деформаций обычно пренебрегают [3]. При некоторой величине внешней нагрузки и соответствующим значениям внутренних усилий максимальные напряжения станут равными пределу текучести σ_T (рис. 1б)

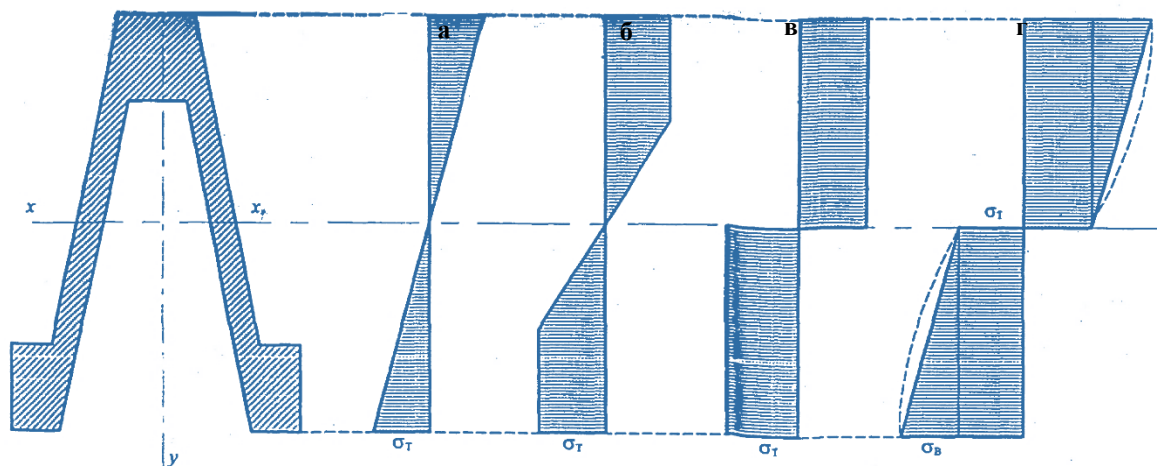


Рисунок 1 – Эпюры распределения напряжений по перечному сечению при возрастании величины изгибающего момента:

а – в упругой стадии; б – при образовании пластических зон; в – при образовании пластического шарнира; г – в предельном состоянии при наличии упрочнения в пластической области

При увеличении внешней нагрузки напряжения в крайних волокнах остаются равными пределу текучести, а зона текучести увеличивается. При этом одна часть сечения находится в пластическом состоянии, а другая - в упругом. При величине внеш-

ней нагрузки равной предельной напряжению во всех точках сечения достигнут предела текучести, т.е. в сечении возникнет пластический шарнир (рис.1в). Величина изгибающего момента в этом состоянии определится выражением

$$M_{пр} = \sigma_T W_{пл}, \quad (1)$$

где $W_{пл}$ - пластический момент сопротивления сечения.

При дальнейшем увеличении нагрузки напряжения во внешних волокнах сечения практически достигают предела прочности σ_B (рис.1г). Данная диаграмма носит название диаграммы деформирования с линейным упрочнением. Эпюра напряжений в этом случае принимает форму трапеции и разрушающий изгибающий момент определяется по формуле

$$M_{пр} = \sigma_T W_{пл} + (\sigma_B - \sigma_T) W_x. \quad (2)$$

Если при расчете металлических крепей, определяя предельное состояние сечения, во многих случаях необходимо учитывать величину не только изгибающего момента, но и продольной силы, то условие образования пластического шарнира запишется в следующем виде [6]:

$$M_{пр} = \sigma_T W_{пл} - \frac{a}{\sigma_T} N_{пр}^2, \quad (3)$$

где a - коэффициент, зависящий от формы и размеров сечения.

Значения пластических моментов сопротивления $W_{пл}$ и другие характеристики специальных взаимозаменяемых профилей при работе СВП в зоне пластических деформаций приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики СВП при работе в зоне пластических деформаций

Тип СВП	Пластический момент сопротивления $W_{пл}$, см ³	Коэффициент a , см ⁻¹	$W_{пл} / W_{упр}$
СВП14	50,6	0,223	1,24
СВП17	63,4	0,208	1,25
СВП19	76,7	0,202	1,25
СВП22	94,4	0,195	1,26
СВП27	127,2	0,178	1,27

Для расчета инженерных конструкций разработано три основных метода: по допускаемым напряжениям, по разрушающим усилиям и по предельным состояниям. Каждый из этих методов представляет собой развитие предыдущего. Расчет по предельным состояниям - позволяет отдельно учитывать изменчивость ряда факторов, влияющих на прочность, устойчивость и деформации рассчитываемых конструкций. [7].

Строительные нормы и правила (СНиП) [4] различают две группы предельных состояний: 1-я - по потере несущей способности и (или) полной непригодности к эксплуатации; 2-я - по затруднению (непригодности) к нормальной эксплуатации.

Расчет по 1-ой группе предельных состояний обязателен, а по 2-ой группе выполняется в тех случаях, когда возникают сомнения в том, что недопустимые деформации возникнут раньше, чем конструкция достигнет 1-го предельного состояния. Методика различает нормативные и расчетные величины сопротивлений материала конструкции, так и нагрузок и воздействий.

В общем случае расчетное сопротивление материала равно:

$$R = R_n \gamma_c / \gamma_m \gamma_n, \quad (4)$$

где R_n - нормативное сопротивление; γ_c - коэффициент условий работы; γ_m - коэффициент надежности по материалу; γ_n - коэффициент надежности по назначению.

Нормальные напряжения при работе элемента в упругой стадии определяются по стандартной формуле с проверкой полученных результатов по пределу текучести:

$$\sigma = M / W_n \leq R_{yn} \gamma_c / \gamma_m, \quad (5)$$

где M - расчетный изгибающий момент; W_n - момент сопротивления сечения; R_{yn} - предел текучести стали.

Расчет нормальных напряжений в изгибаемых элементах с учетом развития пластических деформаций определяется по формуле:

$$\sigma = M / (c_1 W_n) \leq R_{yn} \gamma_c / \gamma_m, \quad (6)$$

где c_1 - коэффициент, учитывающий развитие пластических деформаций, определяемый в соответствии с требованиями СНиП [4].

Статически неопределимые системы можно рассчитывать по методу предельного равновесия [5], в соответствии основными положениями которого предполагается, что материал, из которого изготовлена система, имеет диаграмму работы с неограниченной площадкой текучести (рис. 2, а). Такая диаграмма называется диаграммой работы идеально упругопластического тела или диаграммой Прандтля. Начальный участок диаграммы соответствует упругой стадии работы материала с модулем упругости E и с верхней границей, называемой пределом текучести σ_T . Диаграммой Прандтля в ряде случаев приближенно заменяют действительные диаграммы работы таких материалов как сталь (рис. 2, б), бетон и др.

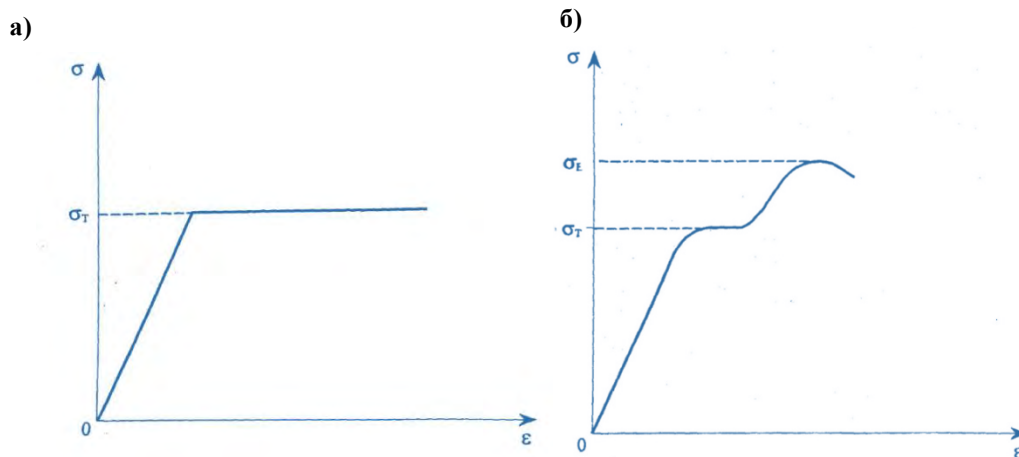


Рисунок 2 – Диаграмма работы идеально упруго-пластичного тела
а) диаграмма Прандтля б) действительная диаграмма работы стали

При такой замене необходимо иметь в виду степень неточности, которая вносится в расчет. Поэтому при разработке практических методов расчета по предельному равновесию часто вводятся дальнейшие упрощения, дающие тот же порядок погрешности, что и введение диаграммы Прандтля.

Статически неопределимые системы из идеально упругопластического материала в начале нагружения работают как упругие. После проявления текучести в наиболее напряженном элементе (если элементы системы работают только на растяжение или сжатие) или на определенном участке конструкции (возникновение пластических шар-

ниров в балках, рамах, арочных конструкциях и др.) степень статической неопределенности системы уменьшается на единицу.

Расчетами металлических крепей горных выработок по предельным состояниям занимались многие исследователи [6 - 9]. Отмечается, что для потери несущей способности крепи недостаточно появления одного пластического шарнира. Несущая способность крепи исчерпывается только тогда, когда в металле образуется зона пластических деформаций. При этом в раме крепи возникают заметные изменения геометрических размеров, при которых крепь перестает удовлетворять своему назначению.

Рассматривая последовательность образования пластических шарниров в арочной крепи, Киселев Е.С. отмечает, что первый пластический шарнир образуется в точке с максимальным изгибающим моментом, в то время как положение последующих пластических шарниров редко соответствует начальной эпюре изгибающих моментов. Поэтому для расчета крепи до ее разрушения необходимо рассматривать все стадии с соответствующими изменениями расчетной схемы (введением шарниров в раму крепи).

Целесообразность расчета рамно-анкерных крепей по методу предельного равновесия выполняется исходя из следующих положений:

1. расчетная схема рамно-анкерной крепи изменяется после введения каждого дополнительного пластического шарнира;
2. расчет несущей способности ведется по формуле (4) без учета продольных сил (погрешность расчета составляет около 8%);
3. расчет заканчивается, когда система становится статически определимой конструкцией (желательно без перехода к геометрически изменяемым крепям).

Предельный изгибающий момент, при котором в сечении арки из СВП27, изготовленной из стали Ст.5сп, образуется пластический шарнир определяется из выражения (4):

$$M_{пр} = \sigma_T W_{пл} = 270 \cdot 10^6 \cdot 127,2 \cdot 10^{-6} \approx 34,3 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Рассматривая симметричное нагружение рамно-анкерной крепи с тремя анкерными соединительными узлами при максимальном усилии в узлах $P = 30 \text{ кН}$, определим максимальное значение вертикальной и боковой нагрузки (при сохранении коэффициента боковой нагрузки $i \approx 0,5$), при которой в спецпрофиле возникнет пластический шарнир. На рис. 3 приведена эпюра изгибающих моментов с величинами внешней нагрузки $q_b = 171,5 \text{ кН/м}$; $q_6 = 86 \text{ кН/м}$, при которых возникает два сечения с пластическими шарнирами (сечения, в которых действуют моменты $M_{пр1}$ и $M_{пр5}$).

В зоне моментов $M_{пр2}$, $M_{пр3}$ и $M_{пр4}$ металл крепи находится в стадии пластического деформирования, приближающегося к образованию пластических шарниров (см.рис.1б). При этих условиях крепь не потеряет своей устойчивости, если обеспечивается взаимодействие рамы крепи с массивом вмещающих пород. Однако дальнейшее увеличение нагрузки приведет к тому, что в зонах моментов $M_{пр2}$, $M_{пр3}$ и $M_{пр4}$ также возникнут пластические шарниры. Возникновение зоны пластических деформаций (трех пластических шарниров, лежащих приблизительно на одной прямой со значительной вероятностью приведет к разрушению крепи.

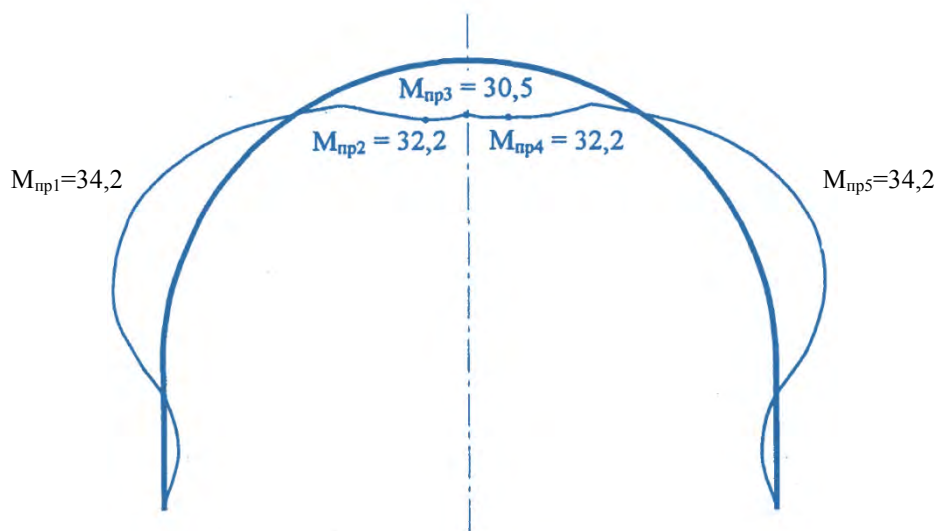


Рисунок 3 – Эпюра изгибающих моментов (кН*м) в арке равно-анкерной крепи с тремя соединительными узлами (усилие в узлах $P = 30$ кН при действии симметричной нагрузки (образование пластичных шарниров)

При асимметричной нагрузке на крепь пластические шарниры будут образовываться последовательно по одному, но поскольку анкерные соединительные узлы как управляющие силовые воздействия приводят к перераспределению внутренних усилий и определенному выравниванию значений экстремальных моментов, то приращение внешней нагрузки, необходимое для образования последующего шарнира, будет весьма незначительным.

Вывод.

При расчетах равно-анкерных крепей нецелесообразно подробно рассматривать трудоемкий вопрос о перераспределении внутренних усилий в крепи при образовании пластических шарниров и дальнейшем росте нагрузки. Для определения несущей способности крепи вполне достаточно вести расчет по стандартной методике, регламентированной СНиП для изгибаемых элементов с учетом развития пластических деформаций

1. Рамно-анкерные крепи и крепи с расклинкой необходимо рассчитывать, как системы с лишними односторонними связями

2. Рамно-анкерные крепи в общем случае рассчитываются в два этапа. На этапе I в расчетной схеме анкерные соединительные узлы представляются в виде жестких опорных связей, работающих только на растяжение; на этапе II в случае, если реакции в опорных связях превысят несущую способность соединительного узла, в расчетной схеме их действие заменяют сосредоточенными силами.

3. Крепи с расклинкой могут рассматриваться как арочная крепь с дополнительными односторонними жесткими или упругими связями. Применение расклинок большой жесткости, которые можно рассматривать как дополнительные связи, более эффективно; при заданных расчетных параметрах крепи применение двух жестких расклинок повышает несущую способность арочной крепи в 3,4-4,4 раза.

4. При действии симметричной нагрузки в рамно-анкерной крепи с одним анкерным соединительным узлом несущая способность по сравнению с арочной повышается в 1,5-2,2 раза (большие значения - при расчете рамно-анкерной крепи с жесткими связями, меньшие - при величине усилий в анкерных соединительных узлах $P=30$ кН). При действии симметричной нагрузки рамно-анкерные крепи с двумя анкерными соединительными узлами при заданных схемах нагружения и геометрических парамет-

рах крепи позволяют повысить несущую способность арочной крепи в 3,0-3,8 раза. В крепях с тремя анкерными соединительными узлами несущая способность рамно-анкерной крепи с жесткими связями и с действием в соединительных узлах сосредоточенных сил $P=30$ кН примерно одинакова и в 3,3-3,4 раза превышает несущую способность арочной крепи.

5. При действии асимметричной нагрузки в рамно-анкерных крепях с одним соединительным узлом несущая способность может быть повышена в 1,4 раза при величине усилий в анкерных соединительных узлах $P = 30$ кН и в 3,4 раза в случае, если соединительные узлы выступают как жесткие связи. При действии асимметричной нагрузки в рамно-анкерных крепях с двумя соединительными узлами несущая способность может быть повышена в 2,0 раза (при усилении в узле $P=30$ кН) и в 8,0 раз (анкер – жесткая связь). В крепи с тремя анкерными соединительными узлами эти расчетные значения равны соответственно 3,0 и 9,4 раза.

7. Рамно-анкерные крепи с тремя анкерными соединительными узлами являются наиболее эффективными конструкциями, поскольку для их нормальной работы отсутствует необходимость в создании управляющих силовых воздействий большой величины. Кроме того, изменение внешних условий (в первую очередь, угол падения пород) или значительные неточности в установке анкерных узлов не приведут к резкому уменьшению несущей способности крепи. Так, при смещении всех анкеров на 10^0 от их проектного положения ($P = 30$ кН) несущая способность рамно-анкерной крепи в 2,25 раза выше, чем у арочной крепи.

8. Приложение дополнительных сил к раме крепи в начальный момент ее работы (создание предварительного напряженного состояния) целесообразно в случаях, когда величина реакций в анкерных соединительных узлах относительно невелика (в рассматриваемом диапазоне расчетных параметров $P \leq 20$ кН).

9. При расчетах рамно-анкерных крепей нецелесообразно рассматривать вопрос о перераспределении внутренних усилий в крепи при образовании пластических шарниров и дальнейшем росте нагрузки. Для определения несущей способности крепи достаточно вести расчет по стандартной методике, регламентированной СНиП для изгибаемых элементов с учетом развития пластических деформаций.

Библиографический список

1. Клейменов В.Б., Сокол Б.А. Сравнительные испытания шахтных профилей на изгиб // Подземная разработка тонких и средней мощности угольных пластов: Сб.научн.трудов. - Тула, 1990. - С.54-60.
2. Бурчаков Ю.И., Гнедин В.Е., Денисов В.М. Строительная механика. - М.: Высшая школа, 1983. - 255с.
3. Инженерные конструкции / В.Н.Голосов, В.В.Ермолов, Н.В.Лебедева и др. - М.: Высшая школа, 1991. - 408 с.
4. СНиП II - 23 - 81*. Часть II. Нормы проектирования. Глава 23. Стальные конструкции. - М.: Стройиздат, 2010. - 93 с.
5. Ржаницын А.Р. Строительная механика. - М.: Высшая школа, 1991. - 439 с.
6. Джапаридзе Л.А. Основные вопросы расчета по предельным состояниям крепи подземных сооружений. Автореферат дисс. ... д-р техн. наук. М., 1976. - 29с.
7. Зигель Ф.С., Вихлевщук В.А., Стороженко А.С. О применении низколегированной стали для крепи горных выработок // Уголь. - 1988. - №9. - С.17-19.
8. Каретников В. Н., Клейменов В. Б., Бреднев В. А. Автоматизированный расчет и конструирование металлических крепей подготовительных выработок. М.: Недра, 1984. 312 с.
9. Корнилков М.В., Краев Ю.К. Оценка напряженно-деформированного состояния металлической арочной крепи // Строительство шахт, рудников и подземных сооружений: Межвуз. науч.-темат. сборник. - Екатеринбург, 1992. - С.57-62.

10. Корнилкив М.В., Потапов В.Я., Потапов В.В.определение рациональных параметров двухшарнирной рамно-анкерной крепи для поддержания горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № S26. С. 11-19.

УДК. 622.268.6

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАБОТКИ МОЩНЫХ ПЛАСТОВ УГЛЯ

ВАНДЫШЕВ А. М.¹, ТЮЛЬКИН В. П.¹, ПОТАПОВ В. В.¹
¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация: В статье приводятся рекомендации по повышению эффективности отработки мощных, пологих и наклонных пластов в сложных горно-геологических условиях, базирующихся на основании анализа опыта их разработки и обобщения результатов научных исследований. Из всего многообразия технологических схем подготовки и отработки пластов наиболее перспективной является схема с полной полевой подготовкой и проведением слоевых штреков в присечку к выработанному пространству. Приводятся рекомендации по выбору место расположения полевых штреков, повышению устойчивости слоевых штреков и кровли очистных забоев

Ключевые слова: мощные угольные пласты, технологические схемы, слоевые штреки, полевая подготовка, горное давление, повышение устойчивости кровли, анкерование.

WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF MINING POWERFUL COAL SEAMS

VANDYSHEV A. M.¹, TYULKIN V. P.¹, POTAPOV V. V.¹
¹Ural State Mining University

Abstract. In the paper gives recommendations on improving the efficiency of mining thick, gentle and inclined formations in difficult mining and geological conditions, based on the analysis of their development experience and generalization of research results. Of all the variety of technological schemes for the preparation and development of formations, the most promising is the scheme with full field preparation and lay drifts in the cut to the worked out space. Recommendations are given on choosing the location of field drifts, increasing the stability of the roof of the working faces

Keywords: thick coal seams, technological schemes, layer drifts, field preparation, rock pressure, increasing the stability of roof rocks, anchoring.

Мощные пласты угля на шахтах России и за рубежом разрабатываются различными системами, что обусловлено многообразием горно-геологических условий их залегания

Разработка мощных пластов более сложна, чем пластов средней мощности, и связана с высокими эксплуатационными потерями угля, возможностью возникновения эндогенных пожаров, необходимостью обеспечения определенной последовательности ведения горных работ в слоях и устойчивости пород кровли при отработке нижних слоев.

Многообразие горно-геологических условий залегания мощных пластов явилось причиной различных технических решений по их разработке, которые, как показывает анализ, не всегда являются бесспорными и требуют дальнейшего совершенствования. Особенно это касается мощных пластов с самовозгорающимися углями. При переходе горных работ на большие глубины недостатки, присущие применяемым в практике вариантам подготовки и отработки мощных пластов, усугубляются, что не позволяет до-

стичь высоких технико-экономических показателей, несмотря на применение высокопроизводительной техники.

Сложные горно-геологические условия разработки мощных пластов весьма склонного к самовозгоранию угля и требования правил безопасности определяют полевой способ подготовки пластов [1].

Полная подготовка мощных пластов при отработке их наклонными слоями имеет ряд преимуществ перед другими способами подготовки, а именно:

-малые затраты (или их отсутствие) на поддержание полевых выработок, расположенных в устойчивых породах почвы пласта;

-незначительная длина, а, следовательно, малый срок службы, и затраты на поддержание слоевых штреков;

-снижение эндогенной пожароопасности за счет уменьшения потерь угля, утечек воздуха в выработанном пространстве;

-простота изоляции выемочных участков в случае возникновения эндогенного пожара и осуществления мер по активному тушению.

Наиболее перспективной является технологическая схема с полной полевой подготовкой и проведением слоевых штреков вприсечку к выработанному пространству впереди очистного забоя отдельными участками до очередного промежуточного квершлага или гезенка (рис. 1). Такая схема позволяет иметь минимальную протяженность поддерживаемых присечных выработок, обеспечивать надежную изоляцию выработанных пространств отработанных участков и достаточно просто регулировать разрыв во времени между отработкой смежных столбов и слоёв. Частным случаем такой технологической схемы является полевая подготовка пластов при системе разработки слоев "лава-этаж" (см. рис. 2).

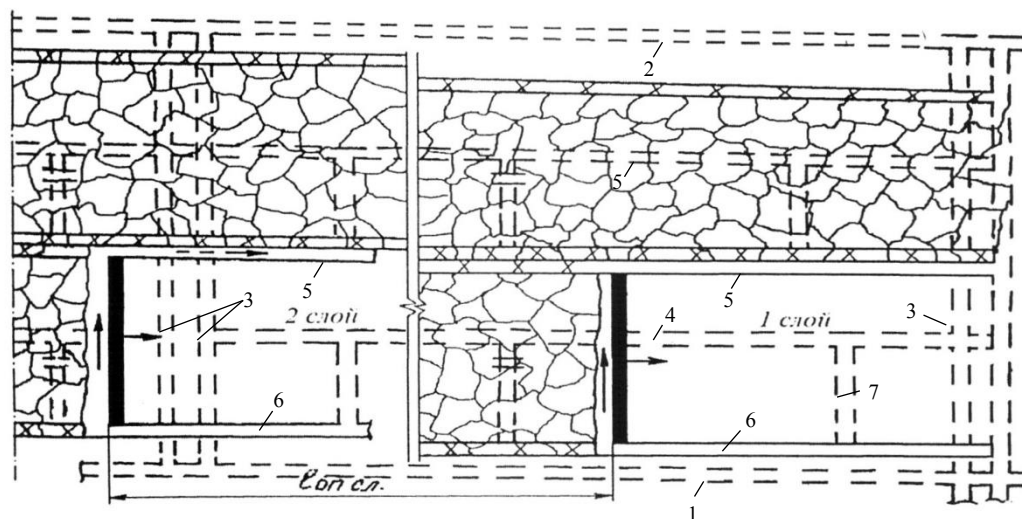


Рисунок 1 – Полная полевая подготовка мощного пласта при отработке его наклонными слоями без оставления межстолбовых целиков угля:

- 1- полевой откаточный штрек; 2- полевой вентиляционный штрек;
- 3- полевой бремсберг с ходками; 4 - полевые подэтажные штреки;
- 5 - слоевые вентиляционные штреки; 6- слоевые конвейерные штреки;
- 7 - участковые квершлагы

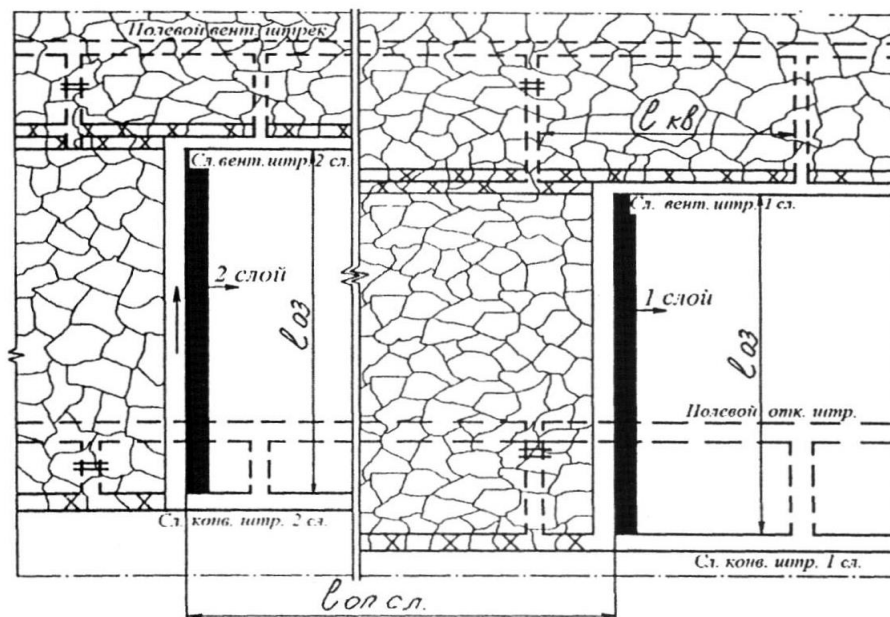


Рисунок 2 – Отработка мощного пласта наклонными слоями без оставления междуэтажных целиков угля:(отработка слоев системой "лава-этаж")

Необходимый разрыв между обрушением пород в смежном выемочном поле (слое) и проведением выработок на границе с ними обуславливается периодами стабилизации активных сдвижений пород и температуры в выработанном пространстве, а также временем слёживания обрушенных пород. Количественные значения основных факторов, влияющих на выбор опережения между слоями и выемочными столбами, а также рекомендуемые при этом разрывы во времени приведены в табл.1.

Таблица 1 - Основные факторы, влияющие на выбор опережения между слоями и выемочными столбами, и рекомендуемые разрывы во времени при отработке мощных пластов на больших глубинах

Показатели	Численные значения показателей
Время стабилизации активных сдвижений пород, мес.:	
При выемке верхнего слоя	2...3
При выемке нижних слоев	1,5...2
Время снижения и стабилизации температуры в выработанном пространстве, мес.:	
При выемке верхнего слоя	5...6
При выемке нижних слоев	6...7
Время слёживания обрушенных пород для обеспечения эффективной отработки нижних слоев, мес.	5...7
Рекомендуемые разрывы во времени между отработкой смежных слоев, мес.	6...7
Рекомендуемые разрывы во времени между отработкой смежных выемочных столбов, мес.:	
При выемке верхнего слоя	6
При выемке нижних слоев	7

Эффективность применения различных вариантов полевой подготовки для отработки мощных пластов с самовозгорающимися углями во многом будет зависеть от устойчивости полевых выработок.

На устойчивость полевых выработок оказывает влияние большое количество горно-геологических и горнотехнических факторов: глубина расположения выработок, физико-механические свойства вмещающих пород, место расположения выработок относительно краевой части пласта и почвы надрабатываемого пласта, количество надработок пласта и др.

Вредное влияние очистных работ на надрабатываемые полевые выработки проявляются как в зоне временного опорного давления, так и в зоне остаточного опорного давления. Если временное опорное давление характеризуется непродолжительным воздействием на породы надрабатываемого массива, то остаточное опорное давление сохраняется в течении 8...10 лет и более, т.е. практически на весь срок службы надрабатываемых выработок.

Для правильного расположения горизонтальной полевой выработки относительно надрабатываемого пласта необходимо учитывать два главных параметра [2] - расстояние от выработки до кромки пласта по напластованию l_n и минимальное расстояние выработки до надрабатываемого пласта (по нормали) h_n (рис.3).

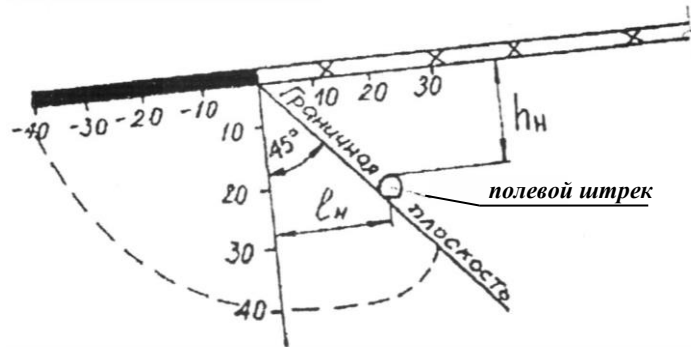


Рисунок 3 – Схема к определению места заложения полевых штреков

Установлению параметров l_n и h_n при однократной надработке полевых штреков посвящено значительное количество исследований, выполненных для различных угольных бассейнов и месторождений.

На базе многолетних исследований ВНИМИ разработаны рекомендации по выбору места расположения полевых выработок [1]. Эти рекомендации приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2 - Минимальная глубина заложения полевой выработки под надрабатываемым пластом при однократной надработке

Расчетная глубина расположения выработки H_p , м	Минимальная глубина заложения выработки под надрабатываемым пластом, h_n (м) при сопротивлении пород сжатию R_c , МПа		
	до 40	40-60	более 60
300	15	10	10
600	20	15	10
900	25	20	15
1200	30	25	20

Таблица 3 - Расстояние от полевой выработки до кромки пласта при однократной надработке

Расчетная глубина расположения выработки H_p , м	Расчетное сопротивление пород сжатию R_c , МПа	Расстояние от полевой выработки до кромки пласта (по напластованию) l_n (м) при расстоянии от надрабатывающего пласта до выработки (по нормали) h_n , м			
		10	20	30	40
300	до 40	20	20	25	50
	40-60	15	15	20	15
	более 60	10	10	15	10
600	до 40	20	25	30	25
	40-60	20	20	25	20
	более 60	15	15	15	10
900	до 40	25	30	30	25
	40-60	25	25	25	20
	более 60	20	20	15	10
1200	до 40	30	35	35	30
	40-60	30	20	25	20
	более 60	25	25	20	15

Особенности поддержания полевых выработок при разработке мощных пластов наклонными слоями является многократная их надработка.

Исследования, показали, что вторичная и последующие надработки полевых выработок показывают существенное влияние на их состояние. Это должно учитываться при определении величин l_n и h_n .

На основании обобщения материалов исследований для определения места заложения полевых выработок под мощным надрабатывающим пластом, обрабатываемым наклонными слоями в нисходящем порядке, рекомендуется принимать следующие параметры.

Минимальная глубина заложения выработки h_n^M (м):

а) при разделении пласта на два наклонных слоя

$$h_n^M = 1,2h_n;$$

б) при разделении пласта на три и более наклонных слоев

$$h_n^M = 1,25h_n;$$

где h_n - минимальная глубина заложения полевой выработки над надрабатывающим пластом средней мощности (по нормали) при однократной надработке (см. табл.1), м

Минимальное расстояние полевой выработки до кромки пласта (по напластованию) l_n^M

$$l_n^M = l_n + B(n-1)$$

где l_n - расстояние от выработки до кромки надрабатывающего нижнего слоя при однократной надработке (см. табл.3), м;

B - ширина слоевого штрека, м;

n - количество наклонных слоев, на которые разделяется мощный пласт.

Полевые штреки следует располагать преимущественно в устойчивых породах.

При значительной мощности слабых пород почвы пласта их следует располагать на расстоянии 20-25 м от почвы пласта по нормали [5].

Для повышения устойчивости слоевых штреков необходимо применять дополнительные мероприятия [1, 6]. К ним прежде всего, относятся: разгрузка от напряжений

массива скважинами большого диаметра или камуфлетным взрыванием; упрочнение массива нагнетанием растворов смол и анкерованием.

Для буроугольных месторождений с мощными пластами характерно наличие слабых неустойчивых пород непосредственной кровли и почвы, которые в процессе разработки подвергаются интенсивным деформациям. Это обуславливает наличие большого количества вывалообразований в призабойном пространстве, вдавливание стоек и секций крепи в почву пласта.

Повышение устойчивости пород непосредственной кровли при выемки верхнего слоя мощного пласта можно осуществлять способом физико-химического упрочнения, который определяется объёмом укрепляемых пород, геологическими и гидрогеологическими условиями, характеризующими тот или иной участок шахтного поля.

Мощность укрепляемого слоя $h(m)$ определяется по формуле

$$h = \frac{1}{B} = \sqrt{\frac{0,6 \cdot R \cdot \gamma \cdot h_{нк} \cdot L}{\sigma_{сж}}},$$

где B - ширина упрочняемой полосы пород, м; R - радиус распространения упрочняющего состава, м, принимается равным 1,5...2,5 м; γ - объёмная масса пород, т/м³; $h_{нк}$ - мощность неустойчивости непосредственной кровли, м; L - пролет обрушения, м; $\sigma_{сж}$ - предел прочности пород на одноосное сжатие, МПа.

Нагнетание растворов в массив производится через шпур, пробурённый из призабойного пространства перпендикулярно линии очистного забоя. Длина шпуров $L_{ш}$ (м) принимается равной 3...5 м и определяется из выражения

$$L_{ш} = L_c \cdot n - R + 0,5,$$

где L_c - суточное подвигание линии очистного забоя, м; n - количество суток, на время которых подготавливается фронт работы; R - радиус распространения укрепляющего состава вглубь массива, м; 0,5 - превышение величины подвигания очистного забоя, м.

Параметры нагнетания определяются расчетным путем с обязательным последующим уточнением по фактическим результатам испытаний в шахтных условиях, т.к. они зависят от свойств применяемого укрепляющего состава, физико-механической характеристики массива и других показателей.

Количество раствора, необходимого для укрепления пород Q (м³), определяется из выражения

$$Q = V(n - W)m,$$

где V - объём укрепляемой породы, м³; n - пористость породы, %; W - влажность пород, %; m - коэффициент заполнения пор раствором; (принимается равным 0,5).

Параметры химического анкерования при упрочнении неустойчивых пород в лавах определяются для шахт региона опытным путем.

Рациональная длина анкерных стержней с углом геометрии рабочего пространства составляет 1,8-2,0 м. Породы кровли в местах опасных по вывалам упрочняются за каждым циклом металлическими анкерами. Шаг установки анкером в зависимости от характера нарушенности массива составляет 0,7...1,3 м. В местах отжима угля забой упрочняется деревянными анкерами, устанавливаемыми перпендикулярно к плоскости отслоения в один или два ряда в зависимости от характера отслоения. Шаг установки анкером в этом случае принимается равным 0,5...1,0 м.

При выемке верхнего слоя с залеганием в непосредственной кровле сухих тонкослоистых пород, обводненных песчаников (пльвунов) или наличии капежа из пород

кровли для обеспечения устойчивости кровли рекомендуется оставлять предохранительную угольную пачку, мощность которой, как правило, составляет 0,4...0,6 м.

Изложенные в статье рекомендации по выбору и определению конструктивных параметров технологических схем были научно апробированы на шахтах Челябинского бассейна и Среднеазиатского региона, показали их эффективность. Они могут быть использованы при разработке мощных пластов угля пологого и наклонного падения других месторождений с аналогичными горно-геологическими и горнотехническими условиями.

Библиографический список

1. Бесцеликовая отработка мощных пологих и наклонных пластов / В.Н. Корнилков, А.М. Вандышев, В.В. Госкаев и др. М.: Недра. 1978. 171 с.
2. Указания по рациональному расположению, охране, и поддержанию подготовительных выработок на угольных шахтах СССР. л.: Изд-во ВНИМИ, 1985. 222 с.
3. Рудой И.Л., Спроге А.О. Сергазин К.Х. Устойчивость полевых выработок в зависимости от глубины их заложения под пластом // Уголь 1969. № 9. С. 31-34.
4. Обоснование места расположения полевых штреков при слоевой отработке мощных пластов. Вандышев А.М., Тюлькин В.П. // В сборнике: Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений сборник докладов. Ответственный за выпуск Н. Г. Валиев; Уральский государственный горный университет. 2015. С. 120-122.
5. Технологические схемы отработки мощных бурогольных пластов средней азии. Вандышев А.М., Тюлькин В.П. // В сборнике: Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений Сборник докладов VII Международной научно-технической конференции в рамках Уральской горнопромышленной декады. Ответственный за выпуск Н.Г. Валиев. 2018. С. 55-60.
6. Bin Yu. Behaviors of overlying strata in extra-thick coal seams using top-coal caving method // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering - 2016. - №8. P.238-247.

УДК 552.08:553.3.042

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ (ПРОГНОЗ) И ФАКТИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ ОКИСЛОВ (АТ. № ≤ 20, ВКЛЮЧАЯ Са) В ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ КАРТИРОВАНИИ СОРТОВ НА ЗАЛЕЖАХ МАГНЕЗИТОВ И БОКСИТОВ (ИЗ АРХИВОВ ИЗУЧЕНИЯ КАРБОНАТНО-ТЕРРИГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ)

ТИМОХИН А. В.¹, КАНТЕМИРОВ В. Д.¹, ТИТОВ Р. С.¹, КОЗЛОВА М. В.¹
¹ ФГБУН ИГД УрО РАН

Аннотация. Сочетания и замещения земельных окислов Са, Mg и Al: извести, магнезии и глинозема характеризует составы и сортаменты руд магнезитов и бокситов. Предмет изучения на основе электрометрии – сопротивления оруденений и зон контактов. Выявленные константы окислов имеют фундаментальное значение в прогнозе петрофизических свойств широкого перечня (спектральная природа). В статье обсуждаются следствия – вопросы происхождения носителей, особенности обнаружения, спектрально-сортовой анализ, перспективы сигнальной оценки кристаллических, оксид-минеральных ископаемых и практика применения на магматических и карбонатно-терригенных месторождениях нагорного типа на Урале. Выделение констант легких окислов ат. № ≤ 20 (40.874 ÷ 43.464 весовых % земной коры) определит общие черты развития измерительных систем, новые физические приложения в полупроводниках и в геологии, принципы построения интерпретационного процесса.

Ключевые слова: магнезиты, бокситы, свойства электропроводности легких окислов, геометризация сортов, геотехнология, физические приложения в полупроводниках и геологии.

THE POTENTIAL (FORECAST) And ACTUAL OXIDE SIGNALS (FROM. NO. = 20, INCLUDING CA) IN GEOMETRIC MAPPING OF VARIETIES ON DEPOSITS OF MAGNESITES AND BAUXITES (FROM THE ARCHIVES OF THE STUDY OF CARBONATE-TERRIGENOUS DEPOSITS)

TIMOHIN A. V.¹, KANTEMIROV V. D.¹, TITOV R. S.¹, KOZLOVA M. V.¹
Institute of Mining of Ural Branch of RAS

Abstract. Combinations and substitutions of Ca, Mg, and Al oxides: lime, magnesia, and alumina form compositions and grades of magnesites and bauxites. The subject of study based on Electrometry is the resistivity of mineralization and contact zones. The identified oxide constants are of fundamental importance in the prediction of petrophysical properties of a wide range (spectral nature). The article discusses the origin of carriers, features of detection, spectral-varietal analysis, prospects for signal evaluation of crystalline, oxide-mineral minerals, and the practice of application in igneous and carbonate-terrigenous deposits of the upland type in the Urals. Highlighting the properties of metal oxides with atomic numbers ≤ 20 (light oxides represent the composition of $40.874 \div 43.464$ weight % of the earth's crust) will determine the General features of the development of measurement systems, new physical applications in semiconductors and Geology, and the principles of constructing algorithms in the interpretation process.

Keywords: magnesites, bauxites, electrical conductivity properties of light oxides, geometrization of varieties, geotechnology, physical applications in semiconductors and geology

Введение. Месторождения нагорного типа на Урале находятся в черте магмогенной гряды и в примыкающих карбонатных, осадочных пенебленах. Терригенные массивы занимают территории западных и восточных примыканий в обширной меридианальной полосе от Южных предгорий до Арктической зоны. Пенеблены – основное место нахождения залежей магнезитов, бокситов, углей и известняков.

Известняки в первичном виде более всего сохранены. В генезисах углей высока роль метаморфизма. Образование магнезитов и бокситов связывается со вторичными магмо-процессом и метаморфизмом. Пенеблены по термодинамическим: p -, T - условиям приравниваются к низко-температурным. Всегда в них имеющиеся окаменелости (остатки фауны и флоры) дают основания геологической датировки.

Самостоятельных образований Na_2O , KO , MgO , Al_2O_3 , FeO не имеется. Окислы Ca , $\text{Fe}(3+)$, $\text{Fe}(2+,3+)$, Si в виде отдельностей представлены и изучены. Свойства окислов, происхождение носителей и механизмы полупроводниковой природы остаются в современной литературе темой острой и полярной дискуссии [1, 2].

Предмет изучения – вариации состава и сортовые закономерности на типовых геологических контактах. Практически абсолютные обменные приросты металлов (и их степени восстановления) на твердофазных контактах – беспрецедентные условия состоятельности изучения электронной проводимости (I -го рода), ее основных n – (собственная проводимость) и p – («дырочная» проводимость) механизмов. В ходе экспериментов контактной электрометрии опробовалась методика обмеров геоблоков в объемной постановке и, одновременно, была поставлена фундаментальная цель раскрытия индивидуального физического действия окислов.

Вклад в изученность месторождений при новых подходах измерений и принципах интерпретации – выделение и количественный расчет показателей сигналов глинозема на бокситах (известны архивы измерений группы Брызгалова) и, впервые, раскрытие свойств земельных фаз MgO – инновационный опыт разведки магнезитов. Изучение электропроводности на залежах огнеупоров никогда и ни кем ранее не было обещано прогнозом и не осуществлялось в практических измерениях.

При обнаруженных сигнальных параметрах следует ожидать обновление подходов к спектрально-сортовому анализу в оценке ископаемых. Новизна выделения свойств окислов ат. № ≤ 20 (40.874 ÷ 43.464 весовых % земной коры) – физические приложения в геологии. Закрепляемая норма в анализе – уровень оксид-метрической интерпретации широкого перечня свойств: 1. состав и электронные индивидуальности элементов (металлов); 2. плотность, типы связи (металлическая, ионная, ковалентная), структура, магнитная восприимчивость (магнетизация). Дифференциацию свойств (п.2) и электропроводности, обусловленную составом (п.1) и термобарическими воздействиями, жестко связывает спектральная природа.

Исходные данные, методы и результаты исследования. Ранее в работе [3] легкие окислы были разграничены по потенциальной синергии одной и аддитивности другой, большей их части (диэлектрики) в соответствии с нормальным электронным потенциалом E_0 , используемым ранее, в большей части, в расчетах гальванических процессов и создании электролитов. Симметричным с E_0 показателем является относительная электроотрицательность ОЭО (рис. 1).

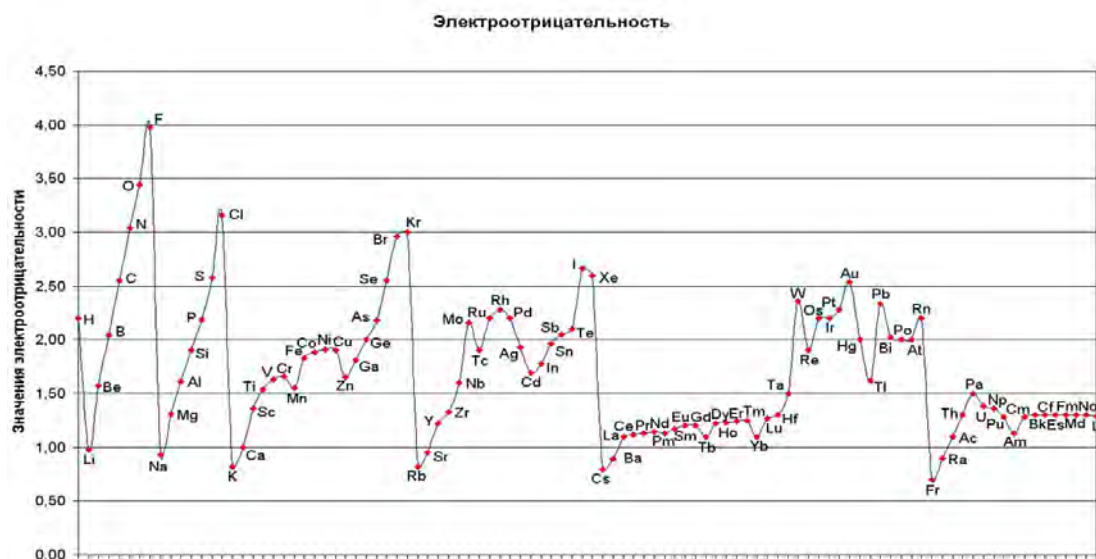


Рисунок 1 – ОЭО элементов, фтор и кислород – сильнейшие окислители [4- 5].

Общность пластовых залежей огнеупоров и бокситов обусловлена наличием Ca, Mg и Al в виде земель их окислов, определяющих состав и сортаменты. Традиционно в теории полупроводников считалось, что возникновением носителей управляет масса атома металла (катиона). При измерениях на залежах ожидался и подтвердился приоритет, в силу роли низких размеров атома, солидарных отношений E_0 и ОЭО. Руды различного качества и вмещающие породы имеют отличия внешнего вида структуры и текстуры вследствие перестройки межатомных связей, упаковки и др.

Перспективный комплекс электрометрии включает зондирования и площадные съемки. Изучается внутреннее строение блоков и залежей в виде рисунков изолиний состава, в идеале – рудопроявлений с разделением на сорта. При адекватной интерпретации свойств металлов сигналы электропроводности – чувствительный показатель сортов и примесей.

На Саткинской группе месторождений магнезита высокие сорта добываются, в основном, при отработке Карагайского карьера и подземных участков (рис.2, 3).

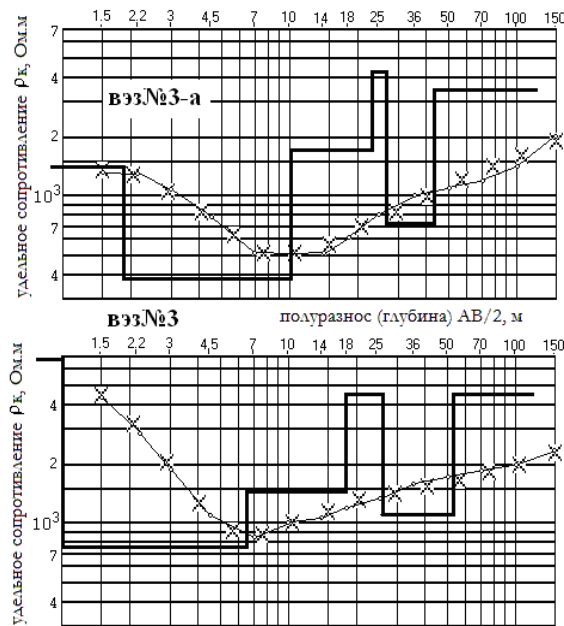


Рисунок 2 – Графики ВЭЗ № 3а и 3 и диаграммы слоевой ИВМ- интерпретации. Графики «-»- измерений, «х»- интерпретации (с экрана дисплея по окончании итераций совмещения: программа «КОВ/Еf.exe», «с» Голод, Красницкий, Тимохин).

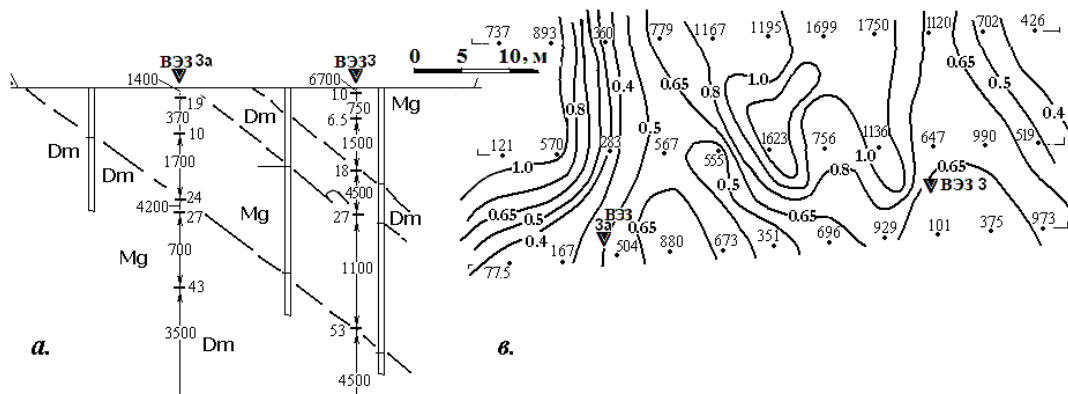


Рисунок 3 – Разрез и площадной рисунок изолиний относительных сопротивлений. Цифры – сопротивления: а. истинные ρ_k (Ом.м), в. кажущиеся, измеренные ρ_k .

Тогда как, магнетитам из Мельнично-Паленихинского карьера свойственны примеси. Руды в естественном залегании охарактеризованы вмещением сульфидных оторочек, приуроченных, в основном к зонам контактов (рис. 4 и 5).

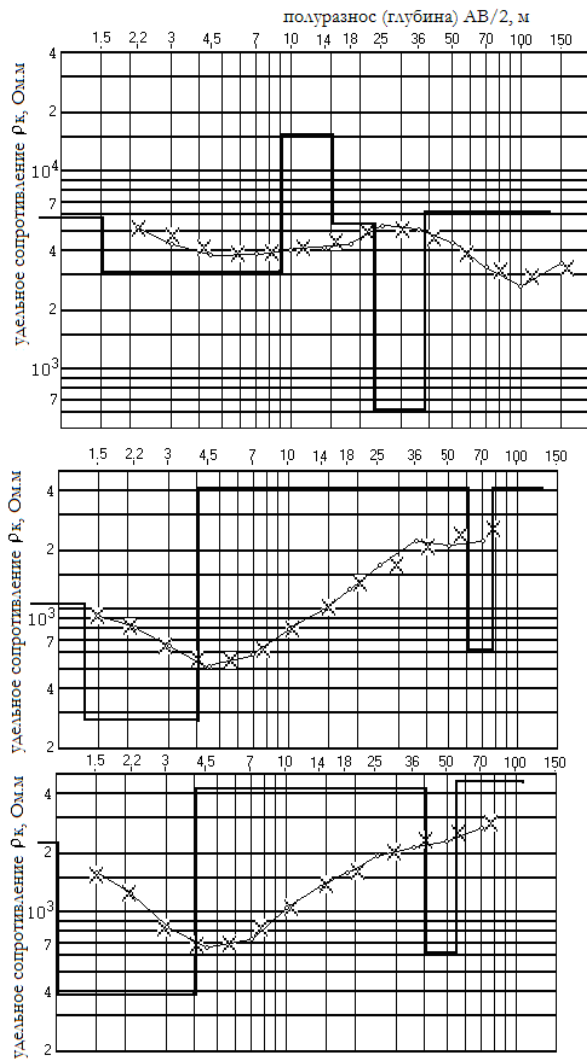


Рисунок 4 – Графики ВЭЗ 3, 2, 1 и диаграммы слоевой интерпретации. Графики «-»- измерений, «x»- интерпретации (с экрана дисплея по окончании итераций совмещения: программа «КОВ/Ef.exe», «с» Голод, Красницкий, Тимохин).

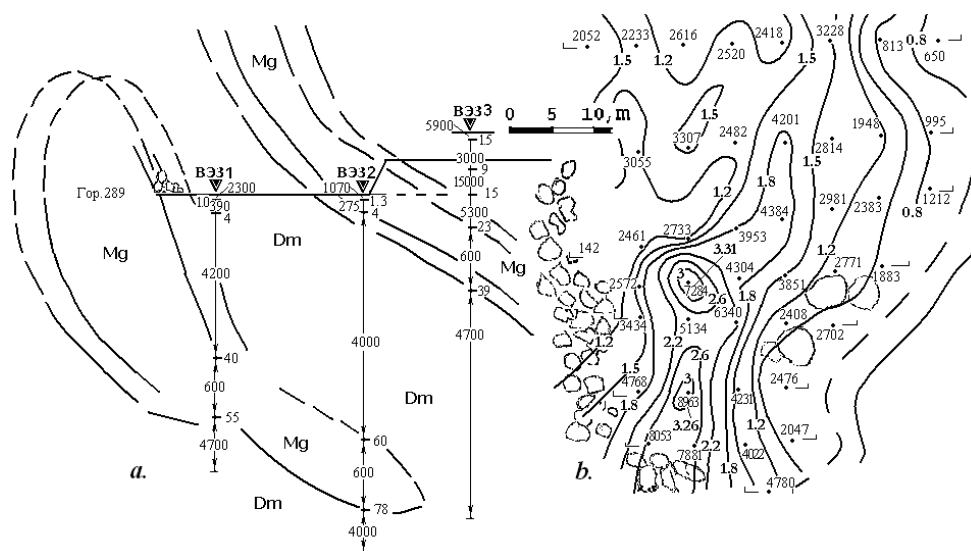


Рисунок 5 – Разрез и площадной рисунок изолиний относительных сопротивлений. Цифры – сопротивления: а. истинные ρ_k (Ом.м), в. кажущиеся, измеренные ρ_k ; кольцевые фрагменты рисунка – карст наклонением по контактной зоне [6].

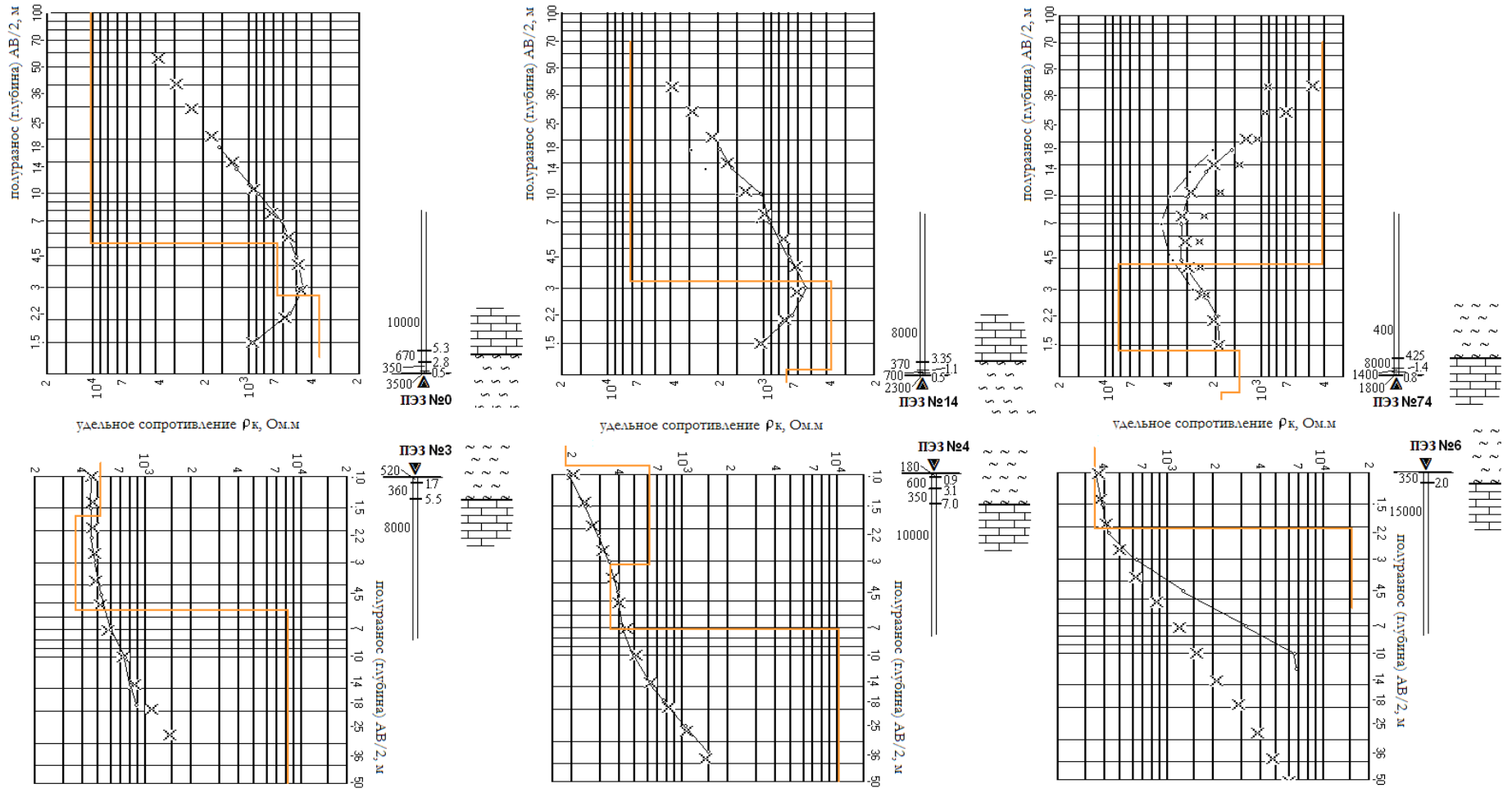


Рисунок 6 – Графики ПЭЗ верхнего ряда при заземлении в кровлю подземной выработки, нижнего – в рудную почву и диаграммы словесной интерпретации контактов боксит- известняк. Условные обозначения графиков даны на рис. 2 и 4.

Приемы измерений в карьерах специфичны. ВЭЗ выполнялись на удалении от зон высоких градиентов, выявляемых в рисунке опережающей площадной съемки по методу срединного градиента ПСГ.

Бокситы изучались в шахте Ново-Курьинской при заземлениях в рудную кровлю. На других шахтах СУБРа имеются данные измерений в почву. Интерес представляли сигналы электропроводности на контактах известняк-боксит (рис. 6).

Задачи измерений шире, чем сформулированные геологами и обогатителями.

1. Детализация процессов в рудах на контакте и далее по следу убывания окислов.

2. Анализ явлений отдельного и совместного присутствия изучаемых окислов.

3. Известные свойства корунда Al_2O_3 , технического периклаза MgO и подобных монокристаллов этих формул применять некорректно, поскольку «ударные» p , T параметры синтеза существенно отличаются от изучаемых условий низко- (осадочного типа) и средне- (до $500^\circ C$) температурных рудных полей.

Исследования возможны или на уровне изучения элементов или на уровне изучения руд. Для вычислений выбраны результаты на массивах без примесей (Таблица 1). Уравнение бивариантной смеси принадлежит Овчинникову И.К. [7]:

$$\rho_n = \frac{3\rho_{зан}ABC}{3ABC + 2(1 - w_{зан})\Delta\rho(AB + AC + BC)}, \quad (1)$$

где ρ_n - сопротивление смеси, $\rho_{зан}$ - сопротивление заполнителя, $w_{зан}$ - объемное содержание заполнителя; $\Delta\rho = \rho_{зан} - \rho_{вкл}$, $\rho_{вкл}$ - сопротивление эллипсоидальных включений; $A = abcA(0)w_{зан}\Delta\rho + 2\rho_{вкл}$, $B = abcB(0)w_{зан}\Delta\rho + 2\rho_{вкл}$, $C = abcC(0)w_{зан}\Delta\rho + 2\rho_{вкл}$, a, b, c - полуоси эллипсоида; $A(0), B(0), C(0)$ - функции эллиптических интегралов 1-го и 2-го рода и тригонометрических функций.

Частный случай уравнения (1) для смеси с включениями бесконечно большого сопротивления выражает уравнение Семенова А.С.:

$$\rho_n = \frac{(3 - w_{зан})\rho_{зан}}{2w_{зан}} \quad (2).$$

Таблица 1. Сопротивления пород, руд и константы окислов. *

СУБР		ОАО «Комбинат Магнезит»*		СУБР**
Порода, Руда	Известняк	Доломит	Магнезит	Боксит
Формула	Ca CO ₃	Ca, Mg CO ₃ MgO=20%	Ca, Mg CO ₃ MgO=47.7%	Ca, Al CO ₃ Al ₂ O ₃ =56%
Сопротивление руды/породы, Ом.м	12000	4700 (3840)	1300 (984)	240 (200)

	ОАО «Комбинат Магнезит»	СУБР
Минерал (фракция)	МАГНЕЗИЯ	ГЛИНОЗЕМ
Формула	MgO=100%	Al ₂ O ₃ =100%
Сопротивление, Ом.м	400=10 ^{2.6}	20=10 ^{1.3}

Примечание: свойства на осадочных, низкотемпературных залежах.

* Полевые работы 2004 г. и обработка выполнены под общим руководством д.т.н. Ю.П. Шуплецова (учтены и обработаны на новом уровне архивы группы В.Ф. Брызгалова),

** Полевые работы и обработка выполнены под общим руководством д.т.н. Ю.В. Лаптева при деятельном участии от предприятия главного инженера М.Н. Ковалева, а также Н.Н. Муравья, В.И. Полховского.

Выводы. Обсуждаются способ и особенности обнаружения сигналов CaO, MgO, Al₂O₃, направленности к полупроводникам и констант электропроводности – от анализа в металлах соотношений E0 и OЭО к обмерам геоблоков. Фундаментальны признаки к восполнению инструментов петрофизики в оценках нагорных месторождений Урала.

OЭО элементов в энергии связей [4] (синэргия и носители) показывают, что гетеро-атомные связи Fe-Al; Fe-Mg сильнее гомо-атомных Fe-Fe; Al-Al; Mg-Mg, а гетеро-валентные – чем Fe(2+)-Fe(2+); Al(3+)-Al(3+); Fe(3+)-Fe(3+); Mg(2+)-Mg(2+). Насыщение Fe, Al и Mg (пограничного)- фактор металлического типа. В малейшем присутствии других металлов связи «предпочтут» гетеро-атомность и носители, начиная с ближних E0. Без этого, прежде, гетеро-валентность сформирует Fe₃O₄- фазы и объяснение идеальных магнитов. Что, с энергетических позиций объясняет обменный источник Fe и необратимость носителей от Al к Mg уменьшаемого действия.

В трактовках ионных, ковалентных и металлических типов связи имеются нюансы и глубокие различия с очевидным отрицанием в минеральных средах одной из них в чистом виде. В крайних типах: к ионной связи можно отнести SiO₂, K₂O, CaO, Na₂O (малые E0 и OЭО металлов, в основном s – тип и переход к sp- типу электронного строения катиона, идентичность аниона – кислород O(2-)), а к металлической – ряд магнетитов, плитчатые бокситы (высокий удельный вес, блеск на сколах, d – тип в сочетании с sp). Обсуждается донорно-акцепторный механизм формирования ковалентной связи при внедрении Mg, Al в среду ионных типов. В среде окислов металлов sp- типа электронного строения в окружении CaO носители MgO и Al₂O₃ можно объяснить, единственно, избытком металла, полагая в Na₂O или, начиная уже с CaO, напротив, стехиометричность формул по валентности.

Свойства легких окислов – фактор приложений в полупроводниках и в геологии.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (грант № 11-05-00159) и в рамках Государственного задания 007-00293-18-00, тема № 0405-2018-0015.

Библиографический список

1. Адамов Э.В., Алексеева Т.И., Андреев Е.Е. и другие. Технологическая оценка минерального сырья: Справочное пособие.- М.: Недра, 1990.- 264 с.
2. Шуй Р.Т. Полупроводниковые рудные минералы.- Л.: Недра, 1979.- 288 с.
3. Тимохин А. В. Сигнальные свойства легких окислов (ат. № ≤ 20, включая Ca) как фактор новых измерительных принципов петрофизики в структурно-сырьевой оценке твердо-минеральных ископаемых (на примере уральских месторождений нагорного типа) /А. В. Тимохин // «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений»: сборник докладов VIII Международной научно-практической конф. 10-11 апреля 2019 г. – Екатеринбург: УГГУ – 2019. – С. 305-317.
4. Sanderson R.T. Chemical Bonds and Bond Energy. N.Y.: Acad.Press, 1976.- 218 p.
5. Бацанов С. С. , Структурная химия. Факты и зависимости. М: Диалог-МГУ, 2000. 292 с. ISBN 5-89209-597-5
6. Тимохин А. В. Электрометрическая геометризация техногенного и естественного карстов / А. В. Тимохин // Проблемы недропользования. 2019. №. 1. С. 71-81. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.01.071 (РИНЦ)
7. Овчинников И.К. Теория поля. М.: Недра, 1978. 327 с.
8. Семенов А.С. Влияние структуры на сопротивление агрегатов // Материалы ВСЕГЕИ, М.: Геофизика, 1948. № 12. С. 43- 61.

ИНЪЕКЦИОННЫЙ СПОСОБ ВОЗВЕДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ЦЕЛИКОВ

БЕРКОВИЧ В. Х.¹, ПРОПП В. Д.¹, СТАРЦЕВ В. А.¹
¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. С целью совершенствования технологии закладочных работ при отработке охранного целика Урупского медно-колчеданного месторождения авторами предложен и испытан в производственных условиях способ возведения монолитных целиков, при котором крупный заполнитель и вяжущий материал подаются в выработанное пространство отдельно.

Для повышения прочности гидрозакладочного массива в очистном блоке применена технология укрепительной зонной инъекции, использование которой потребовало подбора состава инъекционной смеси необходимой прочности.

Ключевые слова: технология закладочных работ, инъекционный раствор, зонная инъекция, система разработки, гидрозакладка.

INJECTION METHOD FOR BUILDING ARTIFICIAL PILLARS

BERCOVICH VYACHESLAV HAIMOVICH¹, PROPP VLADIMIR DAVIDOVICH¹, STARCEV VASILYI ANDREEVICH¹,
¹Ural state mining University

Abstract. In order to improve the technology of laying operations during the development of the protective target of the Urup copper - pyrrhic deposit, the authors proposed and tested in production conditions a method for constructing monolithic targets, in which a large aggregate and a binder are fed into the developed space separately.

To increase the strength of the hydro-laying array in the treatment unit, the technology of strengthening zone injection was applied, the use of which required the selection of the composition of the injection mixture of the required strength.

Key words: technology of laying works, injection solution, zone injection, development system, hydro-laying.

На Урупском медно-колчеданном месторождении около 40% запасов руды находились в охранном целике реки. Проектом института «Кавказгипроцветмета» эту часть месторождения предусматривалось отрабатывать системами с закладкой выработанного пространства. Был принят следующий состав монолитной закладки (на 1 м³): цемент марки 300 — 350 кг, песок фракции 0—5 мм — 900 кг, щебень фракции 5—20 мм — 600 кг, вода — 300 л.

С точки зрения поддержания очистного пространства и сохранения земной поверхности этот вариант не вызывает сомнения, но высокая стоимость бетона и сложность его транспортирования в очистной блок обусловили поиск более дешевого способа укрепления закладываемого массива [1, 2].

С целью совершенствования технологии закладочных работ на руднике был испытан и внедрен инъекционный способ возведения монолитных целиков, при котором крупный заполнитель и вяжущий материал подаются в выработанное пространство отдельно. Этот способ характеризуют следующие достоинства: снижение капитальных затрат на строительство закладочных установок в связи с отсутствием необходимости принудительного перемешивания вяжущего раствора и инертных заполнителей, простота транспортирования закладочных материалов при отдельной их подаче, уменьшение расхода цемента за счет предварительного уплотнения заполнителя (гидравлической за-

кладки), усиление монолитности закладки ранее заложенных камер и использование в качестве закладки пород из проходческих забоев [3].

Исследования проводились в два этапа. В лабораторных условиях были выявлены основные закономерности течения различных инъекционных растворов в сыпучей среде и определены прочностные свойства укрепленной закладки.

Экспериментальные исследования показали, что качество инъекционных работ зависит от качества приготовленных растворов. Были разработаны многокомпонентные составы инъекционных растворов, которые можно приготовить только на специальных растворных узлах (рис. 1).

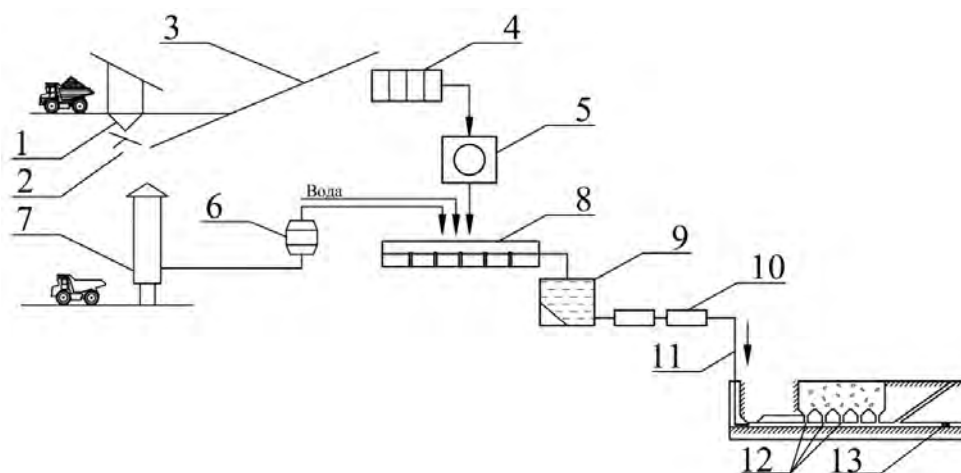


Рисунок 1 - Схема приготовления и подачи инъекционного раствора в камеру 1 - приемный бункер; 2 - питатель; 3 - конвейер; 4 - глинорезная машина; 5 - бегуны измельчения; 6 - растворомешалка; 7 - силос для цемента; 8 - секционный питатель; 9 - приёмный зумпф; 10 - насосы; 11 - трубопровод; 12 - выпускные дучки; 13 - бетонные перемычки

Исследования проводились в два этапа. В лабораторных условиях были выявлены основные закономерности течения различных инъекционных растворов в сыпучей среде и определены прочностные свойства укрепленной закладки.

Состав раствора в каждом конкретном случае устанавливался в зависимости от прочности и деформационных свойств монолитного массива, фильтрационных характеристик сыпучей закладки и минимальной себестоимости. При заполнении пустот гидравлическим способом материалом крупностью 0—40 мм возможны деформации земной поверхности в пределах 7—11 %. Допустимые деформации земной поверхности для данной категории охраняемых объектов не должны превышать 5 % от выемочной мощности. Кроме того, применение гидравлической закладки потребовало оставления междублоковых и междуэтажных целиков. Установлено, что для данного случая повышения прочности гидрозакладочного массива достаточно на границе руда - сыпучая закладка возведения барьеров монолитной закладки, ширина которых зависит от площади обнажения и составляет на практике 3—5 м. Прочность этих упрочненных зон 3—5 МПа. Для решения поставленной задачи применили технологию укрепительной зонной инъекции.

Технология зонной инъекции потребовала разработки специального инъектора (а.с. № 397658) для отдельного бетонирования и нагнетания вяжущего раствора в закладочный массив (рис 2.).

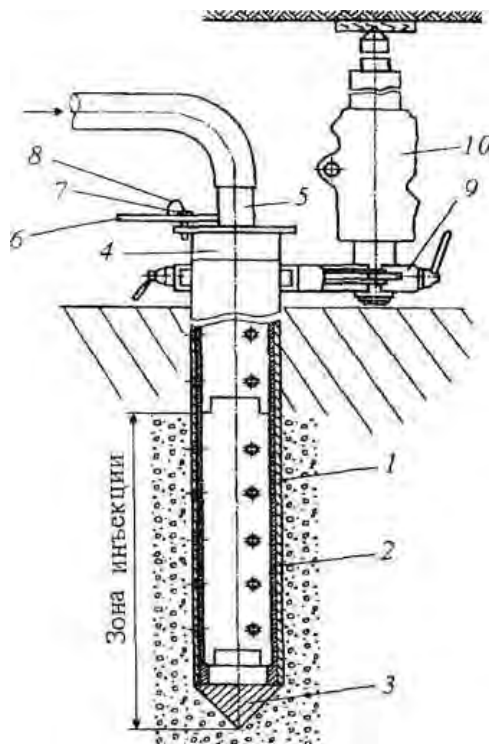


Рисунок 2 - Инъектор для раздельного бетонирования и нагнетания вяжущего
 1 - наружная труба; 2 - внутренняя труба; 3 - наконечник; 4 - съёмная крышка; 5 - поворотный патрубок; 6 - рукоятка; 7 - палец; 8 - тросик; 9 - хомут; 10 - телескопный перфоратор

Выбор состава необходимой прочности при зонной инъекции производится на основании проведенных исследований с учетом требуемого уровня надежности прогноза прочности монолитного массива:

$$\sigma_n = (1 + 1,7 K_{\text{вар}}) \sigma_{\text{обр}}, \quad (1)$$

где σ_n - проектная прочность монолитной закладки, МПа; $\sigma_{\text{обр}}$ - предел прочности образцов монолитной закладки на одноосное сжатие, МПа; $K_{\text{вар}}$ - коэффициент вариации, %. Для наших условий коэффициент вариации, зависящий от свойств раствора, среды, интенсивности нагнетания и др. равен $K_{\text{вар}} = 9,7 \%$, что достаточно близко данным М.Н. Гольдштейна [4].

Учитывая сложность взаимосвязи состава и свойств раствора, свойств среды, давления и радиуса инъекции, технологии работ, прочностные показатели укрепленной закладки при инъекции через один инъектор определяли экспериментально. Анализ и обобщение результатов испытаний образцов, полученных при нагнетании растворов различного состава, позволили установить закономерность изменения предела прочности при сжатии. Экспериментальные зависимости описываются формулой:

$$\sigma_{\text{обр}} = \sigma_k + b_1 R + b_2 R^2, \quad (2)$$

где R - радиус инъекции, м; b_1 и b_2 - коэффициенты регрессии, определены методом наименьших квадратов по стандартным программам на ЭВМ, зависят от свойств раствора, среды и интервала нагнетания раствора. Коэффициенты определены по эксперименталь-

ным формулам, выведенных авторами; σ_k - исходная прочность раствора, которая для инъекционных растворов может быть представлена в виде:

$$\sigma_k = K \sigma_{ц} (\text{Ц/В} - \varphi) (1 + m + n)^{-1}, \quad (3)$$

где K - коэф. уменьшения прочности, рекомендуется принимать 0,65; $\sigma_{ц}$ - активность цемента, МПа; Ц/В - остаточное цементно-водное отношение; m , n - коэф, учитывающие добавку глины m и известняка n , %; φ - коэффициент уменьшения прочности, $\varphi = 0,2 \dots 0,35$.

Для создания укрепленных зон были рекомендованы составы, имеющие сравнительно высокую плотность и небольшие углы растекания растворов в сыпучей среде. С целью получения укрепленной закладки указанной выше прочности разработаны и рекомендованы цементно-известняковые растворы плотностью: 1420 кг/м³ (содержание глины - менее 20 % от массы цемента, известняка - 20 %), 1500 кг/м³ (глины - до 40 %, известняка - 20—30 %), 1580 кг/м³ (глины - до 50 %, известняка - 20-25 %), а также цементные растворы плотностью выше 1500 кг/м³.

Сплошная система разработки с гидрозакладкой и зонной инъекцией позволила отрабатывать месторождение без оставления междублоковых целиков (рис. 3). По мере отработки блока по краям закладочного массива создаются барьеры монолитной закладки на глубину 5 м. При такой технологии ведения работ уменьшается деформационная податливость закладки, снижаются потери ценной руды за счет вовлечения в добычу междублоковых барьерных целиков. Зонная инъекция позволила значительно сократить расход цемента [5].

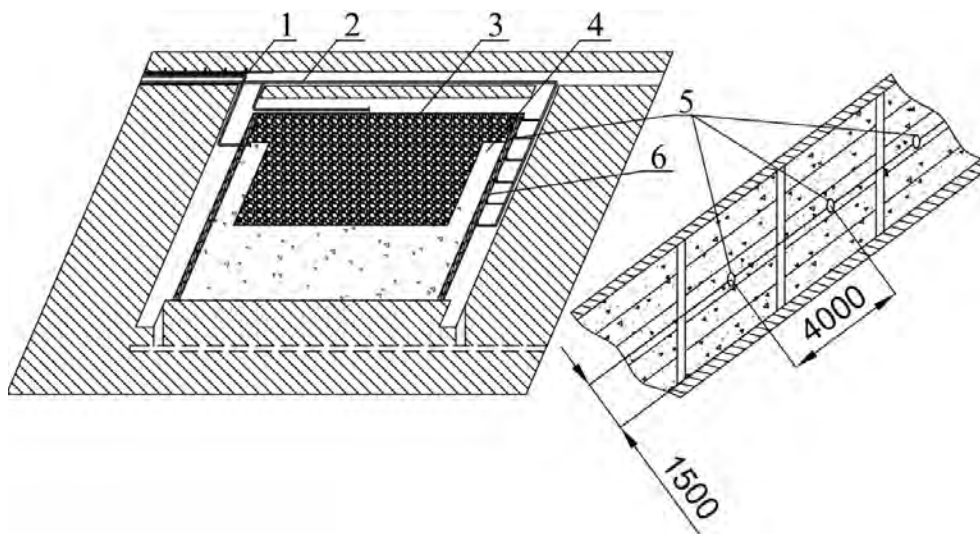


Рисунок 3 - Схема зонной инъекции гидравлической закладки

1 - трубопровод гидравлической закладки; 2 - трубопровод инъекционного раствора; 3 - гидравлическая закладка; 4 - твердеющая закладка; 5 - секционные инъекторы; 6 - деревянный отшив

Освоение сплошной системы разработки с гидрозакладкой выработанного пространства и применением передвижной крепи, в связи с улучшением качественных показателей добычи (табл.), было распространено на некоторые участки на флангах месторождения за пределами охранного целика.

Таблица 1 - Технико-экономические показатели систем разработки

Показатель	Системы разработки		
	сплошная с гидрозакладкой	камерно-столбовая	подэтажными штреками
Доля в общем объеме добычи, %	70,0	26,2	3,8
Объем ПНР на 1000 т руды, м ³	45,8	100,4	114,0
Потери, %	5,0	22,2	15,0
Разубоживание, %	7,0	19,9	22,0
Производительность забойного рабочего, м ³ /чел.смену	8,4	6,1	6,0

В результате многолетнего применения сплошной системы разработки с гидрозакладкой, несмотря на естественные трудности освоения новой горной технологии, при отработке охранного целика было обеспечено снижение затрат на добычу и переработку и достигнут значительный народнохозяйственный экономический эффект.

Опыт отработки предохранительного (охранного) целика убедительно показал, что применение гидравлической закладки является достаточно эффективным с точки зрения полноты и качества добываемой рудной массы, трудоемкости и себестоимости очистных работ, а также безопасности ведения горных работ под охраняемыми объектами.

Библиографический список

1. Беркович В.Х. Отработка предохранительных целиков. Известия вузов. Горный журнал, 1996, № 3-4, с. 93-104.
2. Осинцев В.А., Беркович В.Х., Загарских М.С. Технология добычи полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства: учебное пособие; под ред. В.Х. Берковича; Изд-во УГГУ, 2010, С. 131, Екатеринбург.
3. Беркович В.Х., Дик Ю.А., Шукшина А.Н. Перспективы вовлечения в добычу и переработку потерянных запасов руд. Известия вузов. Горный журнал, 2017, № 8, с 9-14.
4. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. Стройиздат, М., 1971, с. 314-327.
5. Валиев Н.Г., Беркович В.Х., Пропп В.Д. Проблемы отработки предохранительных целиков при эксплуатации рудных месторождений. Известия вузов. Горный журнал, 2018, № 2, с. 12-17.

УДК 533.3 (574)

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

БАИЗБАЕВ М. Б.¹, АБЕУОВ Е. А.¹, МАЛЬЧЕНКО Т. Д.¹, АБДИЕВА Л. М.¹

¹ РГП на ПХВ «Карагандинский Государственный технический университет»

Аннотация. На основе проведенных исследований и проектными проработками установлено, что комплексный открыто-подземный способ разработки крепких руд является перспективным направлением освоения недр.

Ключевые слова: комбинированная разработка, устойчивость подрабатываемых бортов карьеров, массив горных пород, технологические параметры разработки.

INFLUENCE OF TECHNOGENIC FACTORS ON THE EFFICIENCY OF COMBINED MINING OF ORE DEPOSITS

BAIZBAYEV M. B.¹, ABEUOV E. A.¹, MALCHENKO T. D.¹, ABDIEVA L. M.¹

¹Of RSE on REJ “Karaganda State technical University”

Annotation. Based on the research and design studies, it is established that a complex open-underground method of developing strong ores is a promising direction for the development of subsurface resources.

Keywords: combined development, stability of the quarry sides being worked on, rock mass, technological parameters of the development.

Характерной особенностью комбинированной разработки является наличие карьерного и подземного очистных пространств, находящихся в непосредственной близости. Совмещение открытых и подземных работ или переход с открытой добычи на подземный способ выдвигает на первый план геомеханические аспекты выбора технологических схем и параметров разработки. Это обусловлено необходимостью совместных оценок состояния горного массива вблизи подземных выработок и подработанных бортов карьера. Наличие техногенного пространства, образованного открытым способом добычи, существенно осложняет геомеханическую обстановку в зоне подземных работ, изменяя напряженно-деформированное состояние элементов систем подземной разработки, создавая зоны концентрации и разгрузки напряжения. С другой стороны, наличие обширных подземных выработанных пространств ведет к разупрочнению и разрушению пород налегающего массива, снижению устойчивости подрабатываемых бортов карьеров, опорных и разделительных целиков. Прогнозирование поведения подрабатываемых массивов пород, оценка устойчивости обнажений, определение рациональных технологических параметров разработки в этом случае могут базироваться только на изучении геомеханических процессов, протекающих в зоне взаимного влияния подземных и открытых работ. Предпосылки успешного решения проблем комбинированной разработки, обеспечение ее эффективности достигается знанием закономерностей распределения напряжений деформаций, смещений, формирующихся в массиве в процессе эксплуатации месторождения комбинированным способом. Исследования в этих направлениях являются методической базой обоснования параметров комбинированных технологий, таких как рациональные схемы вскрытия и подготовки, надежные методы управления состоянием подрабатываемых массивов.

Проведение подземных горных работ в зоне влияния карьера (под дном и в бортах) вызывает перераспределение напряжений в разработанном массиве. А это в свою очередь вызывает перераспределение величин и направления действия сдвигающих и удерживающих сил.

Степень разупрочнения пород в результате подработки может быть различной и зависит от конкретных условий месторождения: интенсивности структурной раздробленности массива; ориентировки плоскостей ослабления относительно подземных очистных выработок и элементов карьера; начальной прочности массива; стадии развития зоны сдвижения степени подработки массива; скорости подработки и др.

Влияние техногенного пространства, образованного карьером, на подземные горные работы изучались также с целью определения предпочтительного порядка и направления развития горных работ в переходной зоне месторождения. Исследовались варианты направления развития подземных работ от массива к откосу и от откоса к массиву. Направление развития подземных горных работ по вертикали не оказывает существенного влияния на формирование полей напряжений в подработанном борту. С целью интенсификации работ и обеспечения управления устойчивостью бортов, на

первом подземном горизонте в основании карьера предпочтительна разработка запасов с разделением на панели, сплошной выемкой запасов.

Факторами, определяющими применение открыто-подземной технологии на месторождениях являются: совместное использование горных выработок для транспортирования и дренажа; наиболее полное освоение запасов месторождения; использование пустых пород в качестве закладочного материала с упрощенной схемой подачи их в шахту. Факторами, ограничивающими применение данного способа, являются недостатки: необходимость снижения сейсмического воздействия карьерных и подземных взрывов на прикарьерный массив; сложные условия проветривания горных выработок.

Для открыто-подземной разработки месторождений характерен ряд особенностей, определяющих условия ведения горных работ.

Первое - под влиянием подземных работ возможны сдвиги пород и проседание поверхности. Одно из условий выбора систем подземной разработки при совместных работах – необходимость постоянного и временного сохранения устойчивости массива. Выбор системы разработки зависит от конкретных горно-геологических условий и возможности обеспечения надежной гарантии безопасности работ.

Второе - взаимное влияние взрывных работ в карьере и на подземном руднике вносит ограничения и должно учитываться при составлении планов, расчете паспортов БВР.

Третье - совместная технология ведения подземных и открытых работ требуют особой организации труда на карьерах, рудоспусках под землей и на дренажных работах.

Четвертое - высокая ответственность и сложность решения геомеханических задач предполагают: расчет параметров безопасных берм между открытыми и подземными работами; оценку толщины потолочины над отдельными участками выработанного пространства; расчет параметров опорных целиков; определение допустимой площади горизонтального обнажения кровли очистного пространства; оценку устойчивости подрабатываемых подземными выработками бортов карьера.

Преимущественная область применения комплексного открыто-подземного способа – протяженные крутопадающие месторождения с однородным характером оруденения. Основными факторами, влияющими на выбор конкретной технологической схемы, являются мощность залежи, ценность руды и устойчивость массива. Сложность решения геомеханических задач определяет основные факторы выбора открыто-подземной технологии, т.е. состояние очистного пространства и способ управления состоянием массива.

В настоящее время в большинстве методов оценки устойчивости откосов учитываются только составляющие напряжений, обусловленные действием гравитационных сил, а предельную высоту откоса находят решением уравнения равновесия удерживающих и сдвигающих сил по выбранной поверхности скольжения в вертикальной плоскости. Значение коэффициента устойчивости борта зависит от наличия в массиве пород природных тектонических сил, соотношения упругих характеристик пород, слагающий горный массив, соотношения геометрических размеров карьера.

Важным направлением развития добычи полезных ископаемых, позволяющим уменьшить влияние негативных факторов и повысить эффективность горных работ, является комплексное освоение недр. Один из путей реализации этого направления состоит в наиболее эффективном сочетании (комплексе) различных технологий и техники в процессе эксплуатации месторождения [1].

На вновь осваиваемых месторождениях оказывается возможным вскрывать рудные горизонты карьера комплексом подземных выработок, используемых и при

отработке открыто-подземного яруса. Благодаря этому нерабочий борт освобождается от транспортных коммуникаций для его использования при формировании внутренних отвалов.

Комплексный открыто-подземный способ применим также на действующих карьерах, где выполнение плановых объемов добычи сдерживается отставанием вскрышных работ и отсутствием площадей для размещения внешних отвалов. В этом случае могут быть пересмотрены проектные границы карьера и обеспечены благоприятные условия для более раннего перехода на подземную разработку.

Рассматриваемая технология имеет ряд особенностей, определяющих ее эффективность и перспективы применения. Они обусловили основные направления исследований.

Геомеханические процессы при совмещении открытых и подземных горных работ вообще, а при комплексном открыто-подземном способе в частности, характеризуются значительной неоднородностью напряжений и деформаций вследствие наложения нескольких полей напряжений на одном и том же участке массива из-за усложненной конфигурации единого выработанного пространства. Устойчивость уступа для базового варианта (рис. 1, а) исследовалась методом конечных элементов применительно к условиям Приоскольского месторождения Курской магнитной аномалии (КМА). Анализ показал, что наиболее слабым конструктивным элементом является зона подсечки. Устойчивость уступа высотой 100 м с углом откоса 70° может быть обеспечена с коэффициентом запаса 1,5 при отношении площади целиков в зоне подсечки к общей ее площади не менее 0,4 [2]. Устойчивость уступа большей высоты достигается исключением опережающей подсечки и формированием выпускных выработок с отставанием, под навалом обрушенной рудной массы. В этом случае особенностью напряженно-деформированного состояния является образование зоны концентрации сжимающих напряжений в нижней части уступа и зоны растягивающих напряжений под дном выработанного пространства (рисунок 1).

Сочетание указанных элементов в единой технологической схеме легло в основу комплексного открыто-подземного способа разработки месторождений, идея которого была предложена коллективом ученых под руководством д.т.н., проф. В.И. Терентьева [3].

С увеличением высоты открыто-подземного яруса и уменьшением ширины верхней рабочей площадки зона концентрации сжимающих напряжений расширяется, а сами напряжения возрастают, одновременно происходит удаление зоны растягивающих напряжений от уступа. Снизить концентрацию напряжений в выделенных зонах могут позволить проведение буровых и выпускных выработок за пределами нижней части уступа и пригрузка высокого уступа обрушаемой горной массой.

На основе модели сыпучей среды был проведен анализ устойчивости вертикального уступа. Установлено, что устойчивость ненарушенного вертикального уступа, сложенного кварцитами, обеспечивается при пригрузке отбитой рудой, располагаемой под углом естественного откоса всей его поверхности за исключением верхней части, по высоте равной глубине вертикальной трещины отрыва.

Исследования, выполненные лабораторией проблем горного давления ИПКОН РАН на примере Анновского месторождения, показали, что пригрузка высокого уступа обеспечивает его устойчивость и при наличии в массиве неблагоприятно ориентированных трещин. В отличие от периодически (раз в 1-2 мес) обрушаемого уступа устойчивость бортов выработанного пространства должна быть обеспечена в течение всего срока эксплуатации переходной зоны.

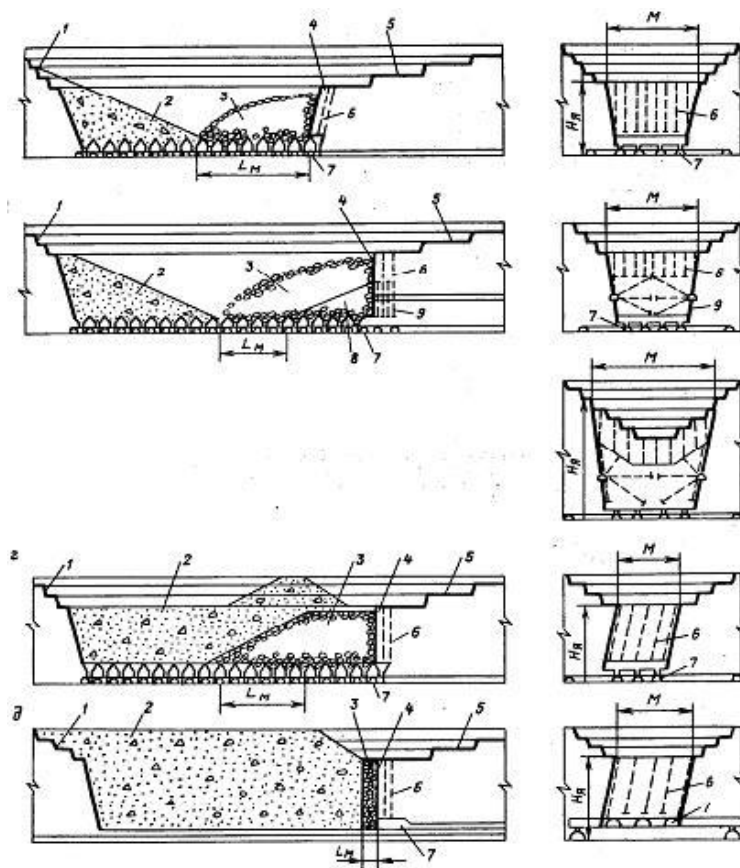


Рисунок 1 - Принципиальные варианты комплексного открыто-подземного способа раз-
работка

а – без пригрузки бортов и уступа горной массой; б – с частичной пригрузкой уступа отбитой породой; в – с доработкой глубоких горизонтов открытым способом без дополнительного разноса бортов карьера; г, д – с полной пригрузкой уступа и бортов выработанного пространства соответственно при донном и торцевом выпуске руды; 1 – нерабочий борт карьера; 2 – внутренний отвал; 3 – рудная масса; 4 – уступ открыто-подземного яруса; 5 – рабочий борт карьера; 6 – параллельные нисходящие скважины; 7 – выработки выпуска; 8 – пригрузка уступа; 9 – веерные скважины

Изучение полей напряжений в бортах открыто-подземного яруса для условий Анновского месторождения производилось с помощью поляризационно-оптического метода [3]. Установлено, что при высоте яруса 100-120 м устойчивость непригруженных бортов выработанного пространства достигается при угле их откоса не более 70° . Зависимость безопасных углов откоса бортов α_δ (градус) от высоты открыто-подземного яруса H_δ , с учетом крепости пород K_k согласно [4] может быть представлена в виде

$$\alpha_\delta = \arccotg K_k \cdot H_\delta. \quad (1)$$

Выполаживание бортов выработанного пространства по мере увеличения глубины выработанного пространства приводит к тому, что ширина его дна постепенно уменьшается. При предельной высоте яруса сечение выработанного пространства приобретает форму треугольника. Эта высота H_{\max} (м) зависит от мощности залежи M (рис. 2)

$$H_{\max} = \sqrt{\frac{M}{2K_k}}. \quad (2)$$

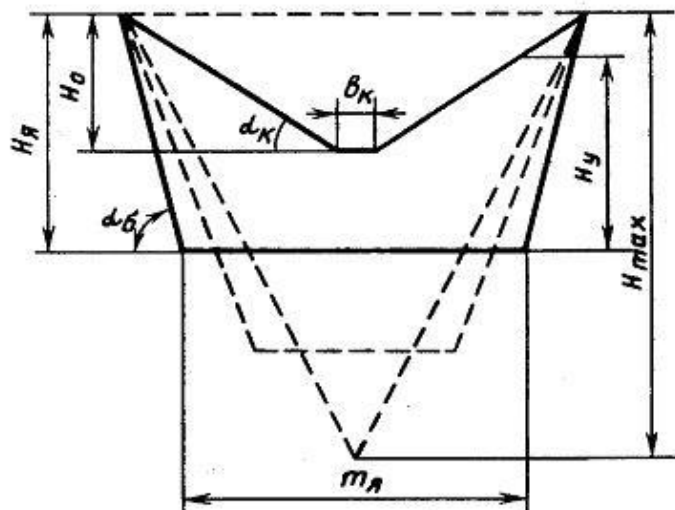


Рисунок 2 - Изменение поперечного сечения выработанного пространства при вариантах, предусматривающих выполаживание его бортов с увеличением высоты яруса
 $Hя$ – высота открыто-подземного яруса; H_0 – глубина доработки запасов открытым способом без разноса бортов карьера; α_k – угол откоса бортов карьера при доработке; β_k – ширина дна карьера; α_b – угол откоса бортов выработанного пространства открыто-подземного яруса; $т_я$ – ширина дна выработанного пространства; H_{max} – максимально возможная высота открыто-подземного яруса

Максимальная площадь поперечного сечения выработанного пространства и соответственно наибольший объем запасов в открыто-подземном ярусе соответствует его высоте, равной $0,8 H_{max}$.

Необходимая устойчивость выработанного пространства в период между окончанием выпуска руды и началом внутреннего отвалообразования обеспечивается выбором безопасного угла откоса бортов, что требует оставления рудных треугольников; объем их увеличивается с ростом высоты открыто-подземного яруса и уменьшением угла падения рудного тела.

Снижение потерь руды в треугольниках может быть достигнуто путем постоянной и полной пригрузки бортов выработанного пространства горной массой. Возможности управления устойчивостью массива в этом случае рассматривались с использованием численного моделирования его напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов на примере Тарыннахского железорудного месторождения. Установлено, что факторами, оказывающими наибольшее влияние на устойчивость висячего бока, являются высота открыто-подземного яруса и угол падения рудного тела. Устойчивость сохраняется при угле от 60 до 90° и высоте яруса порядка $80-100$ м. При этом зоны возможных локальных разрушений и трещинообразования располагаются в нижней части борта карьера со стороны висячего бока и в верхней его части со стороны лежачего бока. Однако наличие таких зон не нарушает устойчивости системы в целом.

Результаты оценки геомеханического состояния массива позволили сформировать три основных варианта комплексной открыто-подземной разработки, различающихся способом обеспечения устойчивости уступа и бортов выработанного пространства.

Первый вариант предусматривает полный выпуск руды после каждого цикла отбойки с оставлением только небольшой рудной подушки (рисунок 3, а). Устойчи-

вость уступа и бортов выработанного пространства, которые в течение определенного времени находятся в непригруженном состоянии, обеспечивается за счет придания им безопасных углов откоса. Внутренний отвал формируется с отставанием от уступа без контакта пустой породы с рудной массой. При этом осуществляется свободный донный выпуск руды по всей площади, занятой отбитой рудой. Этот вариант по геомеханическим условиям обеспечивает создание открыто-подземного яруса максимальной высотой 80-100 м с использованием для бурения карьерных станков при образовании только нижней подсечки без подземного бурового горизонта. Его целесообразно применять при мощности залежи не более 130-150 м, когда высота яруса будет не менее $0,8 H_{max}$.

При втором варианте (рисунок 3, б) после каждого цикла отбойки часть отбитой руды по контакту с уступом магазинируется, а внутренний породный отвал формируется аналогично первому варианту. Устойчивость уступа открыто-подземного яруса в этом случае обеспечивается за счет его пригрузки отбитой рудой, а устойчивость бортов выработанного пространства - приданием им безопасного угла откоса.

Полный выпуск руды осуществляется только за пределами пригрузки, в границах которой извлекается лишь 10-15 % объемов для создания необходимого разрыхления. В зависимости от размеров пригрузки высота уступа по геомеханическим условиям может быть увеличена до 150-170 м, что делает необходимым образование подземного бурового горизонта выше уровня днища за пределами зоны концентрации напряжений и проведение выпускных выработок под навалом отбитой руды. Данный вариант обеспечивает максимальную площадь сечения выработанного пространства при мощности залежи до 200-250 м. При большей мощности могут использоваться модификации, предусматривающие доработку верхней части запасов открыто-подземного яруса открытым способом без дополнительного разноса бортов (рисунок 3, в).

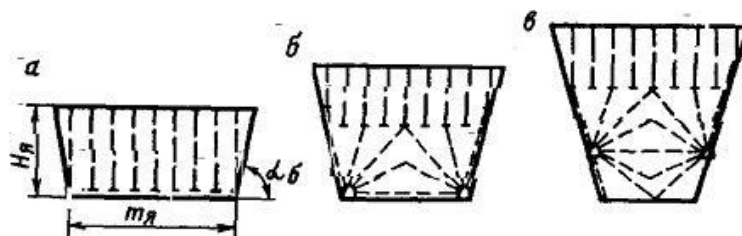


Рисунок 3 - Принципиальные схемы обустройства уступа открыто-подземного яруса

Условия свободного выпуска руды, характерные для рассмотренных вариантов, позволяют увеличить расстояние между донными выпускными выработками до 15-20 м, что обеспечивает рост запасов, приходящихся на одно выпускное отверстие, до 150-200 тыс. т.

Третий вариант предполагает постоянное заполнение всего выработанного пространства горной массой. Это связано с необходимостью отбойки всего уступа на зажимающую среду и делает возможным применение как площадного, так и торцевого выпуска (рисунок 1, г, д). Высота яруса ограничивается 70-90 м как по условиям устойчивости висячего бока, так и исходя из возможностей отбойки в зажатой среде. При площадном выпуске после каждого цикла отбойки наращивается внутренний отвал с размещением породы над рудной массой; выпуск руды ведется на некотором расстоянии от уступа, где отвал достиг проектной высоты. При торцевом выпуске после каждого цикла отбойки осуществляется полное извлечение рудной массы при вертикальном контакте с породами внутреннего отвала. Применение вариантов с постоянным заполнением всего выработанного пространства горной массой целесообразно при мощности залежи до 80-100 м.

Эффективность комплексной открыто-подземной разработки в значительной мере зависит от обоснованного выбора параметров и показателей буровзрывных работ.

Принципиально возможными являются три основных схемы обурирования высокого уступа (рисунок 3). Первая схема (рисунок 3, а) предусматривает обурирование всего уступа параллельными нисходящими скважинами с помощью карьерных станков. Это позволяет отказаться от создания подземного бурового горизонта, но требует образования нижней подсечки. Исходя из характеристик наиболее мощной карьерной техники высота яруса в этом случае не превышает с учетом подсечки 70-90 м.

Вторая схема (рисунок 3, б) предполагает формирование подземного бурового горизонта на уровне горизонта выпуска и отбойку нижней части уступа веерными скважинами. Максимальная высота яруса в этом случае может достигать 120-140 м.

Недостатки расположения буровых выработок в зоне концентрации напряжений делают более перспективной третью схему (рисунок 3, в), которая предусматривает проведение бурового горизонта выше уровня днища и обурирование нижней части уступа восходящими и нисходящими веерными скважинами. В этом случае параметры существующей буровой техники позволяют увеличивать высоту яруса до 160-170 м.

Главной особенностью отбойки при открыто-подземной разработке является значительная глубина взрывных скважин, с ростом которой увеличивается их отклонение от проектного положения. В результате расход ВВ в отдельных частях взрываемого массива становится меньше расчетного, что вызывает ухудшение качества дробления.

На основе данных об отклонениях скважин на ряде отечественных и зарубежных предприятий и с учетом опыта по снижению этих отклонений расчетным путем были получены зависимости выхода негабарита от высоты открыто-подземного яруса и установлено, что при соответствующих параметрах буровзрывных работ и кондиционном куске 1000 мм выход негабарита не должен превышать 10 %. Эффективный выпуск руды такого гранулометрического состава при значительных запасах, приходящихся на одно выпускное отверстие, может быть обеспечен благодаря применению технических средств большой единичной мощности, к числу которых относятся тяжелые вибропитатели, погрузочно-доставочные машины с большой вместимостью ковша и гидравлические экскаваторы [5]. Это оборудование должно работать в сочетании с наиболее производительной транспортной техникой.

Внутреннее отвалообразование является одной из особенностей комплексного открыто-подземного способа, в значительной мере определяющей его эффективность.

В целом развитие внутренних отвалов происходит в горизонтальной плоскости вслед за подвиганием уступа открыто-подземного яруса, причем фронт отвальных работ располагается вкрест простирания залежи. При складировании породы в единое выработанное пространство характерны большая высота отвальных ярусов и ограниченный фронт работ, что обуславливает применение техники с большими рабочими параметрами. Отсыпка отвала может осуществляться как одним, так и несколькими ярусами на скальное основание (при вариантах со свободным выпуском руды) и на отбитую рудную массу (при вариантах с постоянным заполнением выработанного пространства).

Библиографический список

1. Агошков М.И. Развитие идей и практики комплексного освоения недр. М.: ИПКОН АН СССР, 1982. 25 с.
2. Казикаев Д.М. Особенности геомеханических задач при открыто-подземной разработке месторождений // Основные направления развития открыто-подземного способа разработки месторождений. М.: ИПКОН АН СССР, 1987. С. 30-33.

3. Определение устойчивости бортов открыто-подземного яруса в условиях Анновского карьера СевГОКа / В.П. Волощенко, Л.И. Третьяков, П.И. Гушко и др. // Повышение эффективности комплексного открыто-подземного способа разработки месторождения. М.: ИПКОН АН СССР, 1988. С. 137-145.

4. Терентьев В.И., Черных А.Д. Комплексная открыто-подземная разработка прибортовых и подкарьерных запасов рудных месторождений. М.: ИПКОН АН СССР, 1988. С. 244.

5. Щелканов В.А. Основные направления развития открыто-подземного способа разработки месторождений. М.: ИПКОН АН СССР, 1987. С. 16-29.

УДК 622 734

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АКТИВАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УСОВ Г. А.¹, ФРОЛОВ С. Г.¹, ХЛЫНОВА Т. В.¹, РЮМИН Н. А.¹

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. В статье рассмотрены современные способы активации технологических материалов используемых в горно-добывающей и нефте-газодобывающей отраслях. Описаны кинетика активации технологических материалов при каждом способе, их особенности и эффективность использования в различных технологических процессах.

Ключевые слова: Способы активации технологических материалов, классификация методов активации, эффективность активации сверхтонким измельчением твердых материалов.

MODERN METHODS OF ACTIVATION OF TECHNOLOGICAL MATERIALS IN THE MINING INDUSTRY

USOV G. A.¹, FROLOV S. G.¹, KHLYNNOVA T. V.¹, RYUMIN N. A.¹

¹Ural State Mining University

Annotation. The article deals with modern methods of activation of technological materials used in the mining and oil and gas industries. The kinetics of activation of technological materials for each method, their features and efficiency of use in various technological processes are described.

Keywords: Methods of activation of technological materials, classification of activation methods, activation efficiency by ultrafine grinding of solid materials.

Механоактивация технологических материалов находит все более широкое применение в различных отраслях промышленности (горно-добывающей, горно-обогатительной, строительной, химической). Особенный теоретический и практический интерес вызывают методы активации вяжущих, используемых в горной и нефте-газодобывающей промышленности, например, в процессах обогащения полезных ископаемых, при цементировании буровых скважин на нефть и газ и др. Успешное их применение позволяет существенно улучшить качество и снизить затраты на технологические процессы данных производств [1].

Методы активации цементов, цементного теста, растворов и бетонов наиболее полно изучены в строительстве, где способы внешних воздействий применяются при возведении ответственных сооружений. Исследованию различных методов активации в строительстве посвятили свои работы Р. Д. Азелицкая, И. Н. Ахвердов, Ю. Н. Бутт, И. Г. Гранковский, И. М. Ляпкевич, Н. В. Михайлов, В. А. Тихонов, Н. Б. Урьев, И. А. Хинт и др. [2].

В России и за рубежом известны многие методы активации цемента и растворов: сухой и мокрый домол, виброактивация и виброперемешивание, турбулентный и гидродинамический, ультразвуковой и гидроакустический, электрический и магнитный и др. Большинство применяемых в строительной практике методов активации неприемлемо для условий цементирования скважин из-за низкой производительности и громоздкого оборудования [2, 3].

Наиболее широко применяемыми дисперсными системами в нефтегазовом бурении являются буровые промывочные жидкости и тампонажные растворы. Повышенная дисперсность составляющих компонентов данных растворов позволяет существенно улучшить их структурно-механические и реологические свойства, увеличить механическую скорость бурения, сократить сроки и затраты на сооружение скважин. Например, повышение дисперсности вяжущих материалов позволяет в 1,5-2 раза снизить их расход при проведении тампонажных работ или во столько же увеличить прочность тампонажного камня.

Отличие энергонасыщенных дисперсных систем от известных дисперсных систем, прежде всего, состоит в высокой удельной поверхности дисперсной фазы, изменяемой тысячами и десятками тысяч квадратных сантиметров на 1 грамм вещества. Такая высокая дисперсность придает особые свойства веществу, существенно отличающиеся от свойств веществ в обычном состоянии. Благодаря сильно развитой удельной поверхности тонкодиспергированные частицы веществ активно взаимодействуют с окружающей средой и друг с другом, в результате чего многократно интенсифицируются физико-химические, химические, электрические, адсорбционные и другие процессы при контакте данных дисперсных систем между собой и окружающей средой.

Получение энергонасыщенных дисперсных систем путем механоактивации дисперсной фазы является многостадийным физико-химическим процессом. Этот процесс можно характеризовать параметрами энергетического состояния, физического строения и химических свойств диспергируемых материалов под действием механических сил. Используя для описания процесса механоактивации параметры энергетического состояния диспергируемого материала, возможно математическими выражениями оценить его количественно, полагая, что механоактивация численно равна изменению свободной энергии дисперсной системы под действием механических сил.

Темпы роста свободной энергии, увеличивающейся за счет внутренних деформаций, могут быть многократно выше при определенных условиях, чем темпы роста поверхностной энергии, увеличивающейся вследствие прироста удельной поверхности дисперсной системы.

Одним из основных условий интенсивного прироста внутренней энергии диспергируемого материала путем измельчения является высокий энергетический потенциал измельчительной машины, обеспечивающий деформации внутреннего строения измельчаемых частиц.

Механоактивированные вещества никогда не являются конечными продуктами, а только промежуточными звеньями конкретной технологии. Таллинский ученый Иоханнес Хинт назвал процесс активации веществ, при передаче большой энергии механическим путем, четвертым компонентом технологии, наряду с изменением температуры и давления, механической и химической диспергацией веществ и катализом.

Известные методы активации технологических материалов представлены на рисунке. Из них наиболее перспективно, по мнению авторов, использовать в бурении следующие [1, 3, 4, 5].

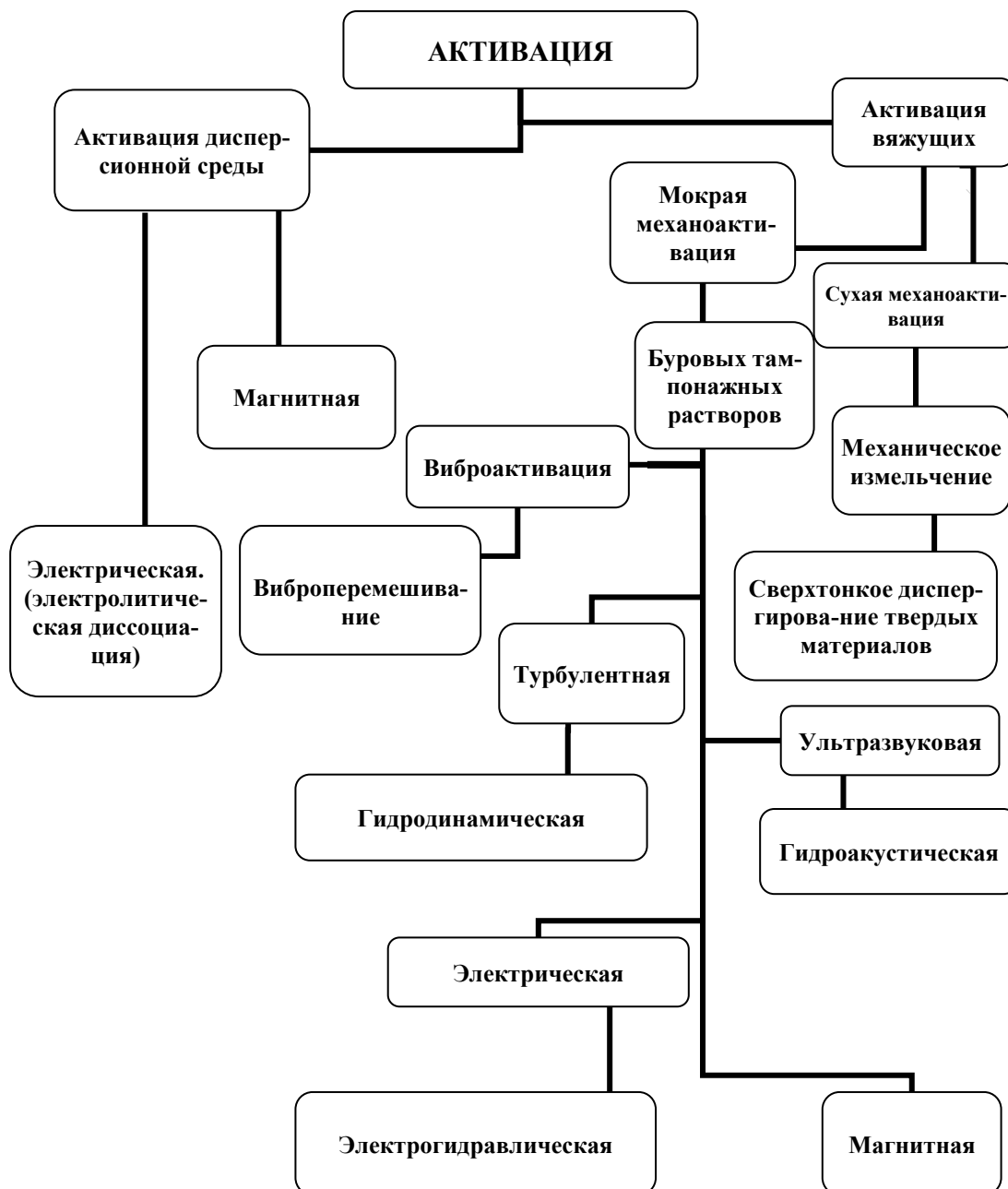


Рисунок 1 – Методы активации технологических материалов в бурении.

Виброактивация и виброперемешивание цементных растворов.

Метод виброактивации, основанный на обработке предварительно приготовленного теста глубинными вибраторами, выражается в разрушении коагуляционных структур, активации процесса диспергирования, предельно однородном распределении компонентов. В результате этого создаются условия для образования однородной тонкой капиллярной, мелкокристаллической структуры цементного камня. Кроме того, в процессе виброактивации цементное тесто интенсивно пластифицируется, особенно пасты с низким В/Ц. Поэтому наиболее целесообразна активация цементного теста с пониженным В/Ц (В/Ц менее 0,35). Более простым оказывается метод виброперемешивания бетонных смесей, сопровождающийся активацией цемента в процессе виброобработки.

В Уфимском нефтяном институте был разработан метод вибрационной обработки тампонажных растворов в зоне цементирования с использованием забойного генера-

тора гидравлических ударов (вибробашмака). Частота гидравлических ударов ограничивалась диапазоном 45-150 Гц.

Турбулентная и гидродинамическая активация цементных растворов.

С целью активации цементного теста и растворов широко применяются разнообразные методы, при которых в системах с повышенным количеством дисперсионной среды - воды - развиваются значительные градиенты скорости перемещения. В процессе скоростной обработки таких систем наблюдается переход ламинарного потока в турбулентный, что приводит к диспергированию частиц и одновременному ускорению процессов гидратации.

Принцип работы некоторых активаторов основан на прокачивании растворов цементного теста через насос с последующим ударом струи о преграду или скоростном многократном прокачивании цементной суспензии.

В 70-х годах прошлого века в Институте коллоидной химии и химии воды г. Ташкента была изучена механическая активация тампонажных растворов. Для улучшения реологических свойств растворов при цементировании низкотемпературных скважин тампонажную суспензию выдерживают в покое в течение первой стадии структурообразования, а затем во второй стадии оказывают на нее механическое воздействие, активизирующее структурообразование, и закачивают раствор в скважину.

Известен также метод скоростной турбулентной активации растворов для цементационных работ. Растворы, приготовленные по этому методу, в сравнении с обычным перемешиванием требуют большего количества воды затворения, хотя расслоение смеси понижается. Турбулентная активация влияет на прочность затвердевших растворов незначительно.

Ультразвуковая и гидроакустическая активация цементных растворов. Обработку цемента ультразвуком можно производить при помощи магнитострикционного преобразователя с частотой колебаний 11-25 кГц. Цементное тесто обрабатывали или с поверхности, или с помощью концентратора с мембраной, который вводился в тесто. Известно, что такая ультразвуковая обработка цементного теста повышает прочность цементного камня в 1,2 - 2,0 раза.

Ультразвуковое вибрационное воздействие на цементное тесто с $V/C > 0,33$ способствует увеличению прочности более чем в 2 раза и объемной массы на 9,5 %, а при $V/C \leq 0,33$ результат достигается примерно такой же, как и в случае высокочастотной вибрации.

При обработке больших объемов раствора значительно возрастает расход электроэнергии. При использовании магнитострикционных излучателей расход энергии составляет 70-200 кВт-час на 1 м³ обрабатываемого бурового раствора. Поэтому для активации тампонажных растворов, применительно к условиям буровых предприятий, целесообразно использовать гидродинамические излучатели.

Известны гидродинамические излучатели с пластинчатыми (или стержневыми) колебательными устройствами, роторные и вихревые. Пластинчатые излучатели работают по принципу колебания резонансных пластин (или стержней) от упругой струи жидкости, истекающей из сопла. Такого типа излучатели широко используются в химической технологии для приготовления эмульсий и даже рекомендуются для применения в буровой практике. Так, авторами для обработки ультразвуком тампонажных растворов предложен ряд аналогичных конструкций гидродинамических излучателей. Данного типа излучатель может применяться при работе лишь одного ЦА. Увеличение количества ЦА до 6-10 и более в условиях цементирования скважин приведет к значительному усложнению технологической схемы.

Излучатели пластинчатого типа имеют существенный недостаток, они требуют настройки в резонанс и равномерной подачи жидкости. Кроме того, у этих излучателей

невысокая износостойкость, так как вследствие абразивного действия твердой фазы раствора и кавитационной эрозии в акустическом поле быстро выходят из строя основные рабочие детали излучателя. Так, после 15-20 мин работы пластинчатого излучателя его рабочие детали - сопло и вибратор – несли значительный износ, что привело излучатель в негодность.

Недостатком роторных излучателей является необходимость дополнительного привода для вращения ротора и невозможность получения этим излучателем ультразвукового поля.

Излучатели вихревого типа работают на принципе срыва вихрей при вращении струй, что приводит к периодическому образованию импульсов давления, а следовательно, ультразвуковых волн. Вихревые излучатели просты по конструкции и надежны в работе. Они не требуют настройки в резонанс и могут эффективно работать при изменяющейся производительности и подаче жидкости пульсирующим потоком. Последнее является важным фактором, поскольку в бурении применяются поршневые насосы. Вихревые излучатели наиболее устойчивы к кавитационно-абразивному износу. Применяя гидродинамические излучатели этого типа, можно создать в потоке жидкости акустическое поле с широким диапазоном частот и высокой интенсивностью. Излучатели вихревого типа находят широкое применение для обработки буровых тампонажных растворов.

Электрическая, магнитная и электрогидравлическая активации цементов и растворов.

Изученность и доступность таких совершенных видов энергии, как электрическая и магнитная, обуславливают поиски их эффективного использования в технологии цементов и растворов. Сущность действия электрофизических методов заключается в увеличении скорости протекания реакции растворения, зародышеобразования, кристаллизации за счет изменения межмолекулярных сил, а следовательно, и работы их образования

Известен метод обработки электрическим током ствола скважины. Метод основан на воздействии в течение длительного времени постоянным электрическим током либо непосредственно на стенки скважины, либо на используемые тампонирующие смеси, например, смесь вода с цементом, глиной и добавками хлористого кальция или хлористого натрия и жидкого стекла. Промышленные испытания метода электрообработки показывают, что во всех обработанных интервалах повышается прочность и снижается водопроницаемость стенок скважин, уменьшается кавернообразование.

В последние годы установлено, что процессы гидратации и структурообразования ускоряются при твердении образцов в магнитном поле. По технико-экономическим показателям наиболее выгодно подвергать магнитной обработке воду затворения.

Исследователями установлено, что свойства цементного раствора после воздействия магнитного поля на раствор или составляющие его компоненты - жидкость затворения и цементный порошок изменяются. Показано, что в исследованном диапазоне величин магнитной индукции имеется оптимальная величина (около 400 Гс), при которой в интервале температур до 75 °С и $V/C=0,5$ несколько увеличивается растекаемость и водоотдача, сокращается время самопроизвольного каналообразования (в среднем на 30 %, незначительно изменяются сроки схватывания цементных растворов, повышается в среднем на 20 % механическая прочность, и на 60 % снижается проницаемость цементного камня.

Ультразвуковая активация цементных растворов.

В цементном тесте скорость звука достигает 300 м/с. При ультразвуковой обработке нарушается структурная связность цементного теста, и оно разжижается, что улавливает снижение скорости акустических волн на начальном этапе ультразвукового

воздействия, а затем наблюдается дальнейшее увеличение её в связи с перераспределением зерен твердой фазы. В дальнейшем их скорость стабилизируется, так как наступает динамическое равновесие. Ультразвуковое воздействие цементного теста приводит к значительному росту скоростей акустических волн. В этом случае скорость звука достигает величины 300-600 м/с.

Наиболее важным эффектом, возникающим при ультразвуковом диспергировании суспензий, является кавитация. Сущность этого явления основана на том, что жидкости легко "переносят" очень большую величину всестороннего сжатия, но чрезвычайно чувствительны к растягивающим усилиям. При прохождении фазы волны, создающей разрежение в жидкости, образуются разрывы в виде мельчайших пузырьков, появляющихся обычно в тех местах, где прочность жидкости ослаблена. Такими местами являются пузырьки газа, твердые частицы и пр.

Кавитационные полости, заполненные газом и парами жидкости, совершают пульсирующие колебания, и вокруг них образуются сильные микропотоки, что приводит к активной местной турбулизации среды. После кратковременного существования часть пузырьков захлопывается, в результате чего развиваются местные мгновенные давления, достигающие десятки тысяч атмосфер, а также повышается температура и возникают электрические разряды в кавитационных полостях.

Процесс кавитации зависит от параметров звукового поля (частоты и интенсивности), внешних воздействий (температуры, статического давления) и свойств жидкости (плотности, вязкости, поверхностного натяжения, количества растворенного в ней газа, упругости паров и др.) Диспергирующее действие ультразвука более эффективно проявляется при частотах порядка $(18-22) \times 10^3$ Гц. Это объясняется тем, что при низкочастотном звуковом поле потери энергии значительно меньше, чем в высокочастотном, и кавитация возникает при меньшей интенсивности колебаний.

В работах Фридмана [6] диспергирование суспензий осуществлялось как при помощи звуковых, так и ультразвуковых колебаний. Объектами исследования были пигменты и красители. В качестве излучателей использовались магнитострикционные с частотой колебаний 5,2 и 50 кГц, пьезоэлектрические с частотой 400 и 1000 кГц и гидродинамические излучатели с максимумом излучения при частоте 17 кГц. опыты показали, что наибольшая степень дисперсности получается при использовании ультразвуковых колебаний в диапазоне 5-40 кГц. В этом случае основная масса частиц (более 90 %) измельчается до размеров менее 1 мкм. Увеличение интенсивности повышает степень дисперсности.

Исследования, проведенные на водных дисперсиях глинистых минералов палыгорскита, гидрослюды, часовьярской глины, черкасской палыгорскит-монтмориллонитовой глины, глуховецкого каолинита подтвердили, что частота 19,5 кГц является оптимальной, т. е. соответствует предельному диспергированию твердой фазы и образованию наиболее устойчивых коагуляционных структур.

Активация технологических материалов сверхтонким диспергированием.

Активация измельчением, или механоактивация является эффективным способом интенсификации физико-химических процессов, протекающих в дисперсных системах. Использование данного способа повышения энергетического состояния применительно к вяжущим материалам, применяемым для тампонажа горных пород и крепления скважин в геологоразведочном бурении и других отраслях горного производства, позволяет решать проблемы сооружения и эксплуатации скважин и капитальных горных выработок в сложных горно-технологических условиях, при высоком качестве работ и минимальных затратах средств и материалов. Известно, что активация цемента, в том числе «лежалого», повышает прочность получаемого из него цементного камня, а также обеспечивает более высокую адгезионную связь с обсадными трубами и горны-

ми породами. Тампонажные цементные растворы, получаемые на основе активированного цемента, обладают, по сравнению с обычными, повышенной дисперсностью, большей стабильностью, высокой пластичностью и хорошей проникающей способностью в тонкие трещины породы. Эти растворы, обладая высокой проникающей способностью, позволяют увеличить радиусы инъекции и, следовательно, увеличить расстояние между тампонажными скважинами, т. е. уменьшить их количество. Активация цемента позволяет получить коллоидные растворы для более широкой области применения цементации, включая среднезернистые пески. Сформировавшийся из этих цементных растворов тампонажный камень более плотный и однородный, лучше противостоит коррозионному воздействию агрессивных подземных вод и обеспечивает более продолжительный срок службы [1,2].

Исследования влияния механоактивации вяжущих на их свойства, выполненные авторами, показали, что для получения высокопрочных портландцементов ПЦ важна не только их большая удельная поверхность $S_{уд}$, но и содержание в них частиц фракции 5-30 мкм, которое должно быть максимальным. В зернах этих размеров процесс гидратации протекает наиболее активно. Количество связанной воды для них во все сроки твердения больше, чем у остальных фракций, и на 28-е сутки достигает около 20 %. Медленно гидратируются зерна 80-200 мкм. На 28-е сутки количество связанной воды составило для них всего лишь 5,6 %. Зерна размером более 200 мкм практически в эти сроки не гидратируются.

Все методы активации повышают активность цементов, что способствует улучшению свойств цементного раствора и сформировавшегося камня. Однако широкому применению этих методов на горных предприятиях препятствуют трудности в создании простых, надежных в эксплуатации и высокопроизводительных измельчительных машин для их реализации.

Библиографический список

1. Авакумов Е. Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1979. 256 с.
2. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Пер. с нем. М.: Иностранная литература, 1956. 726 с., с илл.
3. Кулебакин В. Г. Применение механохимии в гидрометал-лургических процессах. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1988. 272 с.
4. Молчанов В. И., Селезнева О. Г., Жирнов Е. Н. Активация минералов при измельчении. М.: Недра, 1988.
5. Способ измельчения твердых материалов и устройство для его осуществления / Патент РФ на изобретение № 2154531, МКИ⁷ В02 С13/20 / Калашников В. Н., Усов Г. А. Бюлл. № 23. 2001. 12 с.
6. Ребиндер П. А. Исследование процессов образования дисперсных структур. Минск: Наука и техника, 1971. 311 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ ФУЛЛЕРОИДНОГО МАТЕРИАЛА “ДМФ” НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

УСОВ Г. А.¹, ФРОЛОВ С. Г.¹, ХЛЫНОВА Т. В.¹, АКИМОВ Д. К.¹
¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. В статье описываются лабораторные исследования и результаты по определению степени влияния добавки из фуллероидного материала “ДМФ”, полученного путем сверхтонкого измельчения и магнитной сепарации, на реологические и прочностные свойства мелкозернистого бетона.

Ключевые слова: фуллероидные материалы из шунгита, сверхтонкое измельчение, магнитная сепарация, мелкозернистый бетон, лабораторные исследования реологических и прочностных свойств.

INVESTIGATION OF THE DEGREE OF INFLUENCE OF THE ADDITION OF FULLEROID MATERIAL “DMF” ON THE RHEOLOGICAL AND STRENGTH PROPERTIES OF FINE-GRAINED CONCRETE

USOV G. A.¹, FROLOV S. G.¹, KHLYNNOVA T. V.¹, AKIMOV D. K.¹
¹Ural State Mining University

Annotation. The article describes laboratory studies and results to determine the degree of influence of additives from fulleroid material “DMF”, obtained by ultra-fine grinding and magnetic separation, on the rheological and strength properties of fine-grained concrete.

Keywords. Fulleroid materials from shungite, ultrafine grinding, magnetic separation, fine-grained concrete, laboratory studies of rheological and strength properties.

Свойства бетонов определяются во многом свойствами цементного вяжущего, возможности структурной модификации которого чрезвычайно велики и одним из ее потенциально эффективных способов представляется модификация наноматериалами, а именно, фуллероидными, которые представляют собой кластеры или их части из молекул углерода различных по форме, с размерами от 1 до десятков нанометров.

Из литературы известно, что модификация углеродными наноматериалами цементных бетонов (нанотрубками, астраленами, фуллероидами и др.) приводит к повышению их механических показателей на 20-30%. В то же время имеются исследования, в которых показано, что минеральные матрицы, при введении в их состав углеродных наночастиц, имеют потенциал повышения прочности до 100% [1,2].

В описанных ниже исследованиях по изучению изменения свойств цементных бетонов при добавке наноматериалов использовалась смесь фуллероидных материалов полученных из шунгита путем сверхтонкого измельчения и магнитной сепарации.

Лабораторная проба пластифицирующей и армирующей добавки “ДФМ” на основе фуллероидных материалов была получена путем сверхтонкого измельчения и магнитной сепарации в лаборатории каф. ТТР МПИ. Исходный шунгит перед сверхтонким измельчением был высушен до влажности 10% и пропущен через щековую, а затем валковую дробилки. Полученный продукт был просеян через сито с размерами ячейки 200 микрон.

Затем подготовленная проба массой 5 килограмм измельчалась в шаровой консольной лабораторной мельнице “МШЛ-22К” в течении 9 часов. Полученный тонкодисперсный порошок шунгита был пропущен через лабораторный полиградиентный анализатор и получена магнитная фракция содержащая фуллероидные материалы в количестве 150 грамм. Данный магнитный порошок был опробован в качестве армирующей и пластифицирующей добавки “ДФМ”, для наиболее распространённой в строительстве марки бетона.

В качестве экспериментального объекта был выбран мелкозернистый бетон марки 300 (класс В25) (БСГ В 25 ПЗ F200 W8) с рецептурой: Цемент (ПЦ-400-ДО, ГОСТ 10178-85, ОАО "Сухоложскцемент") - 415, Отсев-630, Щебень (фракция 5-20) - 1145, Вода -182.

Количество добавки из фуллероидного материала “ДФМ” вводимой в состав исследуемого мелкозернистого бетона подбиралось опытным путем, с учетом данных (из литературных источников) по применению углеродных нанотрубок при производстве строительных материалов. Так как количественное содержание в добавке “ДФМ” смеси углеродных трубок, фуллеренов, астраленов и других фуллероидных материалов является ориентировочным и имеется достаточное количество примеси углерода различных модификаций - на первом этапе исследований определялся порядок величины добавки, т.е. бетонную смесь добавлялось 0,1%, 0,05 % и 0,009 % добавки “ДФМ” от массы цемента. Предварительные пробные замесы и прочностные испытания мелкозернистого бетона с различным содержанием добавки “ДФМ” показали что диапазон исследований должен находиться в пределах 0,01 – 0,09 % от массы цемента закладываемого в бетонный раствор.

Подготовка образцов нанодобавки “ДФМ” перед затворением экспериментальных образцов бетона проводилась следующим образом.

Главным условием для достижения воспроизводимости результатов испытаний является обеспечение однородности дисперсии нанодобавки в матрице строительного композита (в нашем случае мелкозернистый бетон). Однако фуллероидные материалы являются гидрофобными и при наличии сил притяжения между частицами аморфного углерода в жидкой среде будут коагулировать с последующей седиментацией, что не обеспечит равномерности распределения добавки в образцах бетона.

Данная задача решалась путем введения добавки “ДФМ” в исходный портландцемент через процесс сверхтонкого доизмельчения и частичной механоактивации 1/10-й его части на шаровой консольной лабораторной мельнице “МШЛ-22К” в течении 5 часов. Для контрольного образца бетона так же проводилась подобная активация 1/10-й части цемента, но без добавки наномодификатора “ДФМ”. Распределенная в цементе добавка “ДФМ” вводилась в цементно-песчанную смесь в процессе ее приготовления и окончательного перемешивания всех компонентов бетона, что достигалось в смесительной установке.

Испытания контрольных образцов мелкозернистого бетона марки 300 и модифицированных образцов с добавкой “ДФМ” проводились по двум направлениям:

- определение подвижности, жесткости, расплыва и степени уплотняемости бетонных смесей, т.е. изучение влияния добавки на реологические свойства или удобоукладываемость;

- определение прочности бетона по контрольным образцам, т.е. изучение армирующих и упрочняющих свойств разработанной добавки.

Удобоукладываемость бетонной смеси оценивается параметрами: подвижности, жесткости, расплыва и степени уплотняемости. Перед определением каждого параметра удобоукладываемости испытываемой бетонной смеси по выбранной рецептуре мелкозернистого бетона марки М 300, прозводился лабораторный замес в объеме

обеспечивающем не менее двух определений всех нормируемых и контролируемых параметров качества бетонной смеси. На каждый параметр испытывалось четыре пробы бетонной смеси, содержащих различное количество введенной добавки “ДФМ”:

- контрольная проба без добавки (К-ДФМ-Б);
- проба с содержанием добавки 0,02% от массы цемента (002-ДФМ-Б);
- проба с содержанием добавки 0,06% от массы цемента (006-ДФМ-Б);
- проба с содержанием добавки 0,08% от массы цемента (008-ДФМ-Б).

Определение подвижности бетонной смеси.

Подвижность бетонной смеси оценивалась по осадке конуса, отформованного из исследуемой бетонной смеси с использованием следующих приспособлений: нормальный металлический конус с размерами d-100xD-200xH-300 (Приложение 6); металлическая линейка (ГОСТ 427); загрузочная воронка; кельма типа КБ (ГОСТ 9533); секундомер; гладкий жесткий лист 700x700 мм; прямой металлический стержень диаметром 16 мм и длиной 600 мм с округлыми концами. Конус должен быть из металла толщиной 1,5 мм с шероховатостью внутренних стенок не более 40 мкм.

Перед испытанием конус смачивался водой, устанавливался на гладкий лист и заполнялся испытываемой бетонной смесью через загрузочную воронку в три слоя одинаковой высоты. Каждый слой уплотнялся штыкованием металлическим стержнем по 25 раз. После уплотнения испытываемой бетонной смеси снималась загрузочная воронка и избыток смеси срезался кельмой вровень с верхними краями воронки. Затем конус плавно снимался с отформованной бетонной смеси в строго вертикальном направлении. Время, затраченное на подъем конуса составляло порядка 7 секунд.

Осадка конуса испытываемой бетонной смеси определялась путем укладки гладкого стержня на верх конуса и измерения расстояния от нижней поверхности стержня до поверхности бетонной смеси с погрешностью не более 0,5 см. Данный замер проводился по два раза с каждой пробой испытываемой бетонной смеси [3]. Результаты замеров подвижности испытываемых проб (К-ДФМ-Б), (002-ДФМ-Б), (006-ДФМ-Б) и (008-ДФМ-Б) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты замеров подвижности испытываемых проб.

Параметр бетонной смеси	“К-ДФМ-Б”	“002-ДФМ-Б”	“006-ДФМ-Б”	“008-ДФМ-Б”
Подвижность, см	12,5	13,5	14,0	14,5

При определении жесткости бетонной смеси по методу Скрамтаева использовались следующие приспособления: форма ФК-200 (ГОСТ 22685); металлический конус Скрамтаева; металлическая линейка (ГОСТ 427); загрузочная воронка; кельма типа КБ (ГОСТ 9533); секундомер; гладкий жесткий лист 700x700 мм; прямой металлический стержень диаметром 16 мм и длиной 600 мм с округлыми концами, лабораторный вибростол.

Для определения жесткости испытываемой бетонной смеси в закрепленную на виброплощадке форму ФК-200 помещали конус Скрамтаева и заполняли испытываемой бетонной смесью через загрузочную воронку в три слоя одинаковой высоты и каждый слой уплотняли штыкованием металлическим стержнем по 25 раз.

Затем конус плавно снимали и одновременно включали виброплощадку и секундомер. Бетонную смесь вебрировали до тех пор, пока поверхность смеси не становилась горизонтальной. Полученное время в секундах определяло жесткость

бетонной смеси. Замеры проводились по два раза с каждой пробой. Результаты замеров жесткости испытуемых лабораторных проб указаны в Таблице 2.

Таблица 2. Результаты замеров жесткости испытуемых проб.

Параметр бетонной смеси	“К-ДМФ-Б”	“002-ДМФ-Б”	“006-ДМФ-Б”	“008-ДМФ-Б”
Жёсткость по методу Скрамтаева, сек.	31	30	27	25

Распływ бетонной смеси определялся путем измерения величины растекания на встряхивающем столике. Для данного замера применялись следующие приборы. Встряхивающий стол, который состоит из верхней металлической подвижной плиты 1 размером 700x700 мм, толщиной не менее 2мм, шарнирно прикрепленной к нижней плите-основанию 4, на которую верхняя плита может падать с фиксированной высоты 40 мм. Масса плиты 16 кг. Через центр верхней плиты прочерчены две маркировочные взаимно перпендикулярные линии, параллельные краям плиты, в середине плиты прочерчен круг диаметром 210 мм. По углам верхней плиты с боков прикреплены снизу два тяжелых жестких блока-останова 2 для передачи нагрузки верхней плиты на плиту основание 4. Конусная форма с размерами d-130xD-200xH-200 мм. Уплотняющий брус из твердого материала, одна часть которого выполнена квадратного сечения со стороной 40 мм и длиной 200 мм, другая (ручка) – круглого сечения диаметром 40 мм и длиной 150 мм. Металлическая линейка длиной 700 мм, ценой деления 5 мм по ГОСТ 427. Контейнер для повторного перемешивания. Совок с квадратным устьем. Влажная ткань. Лопатка шириной 100 мм. Таймер с точностью до 1 секунды.

Встряхивающий стол устанавливался на плоскую горизонтальную поверхность. Очищенная и увлажненная форма помещалась в центре стола и фиксировалась. Форма наполнялась бетонной смесью двумя равными слоями. Каждый слой уплотнялся 10 легкими ударами уплотняющего бруса. После наполнения с помощью уплотняющего бруса срезался излишек массы вровень с краями формы. Через 30 секунд с момента среза излишка форма поднималась за ручки вертикально вверх за время 6 секунд.

Затем верхняя плита плавно поднималась до верхнего блока-останова и отпускалась для свободного падения. Цикл повторялся 15 раз с промежутком 5 секунд. Линейкой измерялись максимальные размеры распльва бетонной смеси с точностью до 10 мм в двух перпендикулярных направлениях d_1 и d_2 . Величину распльва $D_{распл}$, (мм) определялся с точностью до 10 мм по формуле $D_{распл} = (d_1 + d_2)/2$. Распльв бетонной смеси одной пробы определялся два раза в течении 15 мин и вычислялся с округлением до 10 мм, как среднеарифметическое значение результатов двух определений распльва одной пробы, отличающихся между собой не более чем на 20% среднего значения [3]. Результаты замеров указаны в таблице 3.

Степень уплотняемости бетонной смеси оценивают по разности высот бетонной смеси в форме до и после ее уплотнения. Для определения степени уплотняемости были использованы: форма квадратного сечения 200x200x400 мм; лабораторная виброплощадка; металлическая линейка по ГОСТ 427; влажная ткань; кельма типа КБ по ГОСТ 9533.

Таблица 3. Результаты замеров расплыва испытуемых проб.

Параметр бетонной смеси	“К-ДМФ-Б”	“002-ДМФ-Б”	“006-ДМФ-Б”	“008-ДМФ-Б”
Расплыв, см.	41	44	45	47

Перед испытанием пробы перемешивались, внутренняя поверхность формы увлажнялась и наполнялась бетонной смесью без уплотнения. После наполнения формы в три слоя одинаковой высоты, излишек бетонной смеси без ее уплотнения срезался вровень с краями формы. Затем бетонная смесь уплотнялась штыкованием металлическим стержнем по 25 проколов. После уплотнения определялось расстояние между поверхностью уплотненного образца и верхом формы в сантиметрах. Степень уплотняемости C определялась по формуле:

$$C = h_1/h_2, \quad (1)$$

где: h_1 – высота формы; h_2 - высота бетонной смеси в форме после уплотнения.

Степень уплотняемости бетонной смеси одной пробы определялась два раза за время, не превышающее 15 минут и вычислялась с округлением до сотых долей как среднеарифметическое значение результатов двух определений степени уплотняемости одной пробы, отличающихся между собой не более чем на 20% среднего значения [3]. Результаты испытаний указаны в таблице 4.

Таблица 4. Результаты замеров уплотняемости испытуемых проб.

Параметр бетонной смеси	“К-ДМФ-Б”	“002-ДМФ-Б”	“006-ДМФ-Б”	“008-ДМФ-Б”
Степень уплотняемости	1,14	1,23	1,28	1,31

Определение прочности бетона заключается в измерении минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы бетона при их статическом нагружении, с постоянной скоростью нарастания нагрузки и последующем вычислении напряжений при этих усилиях.

В качестве типа испытательного образца был выбран кубический образец с длиной ребра 100 мм. Для изготовления образцов были сделаны специальные замесы мелкозернистого бетона марки 300 (класс В25) (БСГ В 25 ПЗ F200 W8) по рецептуре: Цемент-415 (ПЦ-400-ДО, ГОСТ 10178-85, ОАО "Сухоложскцемент"), Отсев-630, Щебень -1145 (фракция 5-20), Вода -182.

Для определения предела прочности на сжатие мелкозернистого бетона испытывалось четыре пробы, содержащие различное количество введенной добавки “ДФМ”:

- контрольная проба без добавки (К-ДМФ-Б);
- проба с содержанием добавки 0,02% от массы цемента (002-ДМФ-Б);
- проба с содержанием добавки 0,06% от массы цемента (006-ДМФ-Б);
- проба с содержанием добавки 0,08% от массы цемента (008-ДМФ-Б).

Для каждой пробы готовилось по три образца. Лабораторный замес каждой пробы производился с запасом не менее чем 1,2 раза, затем внутренние поверхности кубической калиброванной формы покрывались тонким слоем смазки (литол) и производилась укладка бетонной смеси с последующим ее уплотнением. Уплотнение бетонной смеси проводилось вручную с применением штыковки. Формы заполнялись

бетонной смесью слоями высотой не более 100 мм. Каждый слой уплотнялся штыкованием стальным стержнем диаметром 16 мм с закругленным концом. Число нажимов стержня рассчитывалось из условия, чтобы один нажим приходился на 10 см² верхней открытой поверхности образца. Штыкование проводилось равномерно по спирали от краев формы к ее середине. После окончания укладки и уплотнения бетонной смеси в форме верхняя поверхность образца заглаживалась мастерком.

Образцы, предназначенные для твердения в нормальных условиях, после изготовления до их распалубливания хранили в формах, покрытых влажной тканью, исключая испарение из них влаги, в помещении с температурой воздуха (20 ± 5) °С. При определении прочности бетона на сжатие образцы распалубливали через 24 часа. После распалубливания образцы помещались в камеру с нормальными условиями твердения: с температурой (20±2) °С и относительной влажностью воздуха (95±5) %. Образцы были уложены на подкладки так, чтобы расстояние между образцами, а также между образцами и стенками камеры было не менее 5 мм. Хранились образцы под слоем влажных опилок, которые систематически увлажнялись.

Перед испытанием образцы подвергались визуальному осмотру, устанавливалось наличие дефектов в виде трещин, сколов ребер, раковин и инородных включений. Образцы, имеющие трещины, сколы ребер глубиной более 10 мм, раковины диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм, а также следы расслоения и недоуплотнения бетонной смеси, испытанию не подвергались. Наплывы бетона на ребрах опорных поверхностей образцов удалялись абразивным камнем. Затем на образцах выбирались и отмечались опорные грани, к которым должны быть приложены усилия в процессе нагружения. Опорные грани отформованных образцов-кубов, предназначенных для испытания на сжатие, выбирались так, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в формы.

Все образцы одной серии испытывались в расчетном возрасте в течение 1 часа. Перед установкой образца в испытательную машину (гидравлический пресс) удалялись частицы бетона, оставшиеся от предыдущего испытания на опорных плитах испытательной машины. Шкалу силоизмерителя испытательной машины выбирали из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки должно быть в интервале от 20 % до 80 % максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой. Нагружение образцов проводилось непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до его разрушения. При этом время нагружения образца до его разрушения составляло не менее 30 с. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принималось за разрушающую нагрузку.

После установки образца на опорные плиты испытательной машины совмещали верхнюю плиту испытательной машины с верхней опорной гранью образца так, чтобы их плоскости полностью прилегали одна к другой. Образец нагружали до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки (0,6 ± 0,2) МПа/с. Прочность бетона на сжатие R (МПа), вычислялась с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$R = \alpha F/A, \quad (2)$$

где: α - масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы ($\alpha = 0,95$); F - разрушающая нагрузка, Н; A - площадь рабочего сечения образца, мм².

Прочность бетона в серии из трех образцов определяли - по двум образцам с наибольшей прочностью, как среднеарифметическое значение [3].

Результаты испытаний на прочность при сжатии бетона марки 300 (класс В25), с различным процентным содержанием разработанной добавки наномодификатора “ДФМ”, по контрольным образцам приведены в таблице 5.

Таблица 5. Результаты замеров прочности на сжатие испытываемых образцов.

Маркировка серии образцов	Проектный класс бетона по прочн., МПа	Масса образца, г	Разруш-ая нагрузка, кН	Прочность образца, приведенная к базовому размеру, МПа	Средняя прочн. образцов в серии, МПа
“К-ДФМ-Б”	В 25	2350	268	25,5	25,3
		2360	264	25,1	
“002-ДФМ-Б”	В 25	2340	298	28,4	28,5
		2350	302	28,7	
“006-ДФМ-Б”	В 25	2370	345	32,8	32,5
		2360	338	32,2	
“008-ДФМ-Б”	В 25	2350	308	29,3	29,6
		2360	314	29,9	

Проведенные исследования влияния добавки “ДФМ” на реологические и прочностные свойства мелкозернистого бетона позволяют сделать следующие выводы.

Предварительные прочностные испытания мелкозернистого бетона с различным содержанием добавки “ДФМ” показали, что диапазон ее использования находится в пределах 0,01-0,09 % от массы цемента закладываемого в бетонный раствор.

С увеличением содержания добавки от 0,02% до 0,08 % к массе цемента улучшаются реологические свойства бетонной смеси: подвижность бетонной смеси увеличилась на 16 %; жесткость по методу Скрамтаева уменьшилась на 19 %; расплыв бетонной смеси увеличился на 14 %; степень уплотняемости увеличилась на 14,9 %.

Максимальную прочность на сжатие показал образец бетона “006-ДФМ-Б” с нанодобавкой “ДФМ” в количестве 0,06 % от массы цемента, с повышением на 28 % по сравнению с контрольным образцом “К-ДФМ-Б” без добавок.

Библиографический список

1. Батыновский, Э.И. Особенности технологии бетона прочностью 100-150 МПа с углеродными наноматериалами / Э.И. Батыновский, В.Д. Якимович, П.В. Рябчиков // Строительная наука и техника. – 2012. – № 2. – С. 59–67
2. Батыновский, Э.И. Особенности технологии высокопрочного бетона на отечественных материалах, включая нанокремниевые добавки / Э.И. Батыновский, В.Д. Якимович, П.В. Рябчиков // Сборник научных трудов «Проблемы современного бетона и железобетона». Выпуск 3: в 2 т. – Минск, РУП «БелНИИС», 2011 Т. 2. – С. 53–68.
3. Баженов Ю.М. Технология бетона.- Москва : Изд-во АСВ, 2002.- 499 с.

УДК.622.224: 622.271.7: 624.138.3

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДРЕН ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИСКУССТВЕННЫХ СУШЕНЦОВ

КОРОСТОВЕНКО В. В.¹, МОРОЗОВА Н. В.¹, ЕГОРОВА Е. Л.¹, МОРОЗОВ В. Н.¹

¹Сибирский федеральный университет

Аннотация. В статье рассмотрены случаи наложения области приведенного комплексного потенциала одномерной установившейся фильтрации, на область безнапорной равномерной фильтрации, которая происходит в проницаемом пласте торфов при движении несжимаемого активированного раствора реагента в пористой среде. На этой основе разработана методика расчета параметров технологии подготовки искусственных сушенцов на вскрышных работах при разработке россыпных месторождений.

Ключевые слова: россыпные месторождения, искусственные сушенцы, торфа, содержание глины, фильтрация, активированный раствор реагента, оттайка.

SUBSTANTIATION OF HORIZONTAL PARAMETERS DREN WHEN PREPARING THE ARTIFICIAL SUSHENCI

KOROSTOVENKO V. V.¹, MOROZOVA N. V.¹, EGOROVA E. L.¹, MOROZOV V. N.¹

¹Sibirskiy federal'nyy universitet

Annotation. Article is devoted the theory and practice of preparation artificial sushentsi by working out of gravel deposits on the basis of a filtrational-drainage way of thawing (frost retreat). It is thus established that at the equal unsteady filtration of the activated solution of a reagent any change of a pressure on borders of a filtrational stream leads to instant redistribution of a pressure in all stream. On this basis function of movement of the activated solution of a reagent in a homogeneous-piecewise layer of peat of constant capacity is constructed.

Key words: zones of artificial sushentsi, gravel deposits, the activated solution of a reagent, a homogeneous-piecewise layer of peat, horizontal drains, permeability (openness).

С повышением роста объемов переработки горной массы при разработке россыпных месторождений на базе тяжелой землеройной техники, подготовка мерзлых пород к выемке становится одной из важнейших задач, стоящих перед горнодобывающей промышленностью Сибири и Северо-Востока РФ. Особенно большое значение в последние годы приобретают методы водно-тепловой подготовки многолетнемерзлых россыпей в осенне-зимний период, так как возможности существенного расширения масштабов буровзрывного способа рыхления торфов, сдерживает его высокая себестоимость. Учитывая особенности развития горного производства Сибири и Северо – Востока, а также геологическое строение россыпных месторождений, следует ожидать, что ведущим способом водно-тепловой мелиорации многолетнемерзлых торфов станет фильтрационно-дренажное оттаивание в комплексе с подготовкой искусственных сушенцов [1].

Технология подготовки искусственных сушенцов при разработке россыпных месторождений состоит из двух основных операций: оттаивания мерзлых торфов обычно фильтрационно-дренажным способом и уменьшения влажности торфов до критического значения, используя дренирование оттаянного массива.

Фильтрационно-дренажными способами оттаивания мерзлых торфов называют способы, при которых подача воды происходит без напора и приращение талика производится сверху вниз. Для обеспечения участков россыпи фильтрационно-дренажным оттаиванием, источником водоснабжения, могут служить реки, ручьи и озера. Расход воды для оттаивания 1 м³ мерзлых песков составляют от 5 до 15 м³. При фильтрационно-дренажном оттаивании многолетнемерзлых торфов применяют дренажную систему из линейных вытянутых открытых канав. Поперечный профиль дренажных канав трапециевидный с уклоном 1:1 при глубине до 2,5 м и 1:1,25 при глубине свыше 2,5 м. Питание фильтрационно-дренажной оттайки может осуществляться через специальные инфильтрационные канавы. Длина путей горизонтальной фильтрации с площади полигона до выхода воды в дренирующую горную выработку может составлять 20 – 80 м [2]. Это расстояние назначается в зависимости от возможной конечной глубины оттаивания торфов, их фильтрационных свойств и допустимой продолжительности работ. Меньшее расстояние обеспечивает более интенсивное оттаивание. Ширина канавы и расстояние от оросителя устанавливаются только по опыту практики, что связано с большими затратами на проходческие работы. В этой связи особенно актуальным является построение функции кинетики проницаемости торфов в границах рассматриваемого блока (условно кусочнооднородный пласт торфов) с целью установления параметров технологии фильтрационно-дренажного способа оттаивания. На россыпных месторождениях этот способ позволяет оттаивать слои мерзлых галечников или щебня, гравия, песка, неразделенные слабопроницаемыми прослоями (глины, суглинки или супеси), если содержание глинистых минералов не превышает 5 % [2, 3].

Для обоснования параметров горизонтальных дрен с целью расширения области применения технологии подготовки искусственных сушенцовых зон были проведены лабораторные, а позднее промышленные исследования кинетики проницаемости пород с содержанием глинистых минералов до 15%. В качестве основной предпосылки для проведения исследований была принята гипотеза, согласно которой температурная активация раствора реагента позволит увеличить скорость фильтрации даже в слабопроницаемых породах. В качестве фильтрующейся жидкости использовались реагенты типа алюминат натрия, хлорное железо, сепаран 2610 совместно с электролитами, гипохлорит, силикат натрия и высокомолекулярные полимеры типа КОДТ (продукт конденсации кубовых остатков гексаметилейдиамида, таллового масла и дихлорэтана) и др.

Хорошие результаты были получены при использовании хлорного железа и силиката натрия. Модифицированные разности монтмориллонита были получены путем соответствующей обработки монтмориллонитов растворами хлорного железа. При конечном удельном давлении примерно в 2,2 МПа образцы были выдержаны в течение нескольких суток. В ходе испытаний на установке по определению проницаемости глинистых пород давление гидрообжима образцов монтмориллонита соответствовало конечному удельному давлению в условном кусочнооднородном пласте торфов. Природные образцы подвергались обжиму, соответствующему давлению, испытываемому этими образцами в естественных условиях залегания россыпей при постоянной мощности торфов. На каждой ступени испытаний образцы выдерживались в течение нескольких суток до полной стабилизации фильтрационных расходов, после чего определялась проницаемость пород.

Исследования влияния температурой активации раствора реагента (далее АРР) различной концентрации на проницаемость глин проводились на естественных каолиновых, монтмориллонитовых глинах и их разностях с использованием дистиллированной воды. Экспериментальные работы на каолиновых глинах осуществлялись в трех диапазонах температур 20-25⁰С (комнатная), 50-60⁰С и 80-90⁰С, на монтмориллонитовых глинах было увеличено число промежуточных точек в области температур 40-70⁰С.

Перед повышением температур образцы выдерживались в установке при заданном давлении гидрообжима в течение 10 сут. Для исключения влияния температурного гистерезиса образцы вначале подвергались многократным нагревам и охлаждениям. За исходные значения проницаемости (при комнатной температуре) принимались их постоянные значения, не изменяющиеся после очередного цикла: нагрев – охлаждение. При последующем нагреве на каждой температурной точке образец выдерживался в течение одних суток. Температурный режим регулировался электротермическим методом (взамен термостатирования), позволяющим значительно сократить время стабилизации температуры на каждой ступени до 100 ч и увеличить верхний диапазон изменения температур от 90 до 160°С.

Расход фильтруемой жидкости (хлорного железа) определялся по показаниям счетчика оборотов пресса. Фильтрацию исследуемого АРР через образец производили в условиях, исключающих наличие свободного воздуха в породе или воде, т.е. гарантирующих однофазность потока в продолжение всего эксперимента.

Концентрацию АРР выдерживали в интервале 40 – 50 % при его расходе 80 – 100 г/т глинистого грунта.

Исследования показали, что температурная активация раствора реагента вызывает изменение структуры раствора хлорного железа, что приводит к временному изменению его физико-химических свойств. Такой раствор обладает в течение определенного времени своеобразной "памятью" о его температурной активации и после его охлаждения (время релаксации не установлено).

Скорость фильтрации такого раствора реагента повышается в 2-4 раза, что позволяет включать участки россыпи для подготовки искусственных сушенцов с содержанием глинистых минералов до 15 % [4].

Промышленные эксперименты проводились на одном из россыпных месторождений Саха (Якутия). После температурной активации раствор реагента помещали в горизонтальные дренаи. Причем расстояние между выработками увеличивается в соответствии с увеличением скорости фильтрации активированного реагента, что позволяет снизить затраты на проходческие работы. Коэффициент фильтрации активированного раствора реагента, установленный в ходе лабораторных испытаний, определялся по формуле

$$K_{\phi} = \exp[\ln 63,4 - (0,119 \cdot C_{гн})] , \quad (1)$$

где $C_{гн}$ – содержание глинистых минералов, %.

В ходе промышленных экспериментов было установлено, что кроме расстояния между дренами, продолжительностью обработки торфов АРР на скорость и себестоимость фильтрационно-дренажной оттайки оказывает влияние и глубина дренажных канав.

Установлено, что при увеличении расстояния между дренажными канавами в несколько раз превышающего глубину оттаивания, скорость оттаивания становится недостаточной, что требует увеличения глубины заложения горизонтальных дрена до 3 м (при мощности подготавливаемого пласта сушенцов до 6 м).

При этом построение функции движения АРР в пласте торфов постоянной мощности имеет два варианта расчета. Первый предусматривает, что массив торфов кусочнооднородный с равномерным содержанием глинистого цемента. Второй предусматривает неоднородное содержание глины в торфах (слоистые породы). Рассмотрим построение функции движения активированного раствора реагента для первого варианта.

При фильтрационно-дренажном оттаивании в кусочнооднородном массиве торфов (первый вариант расчета) имеет место равномерная установившаяся фильтрация,

при которой линии тока фильтрующегося активированного раствора реагента (АРР) являются параллельными прямыми. При такой фильтрации форма и размеры живого сечения потока не изменяются по его длине. Так как границы подготавливаемого полигона не создают дополнительных сил сопротивления, то движение АРР во всей области фильтрации будет одинаковым.

Равномерная неустановившаяся фильтрация АРР может иметь место в горизонтальном полосообразном пласте кусочнооднородного пласта торфов, когда напоры на границах пласта изменяются во времени. Скорость фильтрации будет одинаковой в пределах всего пласта, но переменной во времени.

На рис. 1 представлено поперечное сечение пласта, причем $H_1(t)$ и $H_2(t)$ обозначены переменные во времени напоры на границах пласта и через $H(t) = H_1(t) - H_2(t)$ – переменной во времени действующий напор в подготавливаемом пласте.

Пусть $v(t)$ – переменная во времени скорость фильтрации в пласте и $h(x,t)$ – переменный по координате и времени напор в сечениях пласта, перпендикулярных к линиям тока. Тогда уравнение установившейся фильтрации АРР будет иметь вид [6]

$$\frac{1}{g} \frac{dv}{dt} + \frac{v}{K_\phi} = - \frac{dh}{dx}, \quad (2)$$

где k и g соответственно – коэффициент фильтрации торфов и ускорение силы тяжести.

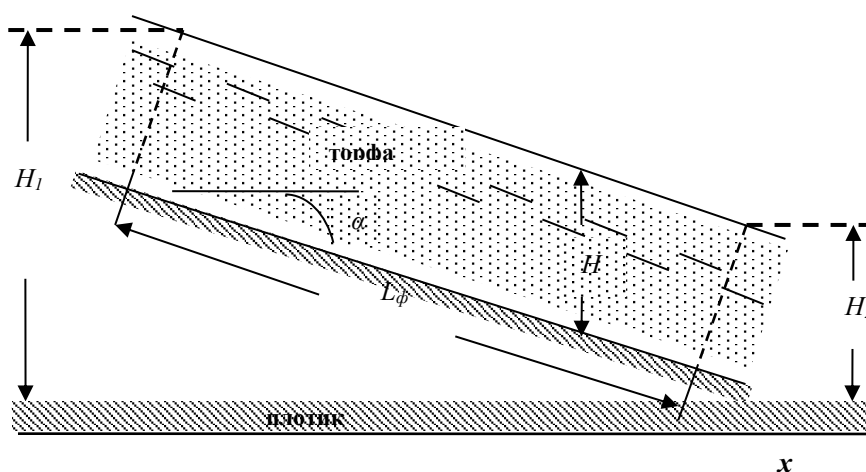


Рисунок 1 – Одномерная установившаяся фильтрация АРР: H_1 – напор фильтрующейся жидкости при $x = 0$, м; H_2 – напор фильтрующейся жидкости при $x = L_\phi$, м; α – угол наклона плотика, град.; L_ϕ – расстояние между горизонтальными дренами, м; H – глубина потока, м.

Так как скорость фильтрации от x не зависит, то пьезометрический уклон ($- dh/dx$) будет постоянен по координате x и равен среднему пьезометрическому уклону в кусочнооднородном пласте торфов, т.е.

$$- \frac{dh}{dx} = \frac{H}{L_\phi}, \quad (3)$$

Принимая во внимание то, что переменный по координате и времени напор активированного раствора реагента в сечении пласта $h_{x=0} = H_1$ и проинтегрировав уравнение (3) получим:

$$h = H_1 - H \frac{x}{L_\phi} \quad (4)$$

Формула (4) дает выражение напора в пласте в любой момент времени. На первый взгляд, результаты проведенных исследований достаточно неожиданны. В соответствии с общепринятым представлением о характере протекания физических процессов, жидкость, в том числе и АРР, принимается несжимаемой. На самом деле из этой зависимости можно сформулировать следующий вывод: при равномерной неустановившейся фильтрации АРР всякое изменение напора на границах фильтрационного потока приводит к мгновенному перераспределению напора во всем потоке.

Подставляя в уравнение (2) вместо пьезометрического уклона ($-dh/dx$) его выражение (3) после интегрирования получим уравнение перераспределения напора во всем потоке АРР:

$$v = e^{\frac{g}{K_\phi}} \cdot \left(v_0 + \frac{g \cdot e^{\frac{g}{K_\phi}} \cdot H}{L_\phi} \right), \quad (5)$$

где v_0 - скорость фильтрации в пласте в начальный момент времени ($t=0$) после заполнения распределительной канавы и оросителей активированным раствором реагента.

Зависимость (5) дает выражение скорости фильтрации в пласте в любой момент времени. Указанная зависимость получена нами при учете сил инерции. Отсюда длина фильтрационного потока или расстояние между двумя горизонтальными дренами составит

$$L_\phi = \frac{g \cdot H \cdot (e^{\frac{g}{K_\phi}})^2}{v}, \quad (6)$$

Однако, оценка влияния ускорения силы тяжести на скорость при равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента практического значения не имеет.

Поэтому критическое значение расстояния между двумя горизонтальными дренажными выработками без учета сил инерции в силу уравнения (6) и с учетом зависимости (1) будет иметь вид:

$$L_\phi = \frac{H \cdot \exp[\ln 63,4 - (0,119 \cdot C_{21})]}{v} \quad (7)$$

Отсюда вытекает еще один вывод: учет сил инерции при расчете равномерной неустановившейся фильтрации АРР может иметь практическое значение только для весьма малого начального промежутка времени, и при весьма значительной проницаемости торфов. В остальных же случаях учет сил инерции при подготовке сушенцовых зон практического значения не имеет. Последнее обстоятельство дает возможность рассматривать процесс равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента как совокупность мгновенных установившихся процессов.

Выводы.

1. При равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента всякое изменение напора на границах фильтрационного потока приводит к мгновенному перераспределению напора во всем потоке.

2. В результате проведенных лабораторных и промышленных экспериментов установлено, что обработка торфов активированным раствором реагента позволяет уве-

личить скорость фильтрации в 2-4 раза [1,2]. Достигнутый эффект сделал возможным подготовку искусственных сушенцовых зон на торфах с содержанием глины до 15 %.

3. При подготовке искусственных сушенцов на россыпных месторождениях основным видом дренажных выработок являются горизонтальные дрены. При глубине оттаивания, значительно превышающей расстояние между дренами, заложение последних должно быть не менее 3–х метров при глубине торфов до 6 метров.

4. Основными факторами, определяющими расстояние между горизонтальными дренами при подготовке искусственных сушенцов, являются содержание глины в россыпи, проницаемость торфов, уклон плотика, мощность торфов. Достигнутые в ходе промышленных исследований значения критической влажности 3,5%, позволили разрабатывать мерзлые торфа даже легкими бульдозерами во время сильных морозов. На участках россыпи, где льдистость торфов не удалось понизить ниже 4,5 %, была успешно использована тяжелая землеройная техника.

5. Учет ускорения силы тяжести при расчете равномерной неустановившейся фильтрации АРР может иметь практическое значение только для весьма малого начального промежутка времени, и при весьма значительной проницаемости торфов. В остальных же случаях учет сил инерции при подготовке сушенцовых зон практического значения не имеет. Последнее обстоятельство дает возможность рассматривать процесс равномерной неустановившейся фильтрации активированного раствора реагента как совокупность мгновенных установившихся процессов.

Библиографический список

1. Морозов В.Н., Морозова Е.Л. Подготовка искусственных сушенцов на основе воздействия на недеформируемую пористую среду активированным раствором реагента. /В кн.: Горный информационно-аналитический бюллетень, 2009. № 3 - М.: МГГУ, с. 66-68.
2. Потемкин С.М. Методики решения проектных задач - М.: МГРИ, 1986 - 38 с.
3. Гидравлическое оттаивание мерзлых пород/ В.Г.Гольдтман, В.В.Знаменский, С.Д.Чистопольский. Труды ВНИИ-1, 1970., т. XXX. 440 с.
4. А.с. 934011 СССР. Способ подготовки глинистых грунтов к промывке/ В.Н.Морозов, М.В.Верхотуров. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений 01.05.1992 г.
5. Кульчицкий А.И., Усьяров О.Г. Физико-механические основы формирования свойств глинистых пород. – М.: Стройиздат, 1975. 35 с.
6. Основы гидрогеологических расчетов / Ф.М. Бочевер, И.В. Гармонов, А.В. Лебедев, В.М. Шестаков. - М.: Недра. 1969. 369 с.

ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ НОСИТЕЛЕЙ ОБМЕННОЙ ПРИРОДЫ В СОРТОВОЙ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ ЗАЛЕЖЕЙ ХРИЗОТИЛАСБЕСТА И ТИТАНОМАГНЕТИТОВ ПО НОРМАМ ОБОГАЩЕНИЯ, КАК ФАКТОРЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ПОДОБИЯ (ИЗ ПРИМЕРОВ ОЦЕНКИ МАГМАТИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА)

КАНТЕМИРОВ В. Д.¹, ТИМОХИН А. В.¹, КОЗЛОВА М. В.¹, ЯКОВЛЕВ А. М.¹
¹ ФГБУН ИГД УрО РАН

Аннотация. Предложены оксидно-метрические алгоритмы исследования на основе удельного сопротивления (электрометрия). Приведены примеры разведки, интерпретации сортовой геометрии месторождений и практического применения вскрытых сигналов.

Ключевые слова: магматические месторождения, ультраосновной состав, обменная природа спектров магнетита, геометризация, сортовое планирование, горная и обогатительная геотехнология.

PETROPHYSICAL SIGNALS OF CARRIERS OF EXCHANGE NATURE IN THE VARIETAL GEOMETRIZATION OF CHRYSOTILE ASBESTOS AND TITANO-MAGNETITE DEPOSITS ACCORDING TO ENRICHMENT STANDARDS, AS FACTORS OF SPECTRAL SIMILARITY (FROM EXAMPLES OF ESTIMATION OF MAGMATIC DEPOSITS IN THE URALS)

KANTEMIROV V. D.¹, TIMOHIN A. V.¹, KOZLOVA M. V.¹, YAKOVLEV A. M.¹
¹ Institute of Mining of Ural Branch of RAS

Abstract. The oxide-metric algorithms of research on the basis of resistivity (Electrometry) are offered. Examples of exploration, interpretation of varietal geometry of deposits and practical application of the opened signals are given.

Keywords: magmatic deposits, ultrabasic composition, exchange nature of magnetite spectra, geometrization, varietal planning, mining and processing Geotechnology.

Введение. Идея петрофизических исследований месторождений сформулирована в 2002 г. (ИГД УрО РАН, лаб. управления качеством руд); предложены новые подходы измерений в области оценки качества, обогатимости и металлургических кондиций; поставлены 2 крупные цели [1].

Исходные данные и результаты исследования. Электрометрия - методически развитый способ раскрытия сигнальных маркеров легких окислов ат. № ≤ 20. В обработке информации используется принцип интерпретации геопотенциальных полей. Карты изолиний разграничивают геоблоки на химотипы на высоту 15 м., раскрывают элементный и товарный потенциал залежей, способствуют планированию на текущий период: зима-лето и на более длинный – 3 ÷ 20 лет и больше, все зависит от темпов добычи и обмеренных горных объемов. Для дорожной сети, транспорта используют участки выходов бедных и вмещающих комплексов. Фронт, направление и очередность отработки определяются, исходя из залегания ископаемого лучших товарных сортов (рис. 1).

Информация карт и разрезов контактной электрометрии позволяла предлагать отдельный вид эксплуатационной, рудничной разведки.

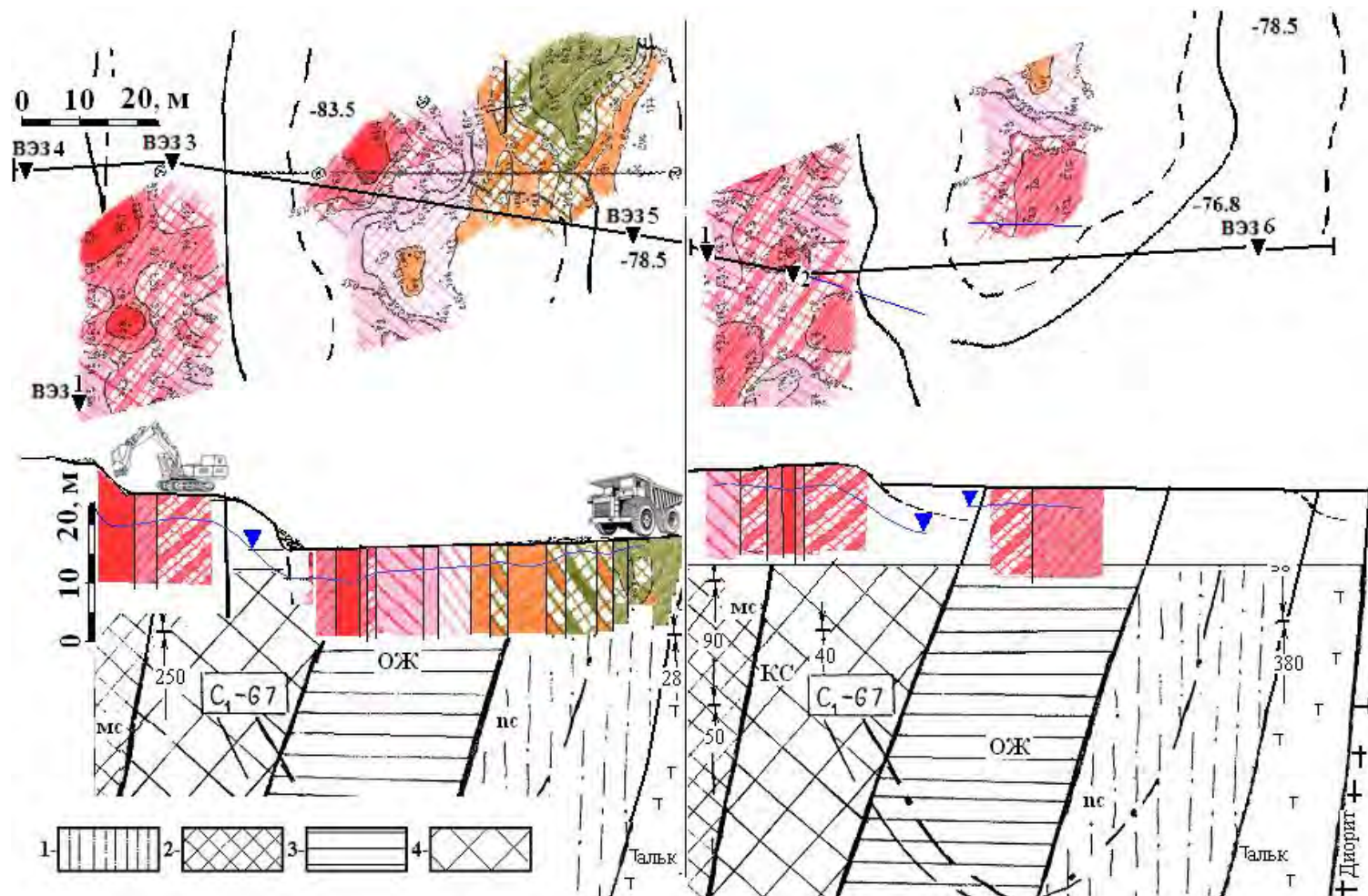


Рисунок 1 – Карты и разрезы разведки хризотиласбеста (Залежь Глубинная_2, Баженово). Сорты традиционного деления качества (литотипы): 1- некондиционные (пс), 2- мелкая сетка (мс), 3- отороченные жилы (ОЖ), 4- крупная сетка (КС); цвет 10 химотипов: от зеленого- оранжевого к розовому- красному; ▼ - пункты и номера вертикальных электро-зондирований ВЭЗ; синяя линия- подошва разрыхления, ▲ - уровень верховодки; - 78.5 – горизонт.

В то же время, сигналы сортовых химотипов ископаемых, идентифицированные в измерениях и тестированные для задач разведки, служат новым алгоритмам оценки на потоках обогатительных фабрик (обратная петрофизическая задача). Создается система принципиальной интерпретации комплексных руд и оптимизации технологий сложных переделов, связанных с поэтапным обогащением, использованием участков магнитных методов (СМС, ММС) и раздельным извлечением [1].

Основа равно-детальной геометризации и регистрации распределения сортов – синергия отдельных легких окислов и аддитивность другой, большей их части (- диэлектрики). Активация спектров- известный фактор петрофизики высоких и высших, элементных разрешений.

Основным породам габбро, серпентиниту и диабазу свойственен механизм донорно-акцепторного формирования дифференциации электропроводности, в части влияния их главных окислов, в противоположность содержащим магнетит (обменная природа носителей). Асбесты характеризуют замещения плагиоклаза (габбро и перидотиты) магнизиально-магнетитовым комплексом. Титаномагнетитам свойственны 2 химотипа: габброидный (аналог замещений в асбестах, выбывает Al_2O_3) и пироксеновый (выбывает диаллаг и MgO) при росте железа (рис. 2, графики а. и б.). Выделена связь модуля основности Mo ($=1/ M_k$ - показатель металлургии) и окислов- маркеров: $Mo \sim 0.2115 \cdot MgO/Al_2O_3 + 0.2405$ ($Kr = 0.9042$).

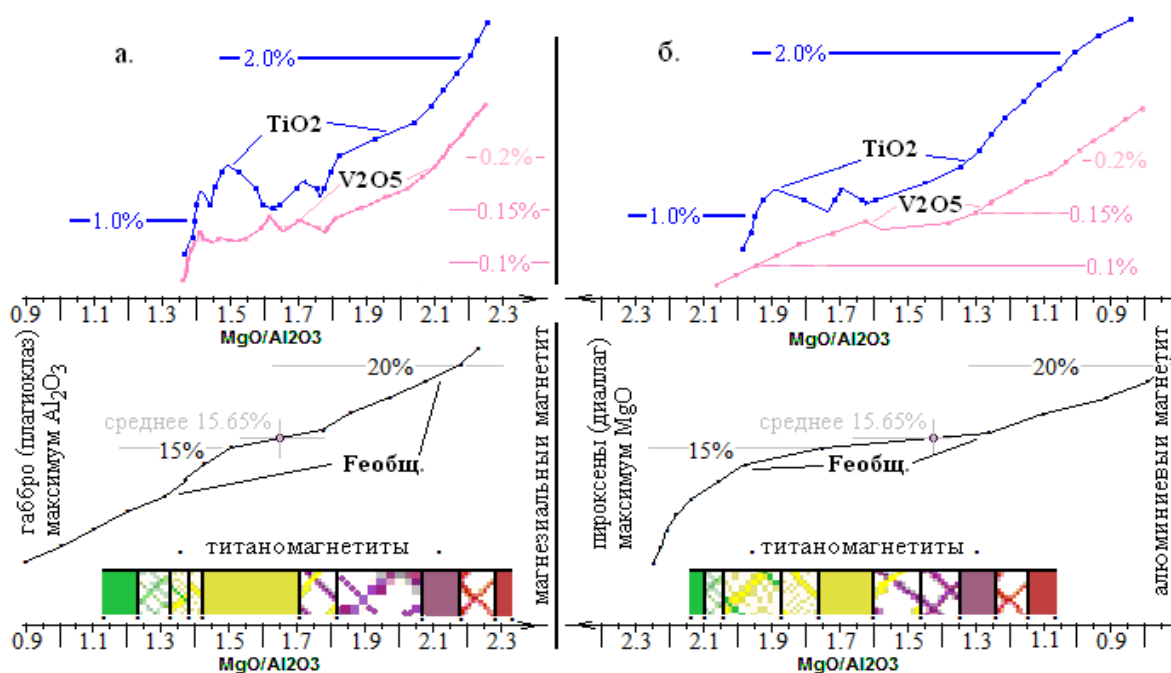


Рисунок 2 - Модельная матрица свойств и состава титаномагнетита (анализ образцов). 10 химотипов по мере улучшения в цвете: от зеленого- желтого к сиреневому- красному.

Фундаментальный вопрос исследования и дискуссии в литературе- происхождение носителей. Чистый магнетит (Fe_3O_4) обладает абсолютной магнитной восприимчивостью $25 \cdot 10^{+5}$ ед. Си. В отличие от синтетических веществ железа высокую проводимость Fe_3O_4 (10^{-5} Ом.м) обеспечивает стехиометрический дефект- недостаток металла, быстрый обмен валентности на катионах (3-й, структурный тип носителей). Электроны, занимая уровни в ионах (2+) и (3+) разного размера, дают магнитный момент на зарядах (зонная теория). Железо замещают металлы до конца не установленного перечня, образуя неограниченный по составу структурный ряд шпинелей. Завершают ряд

магнетит и гематит (диэлектрики, 10^4 Ом.м и более) формул катион-анион стехиометрических или близких к Fe_2O_3 , $Fe(2+) \rightarrow 0$. Заполнение металлами изоструктурных вакансий снижает емкость дефектов, дающих диполи (обменные носители), монотонно и направленно падает и проводимость, и магнетизация.

Вместе с тем, влияние обменного механизма фаз Fe_3O_4 ощутимо и на отдельных участках массива габбро (габбро-норит, Feобщ.: $4.8 \div 5.8$ %), что контролируется по слабо- и мало- магнитным образцам. В рудах хризотиласбеста (рис. 1) и титаномагнетитов (рис. 3) сигналы и присутствие Fe_3O_4 постоянны, минеральное окружение- окислы ат. № ≤ 20 [2].

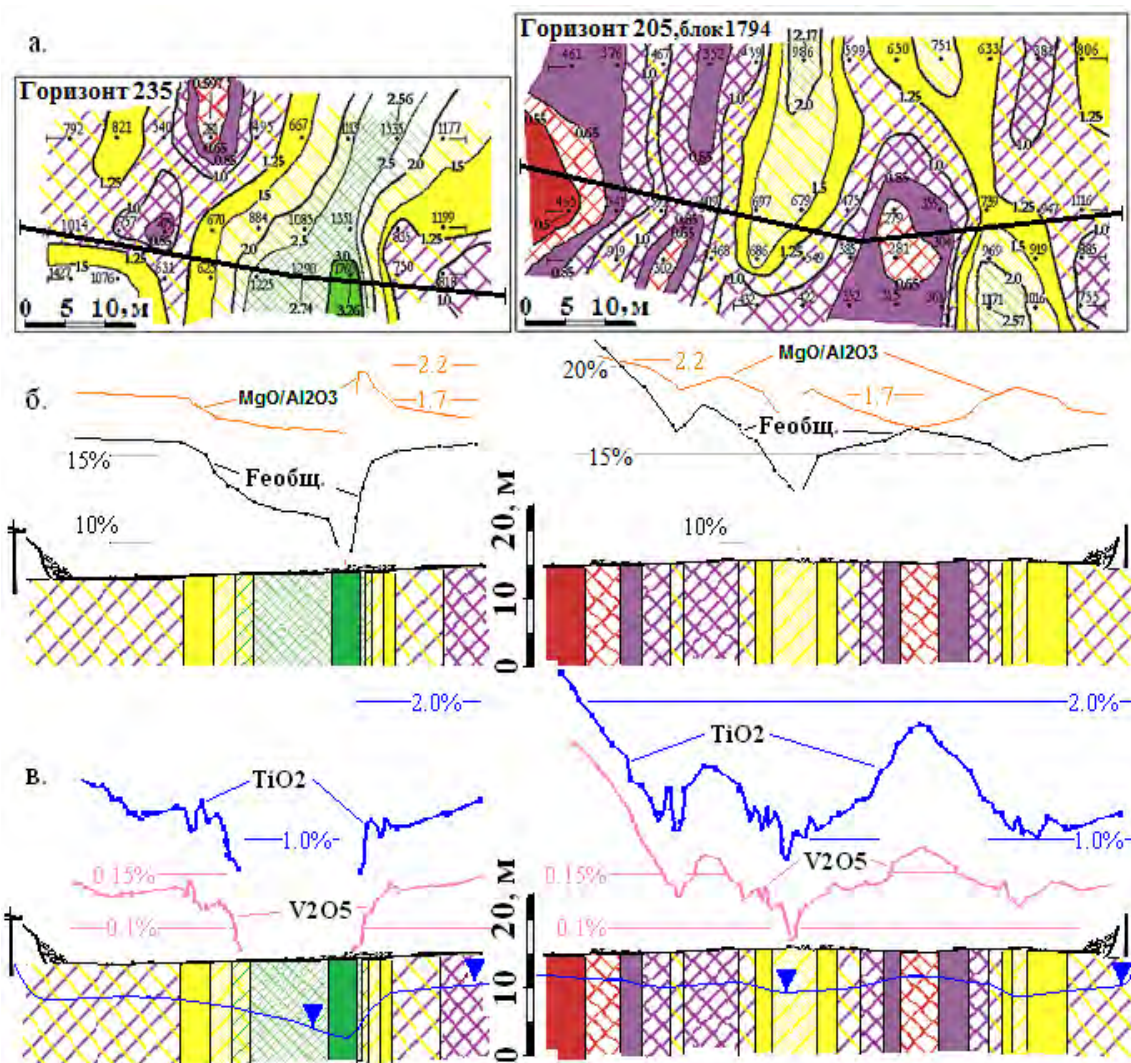


Рисунок 3 - Примеры разведки титаномагнетитов (Северный карьер, Собственно-Качканарское месторождение). Химотипы даны на рис. 4; зеленый цвет- жила плагиоклазитов; ▼ - уровень верховодки.

Подтверждаются положения, относящие минеральную среду к «твердым растворам». В большинстве, растворимость металла связывается с низкими № и m_a . Но, изоэлектронное состояние пары металлов, в силу сродства катионов, т.е. «поглощение» структурой (вид растворимости) это, прежде всего, функция малой разности их электронных потенциалов ΔE_0 . Mg- пограничный металл, обладает крайне низкой растворимостью, составляющей даже в гематите до 0.2 ат. %. И формирует отдельную фазу

MgO, а в указанном случае с Fe₂O₃ (обменный источник) – структуру шпинели MgFe₂O₄ полупроводниковых свойств [3].

Рассмотрены потенциалы E₀ и относительная электроотрицательность элементов ОЭО (шкала Луо и Бенсона [4]). В трактовках ионных, ковалентных и металлических типах связи имеются нюансы и глубокие различия с очевидным отрицанием в минеральных средах одной из них в чистом виде. В крайних типах: к ионной связи можно отнести SiO₂, K₂O, CaO, Na₂O (малые E₀ и ОЭО металлов, кислород O(2-)- сильный окислитель), а к металлической – ряд магнетитов, плитчатые бокситы (высокий удельный вес, блеск на сколах). Обсуждается донорно-акцепторный механизм формирования ковалентной связи при внедрении Mg, Al и Fe в среду ионных типов. В окружении SiO₂ и окислов s- металлов I группы носители MgO и Al₂O₃ (константы 400 и 20 Ом.м) можно объяснить, единственно, избытком металла, полагая в Na₂O или, начиная уже с CaO, напротив, стехиометричность формул по валентности.

ОЭО показывает, что гетеро-атомные связи Fe-Al; Fe-Mg сильнее гомо-атомных Fe-Fe; Al-Al; Mg-Mg, а гетеро-валентные – чем Fe(2+)-Fe(2+); Al(3+)-Al(3+); Fe(3+)-Fe(3+); Mg(2+)-Mg(2+). Насыщение Fe, Al и, в меньшей степени, Mg- фактор металлического типа. Связи «предпочтут» гетеро-атомность в малейшем присутствии других металлов и носители, начиная с ближних E₀. Без такой возможности, прежде проявится гетеро-валентность (Fe₃O₄). Что, с энергетических позиций объясняет необратимый обменный источник от Fe и носители от Al к Mg уменьшаемого действия, вплоть до крайне низкой магнитной восприимчивости MgAl₂O₄ (вид шпинели без Fe). Слабомагнитны примесные магнетиты, бокситы, диабазы и габбро. Так, прикладной график уравнения габбро Mk (носители) был отчасти выположен и скорректирован для компенсации завышений модуля, искажаемого влиянием фаз Fe₃O₄.

Выводы. Нюансы ат. № ≤ 20 в трактовках богатых руд в бедных «превращаются» в глубокие различия. Запасы титаномагнетитов в РФ уже сейчас составляют до 80%. За время имеющейся технологии от 6% Fe теряется. Электрометрия обеспечит регистрацию карт содержаний магнитных фаз в хвостах (вариант разведки насыпных, техногенных объектов). Мгновенное срабатывание измерителей изменяет подходы. Сверхзадача темы- исключение потерь магнитного вещества на обогатительных фабриках, что обеспечат гибкие энерго-режимы, специализирующиеся на сортах, с конечной роботизацией технологических процессов.

Алгоритмы сигнально-спектральных высших, сортовых разрешений качества, обогатимости и металлургических кондиций обеспечивают решение широкого круга задач энерго-ресурсосбережения.

Библиографический список

1. Чтения памяти Ю.П. Булашевича ИГФ РАН (интернет ресурс: www.igeoph.net): форум обсуждения докладов о поступающих результатах исследований по теме статьи (год – страницы публикаций: 2007 – стр. 192; 2009. стр. 286; 2011 стр.: 346, 342, 223, 226; 2013 – стр. 269, 2015 стр. 321, 326, 331; 2017 г. – стр. 404).
2. Адамов Э.В., Алексеева Т.И., Андреев Е.Е. и другие... Технологическая оценка минерального сырья: Справочное пособие.- М.: Недра, 1990.- 264 с.
3. Шуй Р.Т. Полупроводниковые рудные минералы.- Л.: Недра, 1979.- 288 с.
4. Sanderson R.T. Chemical Bonds and Bond Energy. N.Y.: Acad. Press, 1976.- 218 p.

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ МОДЕЛИ ЭКСКАВАТОРА ДЛЯ ДОРАБОТКИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАРЬЕРА КОСТОМУКШСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

ЛЕЛЬ Ю. И.¹, СТЕНИН Ю. В.¹, КОЛОТУШКИН А. А.¹
¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. На основе технико-технологического и технико-экономического сравнения вариантов электрического дизель-гидравлического экскаваторов обосновывается выбор для дальнейшей разработки Центрального карьера Костомукшского железорудного месторождения приобретения электрического канатного экскаватора ЭКГ-20.

Ключевые слова: карьер, экскаватор, электрический привод, гидравлический привод, энергозатраты, капитальные затраты.

SELECTION AND JUSTIFICATION OF AN EFFECTIVE EXCAVATOR MODEL FOR THE CENTRAL PIT OF KOSTOMUKSHA IRON ORE FIELD

LEL Y. I.¹, STENIN Y. V.¹, KOLOTUSHKIN A. A.¹
¹Ural State Mining University

Abstract. This article presents the rationale for choosing an electric shovel EKG-20 for the Central pit of Kostomuksha iron ore field, based on the technical and economic comparison of an electric rope shovel and hydraulic mining excavators.

Keywords: pit, excavator, electric drive, hydraulic drive, energy costs, capital costs.

Центральный карьер Костомукшского месторождения сдан на полную мощность в 1984 с годовой производительностью по руде - 9,7 млн.т., по горной массе 49 млн. т/год. В настоящее время горные работы ведутся на Центральном карьере с отметкой дна -110м при проектной отметке на конец отработки – 410м. на глубине карьера 600 м.

Высота уступа при отработке скальных вскрышных пород и руды экскаваторами-мехлопатами – не более 15 м; рабочий угол откоса уступа при отработке скальных вскрышных пород и руды – 60÷75°; ширина берм безопасности не менее 10 м.

Погрузка взорванной скальной горной массы осуществляется в автомобильный транспорт экскаваторами типа прямая лопата (ЭКГ-15, ЭКГ-20), погрузка морены осуществляется в автомобильный транспорт экскаваторами типа обратная лопата (CAT 374DL).

Транспортирование полезного ископаемого до внутрикарьерных складов руды и пород вскрыши во внешние отвалы осуществляется автосамосвалами БелАЗ-75180, Caterpillar 793D.

По состоянию на настоящий период наблюдается отставание объема вскрышных работ от проектных величин. Это вылилось в снижение количества рабочих площадок, уменьшение их ширины, формирование временно нерабочих бортов в более значительных масштабах, чем планировалось проектом. В результате произошла потеря мощности карьера, как по руде, так и по вскрышным работам. Одновременно существенно усложнилась организация работ, что объективно снизило возможную производительность горнотранспортного оборудования.

Согласно календарному графику ведения горных работ на 2019-2023 гг предполагается наращивание добычи руды до 13.1 млн. т и породы до 57,6 млн т (рис.1). Это, в сложившихся горнотехнических условиях карьера при дальнейшем понижении гор-

ных работ, вызывает необходимость обновления парка выемочно-погрузочной техники [2, 4].

Рассматриваются два типа экскаватора с рабочим оборудованием «прямая лопата»:

- Электрический с индивидуальным электрическим канатным приводом, работающие в карьере в настоящее время. Достоинством этого экскаватора является его универсальность применения. Он может работать как при крепких, так и при мягких породах, горизонтальном или крутопадающем залегании ПИ, в любом климате. ЭКГ имеют повышенную жесткость и прочность конструкции; длительный срок службы и высокую живучесть [9];

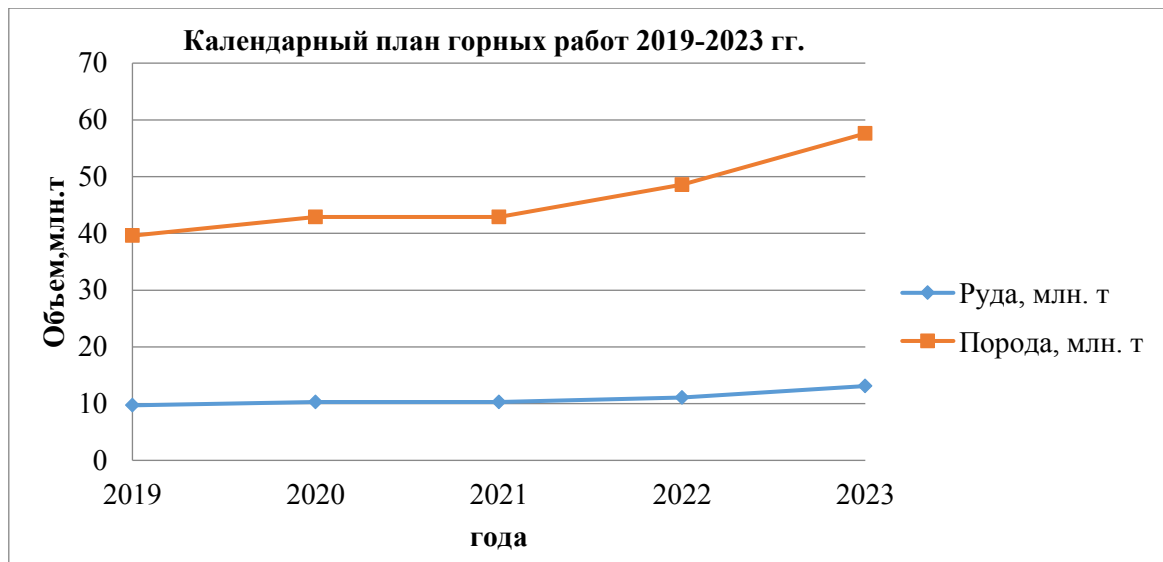


Рисунок 1 – Календарный план горных работ Центрального карьера Костомукшского железорудного месторождения

- Дизельный с гидравлическим приводом. Достоинством этих машин является: увеличение мобильности и маневренности; увеличение усилий на зубья ковша; сокращение продолжительности рабочих циклов за счет уменьшения массы машины и интенсификации процесса копания; увеличение наполнения ковша, особенно в низких забоях; увеличение ряда рабочих параметров (радиуса копания на горизонте установки, глубины копания ниже уровня стоянки); облегчение извлечения из забоя и погрузки негабаритных кусков грунта; повышение эффективности отдельной выемки различных грунтов из забоя. [4, 5].

Благодаря лучшей кинематике рабочего органа гидравлические экскаваторы при одинаковой емкости ковша по сравнению с канатными имеют рабочую массу в 1,8 – 2,2 раза меньшую, а усилие копания в 2 – 2,2 раза большее; расход электроэнергии уменьшается на 30 %, а эксплуатационные расходы на экскавацию горной массы – в 2 – 4 раза. [1].

Для анализа взяты соизмеримые по вместимости ковша экскаваторы. Так, отталкиваясь от проектной величины годовой производительности карьера в 23 млн.т по горной массе и рабочего парка автосамосвалов в диапазоне от 180 до 240 т оптимальной вместимостью ковша ($E, м^3$) при которой кузов самосвала заполнится за 3÷5 ковшей, определить по формуле:

$$E = \frac{Q_a}{\gamma_p \cdot n_k}, \quad (1)$$

где Q_a – грузоподъемность автосамосвала, т; γ_p – плотность горной массы, т/м³; n_k – количество загружаемых ковшей.

$$E = \frac{180}{3 \cdot 4} = 15 \text{ м}^3$$

$$E = \frac{240}{3 \cdot 4} = 20 \text{ м}^3$$

В дальнейшем рассматриваются имеющийся в эксплуатации на предприятии ЭКГ-20, возможные дизельные экскаваторы с гидравлическим приводом CAT-6040, Komatsu PC4000, Hitachi Ex3600, Liebherr 9400 (Табл. 1).

Таблица 1. Технические характеристики гидравлических экскаваторов

Параметр	Liebherr 9400	Komatsu PC4000	Hitachi EX3600	CAT 6040
Вместимость ковша, м ³	22	22	21	22
Полезная нагрузка в ковше, т	41	41	40	41
Дизельная установка	Cummins QSK50	Komatsu SDA16V160	Cummins QSKTA60-CE	Cat C32 (Cummins KTA38C)
Мощность дизельной установки, кВт	1716	1450	1600	1250
Удельный расход топлива двигателя, г/кВтч	205	214	208	191

Анализ работы дизельных экскаваторов с гидроприводом показывает, что в среднем по карьерам с полускальными и скальными породами простои, характеризующие использование таких машин различаются примерно на $\pm 3\%$.

В тоже время выполненный на основе анализа статистических данных график (Рис.2) показывает что простои ЭКГ-20 существенно превышают простои CAT 6040. Связанно это с тем, что у ЭКГ-20 частые планово-предупредительные работы (каждая ППР занимает сутки, то есть 2 смены по 12 часов каждая). У CAT 6040 проводилось Т.О. Также у ЭКГ происходят простои в связи с вынужденным отключением электроэнергии (неисправность ЛЭП, переключение фидеров, ремонт подстанций) и время простоя порой доходит до 10-12 часов за месяц. Работа CAT 6040 осуществляется на дизельном топливе, с одной стороны это дорогостояще, но этот экскаватор быстро окупает эти затраты за счет своей мобильности, производительности и надежности.



Рисунок 2 – Сопоставление простоев ЭКГ-20 и CAT 6040

То есть, по технико-технологическим факторам преимущество за дизельными экскаваторами с гидроприводом.

Более полную оценку вариантов получаем сравнением по критерию энергопотребления.

Данный метод оценки эффективности был предложен в диссертации Шибанова Д.А. «Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ-18Р/20К, для планирования технического обслуживания и ремонтов» [8]

Эффективность использования оборудования оценивается на большинстве горнодобывающих предприятий двумя коэффициентами: коэффициентом использования оборудования $K_{ио}$ и коэффициентом технической готовности $K_{тг}$. В целом $K_{тг}$ характеризует технический уровень и надежность объекта, и позволяет сравнивать их в рамках одного горного предприятия, ввиду различий в методики его определения и условий эксплуатации техники

Обычно в период гарантийного срока эксплуатации коэффициент технической готовности карьерных экскаваторов составляет 0,8-0,88.

В статье предложено оценивать эффективность использования экскаваторов по показателям: коэффициенту использования потенциала $K_{ип}$ и коэффициенту эффективности функционирования $K_{эфф}$, которые являются стандартизованным комплексным показателем надежности – коэффициентом сохранения эффективности, и позволяют оценить безотказность, ремонтпригодность и долговечность рассматриваемого объекта.

Коэффициент использования потенциала $K_{ип}$ предлагается оценивать по формуле:

$$K_{ип} = \frac{K_{эфф}}{[K_{эфф}]}, \quad (2)$$

где $K_{эфф}$ – фактический (экспериментальный) коэффициент эффективности функционирования, т/кВтч; $[K_{эфф}]$ – базовый коэффициент эффективности функционирования в

нормальных условиях, т/кВтч;

Определяем фактический коэффициент эффективности функционирования:

$$K_{\text{эфф}} = \frac{Q_{\text{ф}}}{W_o}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{ф}}$ – фактический объем отгруженной горной массы за оцениваемый период;
 W_o – фактическое значение расхода электроэнергии экскаватором, определяемое по счетчику

$$K_{\text{эфф}} = \frac{Q_{\text{ф}}}{W_o} = \frac{60}{20} = 3 \text{ т/кВтч}$$

Определяем базовый коэффициент:

$$[K_{\text{эфф}}] = \frac{P_{\text{ayload}}}{[W_{o.n.}]}, \quad (4)$$

где $[W_{o.n.}]$ – номинальное (базовое) значение расхода электроэнергии главными приводами, кВт*ч.; P_{ayload} – полезная нагрузка в ковше, т.

Автором были проведены все необходимые измерения для вычисления базового и экспериментального коэффициента эффективности функционирования. Данные по результатам оценки расхода электроэнергии сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты оценки расхода электроэнергии за цикл экскавации ЭКГ-20

Наименование привода	Энергоемкость, кВтч
Привод подъема	4,44
Привод поворота	1,78
Привод напора	1,38
Привод ход	0,15
Потребление собственных нужд	0,86
Итого за цикл экскавации, кВтч	8,61

$$[K_{\text{эфф}}] = \frac{P_{\text{ayload}}}{[W_{o.n.}]} = \frac{40}{8,61} = 4,6 \text{ т/кВтч}$$

Определяем коэффициент использования потенциала:

$$K_{\text{ип}} = \frac{K_{\text{эфф}}}{[K_{\text{эфф}}]} = \frac{3}{4,6} \cdot 100\% = 66\%$$

$K_{\text{ип}}$ означает, что экскаватор не использует свой потенциал в полном объеме. У ЭКГ-20 он составляет 66%. Теперь рассчитаем $K_{\text{ип}}$ для гидравлических экскаваторов.

Выполненная работа гидравлическим экскаватором – это его энергопотребление, эквивалентное расходу топлива.

Карьерные гидравлические экскаваторы могут также оцениваться по данной методике с использованием дополнительных сведений по характеристикам их силовых дизельных установок.

Согласно методике часовая норма расхода топлива дизельного гидравлического экскаватора $q_{\text{ч}}$, кг/ч, определяется:

$$q_{\text{ч}} = q_e \cdot P \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{м}} \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где q_e — удельный расход топлива двигателя, г/кВт*ч; P — мощность силового дизельного двигателя, кВт; K_b — коэффициент использования дизеля по времени; K_m — коэффициент использования мощности дизеля.

Применительно к энергопотреблению экскаватора за один цикл имеет значение только K_m коэффициент использования мощности дизеля, который определяется из условий применения предельной нагрузки.

Фактический расход топлива зависит от модели машины, режима работы, экскавируемого материала и, в значительной степени, от квалификации машиниста. Ориентировочно коэффициент K_m в зависимости от типа работы определяется следующим образом:

$K_m = 0,35 \dots 0,45$ — ненапряженная работа машины, как правило, это работа с легкими грунтами, погрузочные работы;

$K_m = 0,45 \dots 0,60$ — работы, связанные с копанием грунта и погрузкой грунтов средней категории;

$K_m = 0,60 \dots 0,90$ — работы, связанные с разработкой тяжелых грунтов.

Для карьерных экскаваторов характерны тяжелые условия работы и повышенные нагрузки, поэтому при дальнейшей оценке затрачиваемой работы гидравлических экскаваторов следует применять максимальный K_m , равный 0,9.

Теоретические значения q_e и P принимаются по технической документации завода-изготовителя (руководство по эксплуатации, формуляр, брошюры и т.д.).

Базовая (номинально возможная) работа дизельного гидравлического экскаватора за цикл экскавации в кВт*ч будет определяться по формуле:

$$[\text{Э}] = \frac{P_{\text{дв}} \cdot K \cdot T_{\text{ц}}}{3600}, \quad (6)$$

Горнодобывающие предприятия ведут учет расхода дизельного топлива гидравлических экскаваторов выражаемый в кг/м³ или кг/т. Перевод данных значений фактического расхода топлива в удельную затраченную работу выполняется по формуле:

$$\text{Э}_{\text{ф}}^{\text{уд}} = \frac{q_{\text{ф}}}{q_e} 10^3, \quad (7)$$

где $\text{Э}_{\text{ф}}^{\text{уд}}$ — фактическая удельная затраченная работа (энергоёмкость), кг/т; $q_{\text{ф}}$ — фактический расход дизельного топлива гидравлического экскаватора, кг/т; q_e — удельный расход топлива двигателя, г/кВт*ч.

Тогда формула $K_{\text{ип}}$ для гидравлических экскаваторов приобретет вид:

$$K_{\text{ип}} = \frac{\text{Э}_{\text{ф}}^{\text{уд}}}{[\text{Э}]} = \frac{3600 \cdot q_{\text{ф}} \cdot 10^3}{P_{\text{дв}} \cdot K \cdot T_{\text{ц}} \cdot q_e} \cdot 100\% \quad (8)$$

Анализ расчетных теоретических значений эталонной работы — базового энергопотребления сравниваемых экскаваторов (рис. 3) показывает что наиболее энергозатратным является экскаватор Liebherr 9400, а менее затратный это CAT 6040.

Энергозатраты которого за один цикл только на 3% ниже чем ЭКГ-20

Более наглядным для сравнения вариантов является показатель — коэффициент использования потенциала, который показывает насколько эффективно может работать экскаватор в тяжелых условиях [7].

Для сравнительной оценке коэффициента использования гидравлических экскаваторов с канатным электрическим экскаватором составлена оценочная диаграмма зна-

чений коэффициента использования потенциала Кип (рисунок 4) при цикле экскавации равном 27 с

Из рисунка можно сделать вывод, что по технологическим параметрам наиболее выгодным среди рассматриваемых экскаваторов с гидроприводом является CAT 6040, он использует свою мощность почти в полной мере.

Коэффициент использования потенциала у этого экскаватора на 17% выше чем у ЭКГ-20.

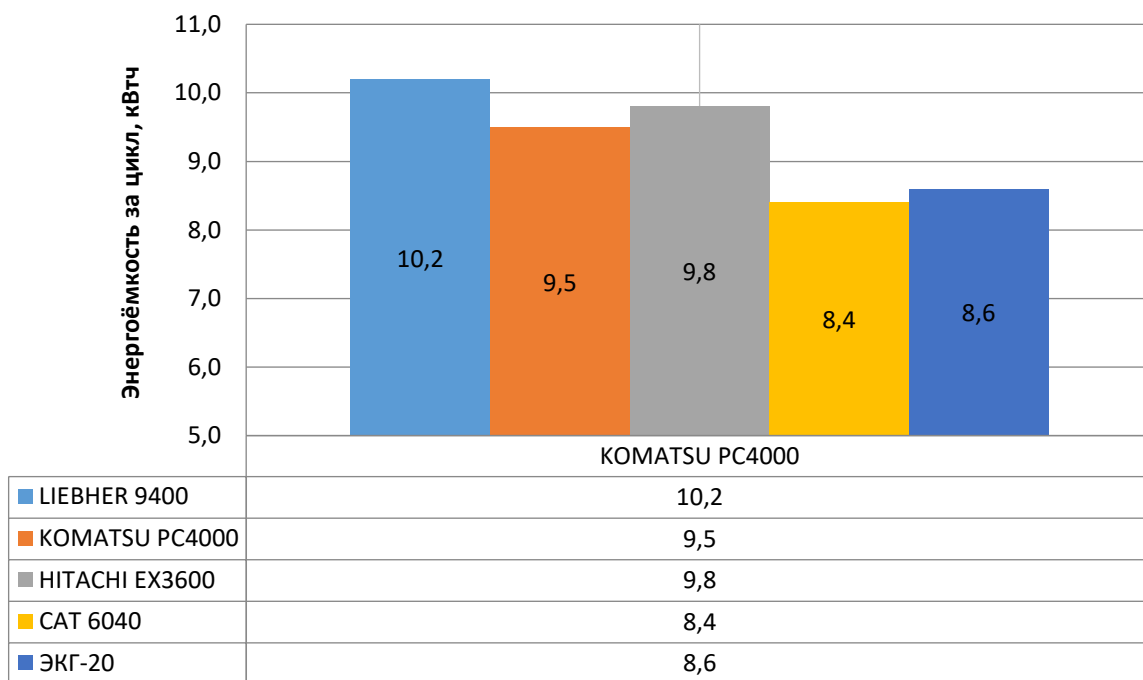


Рисунок 3 – Величина теоретического базового энергопотребления за цикл экскавации гидравлических экскаваторов с вместимостью ковша 21-22 м³ и ЭКГ-20.

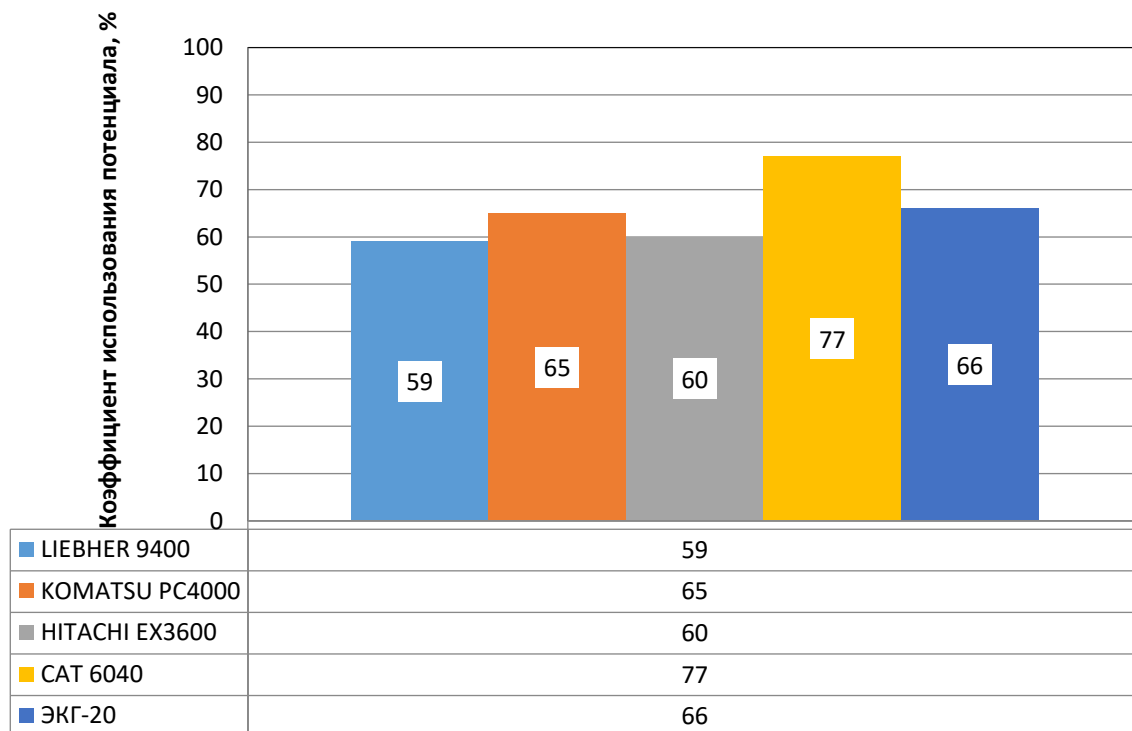


Рисунок 4 – Значения коэффициента использования потенциала.

Технико-экономический сравнительный анализ вариантов закупки экскаваторов ЭКГ-20 и САТ 6040 показывает, что, при равных капитальных затратах, эксплуатационные затраты по варианту ЭКГ-20 в 2,5 раза меньше чем САТ 6040, в основном за счет разницы в затратах на энергию, ремонты, амортизацию. Удельная стоимость оборудования по варианту ЭКГ-20 в 1,6 раза меньше чем по варианту САТ 6040.

Кроме того, в условиях Крайнего Севера гидропривод и экскаватор в целом имеет низкую надёжность, что усугубляется сравнительно низкой ремонтнопригодностью [9]. А по мере роста срока эксплуатации экскаваторов существенно падает экономическая целесообразность дальнейшей их эксплуатации, т.к. снижается производительность и увеличиваются затраты на текущие и капитальные ремонты, которые перекрывают средства амортизационных отчислений [6].

Учитывая вышеизложенное принять для Центрального карьера Костомукшского железорудного месторождения вариант закупки экскаваторов ЭКГ-20.

Библиографический список

1. Зыков П.А. Комплексная оценка технического уровня существующего парка карьерных экскаваторов с гидравлическим приводом / П.А. Зыков // Перспективы развития Прокопьевско-Киселевского угольного района, как составная часть комплексного инновационного плана моногородов. Материалы III Международной научно-практической конференции, апрель 2011 г., Филиал ГУ КузГТУ в г. Прокопьевске. Прокопьевск. С. 234–236.
2. Красников Ю.Д. Горную технику - на новый технический уровень/ Красников Ю.Д., Габов В.В., Юнгмейстер Д.А., Казаков В.А. // Горный журнал. 2005. №11. С. 19 – 23.
3. Падучин Д.А. сравнительный анализ одноковшовых карьерных экскаваторов с механическим и гидравлическим объемным приводами // технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. LVII междунар. науч.-практ. конф. № 4(52). Новосибирск: СибАК, 2016. С. 37-43.
4. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров: Учеб. для вузов. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003.- 606 с.
5. Репин Н.Я. Оборудование и технологии выемочно-погрузочных работ. // Горный журнал, №11, 2009.
6. Шеметов П.А., Рубцов С.К., Шлыков А.Г. Опыт эксплуатации канатных и гидравлических экскаваторов в условиях карьера «Мурунтау». // Горная промышленность. 2005.
7. Шибанов Д.А. Оценка эффективности эксплуатации карьерных экскаваторов / Д.А. Шибанов, С.Л. Иванов, П.В. Иванова // Наука и образование в жизни современного общества: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 декабря 2014 г.: в 12 частях. Часть 3. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. С. 158–160.
8. Шибанов Д.А. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ-18Р/20К, для планирования технического обслуживания и ремонтов: Автореферат дис. канд.техн. наук. – Санкт-Петербург, 2015. 22 с.
9. https://studopedia.ru/11_30402_viemka-gornih-porod-gidravlicheskim-ekskavatorom.html

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАРЬЕРНОГО КОМБАЙНА ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕГРУЗОЧНОГО АГРЕГАТА

ЧЕБАН А. Ю.¹

¹ФГБУН Хабаровский Федеральный исследовательский центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук

Аннотация. Усложнение горно-геологических и горнотехнических условий при разработке месторождений твердых полезных ископаемых предопределяет необходимость совершенствования технологий и горного оборудования. На разработке сложноструктурных месторождений успешно применяются карьерные комбайны, обеспечивающие высокоселективную выемку горной массы. Наибольшее распространение получила технологическая схема работы карьерных комбайнов с непосредственной погрузкой в автосамосвалы, недостатком данной схемы являются простои карьерных комбайнов при замене автосамосвалов под погрузку. В статье предлагается технология разработки сложноструктурного месторождения с применением карьерного комбайна и перегрузочного агрегата, включающего три последовательно загружаемых горной массой секции. После загрузки секция посредством гидропривода поднимается и выгружает горную массу в кузов автосамосвала, таким образом, достигается увеличение производительности карьерного комбайна, работающего без простоев при обмене автосамосвалов.

Ключевые слова: сложноструктурное месторождение, рыхление, перегрузка горной массы, автосамосвал.

INCREASE OF PERFORMANCE OF THE MINING COMBINE BY THE RELOADING UNIT

CHEBAN ANTON YURYEVICH¹

¹Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Abstract. The increasing complexity of geological and mining conditions in the development of solid mineral deposits makes it necessary to improve technologies and mining equipment. In the development of complex structural deposits, mining combines are effectively used to provide highly selective mining of rock mass. The most widespread technological scheme of work of mining combines with direct loading in dump trucks, the disadvantage of this scheme is the downtime of a mining combine when replacing dump trucks for loading. The article proposes a technology for the development of a complex-structured field using a mining combine and a reloading unit, including three sections sequentially loaded with rock mass. After loading, the section by means of a hydraulic actuator rises and unloads the rock mass into the body of the dump truck, thus increasing the productivity of a mining combine working without downtime during the exchange of dump trucks.

Keywords: complex structured field, loosening, overloading of rock mass, dump truck.

Усложнение горно-геологических и горнотехнических условий при разработке месторождений твердых полезных ископаемых предопределяет необходимость совершенствования технологий и горного оборудования [1-4]. Применение машин послойного фрезерования на разработке сложноструктурных месторождений сложенных плотными и полускальными породами в ряде случаев позволяет повысить уровень экономической эффективности горного производства. К машинам послойного фрезерования относятся карьерные комбайны и горные фрезы, обеспечивающие рыхление поверхностного слоя горного массива на глубину до 0,3-0,8м в зависимости от типоразмера машины и прочности разрыхляемых пород. Машины послойного фрезерования применяются на разработке месторождений известняков, железной руды, угля, бокситов,

кимберлитов, мрамора и других полезных ископаемых [5-9]. Наибольшее распространение получили карьерные комбайны, обеспечивающие выемку и погрузку горной массы в средства транспорта.

Карьерные комбайны работают по различным технологическим схемам: с погрузкой горной массы непосредственно в транспортные средства (автосамосвалы); с отсыпкой отфрезерованной горной массы в траншею или штабель, с последующей выемкой оттуда погрузочным оборудованием; с погрузкой горной массы в транспортные средства непрерывного и циклического действия через различные перегрузочные устройства; комбинированные схемы, когда разрыхленная горная масса различных типов направляется поочередно в транспортные средства и в открытую траншею (штабель) откуда вынимается погрузчиками, бульдозерами или скреперами.

Наибольшее распространение получила технологическая схема работы карьерных комбайнов с непосредственной погрузкой в автосамосвалы. В случае разработки карьерными комбайнами сложноструктурных месторождений происходит чередование руд различных кондиций, а также пустых пород. При смене типа, обрабатываемой комбайном горной массы, необходима также замена автосамосвала под погрузкой, в результате чего возникают простои комбайна не только при замене автосамосвала при его полной загрузке, но и при начале разработки другой породы. В этом случае не полностью загруженный, например полезным ископаемым, автосамосвал, вынужден будет уступить место другому автосамосвалу для загрузки его пустой породой. Таким образом, дополнительно будет простаивать не полностью загруженный автосамосвал, либо этот автосамосвал будет транспортировать горную массу с неполной загрузкой. Известны различные схемы работы автотранспорта совместно с перегрузочными установками, применяемыми для повышения производительности погрузочно-разгрузочных работ [10-12]. Так для исключения простоев карьерных комбайнов при замене автосамосвалов под погрузкой предлагается схема с применением самоходного двухсекционного бункера, оснащенного поворотной консолью для подъема горной массы в бункеры, а также аппарелью для въезда автосамосвалов под загрузку [11]. Недостатками данной конструкции являются большие стоимость, размеры и металлоемкость, что ведет к увеличению себестоимости добычных работ.

Целью работы является повышение эффективности добычных работ за счет увеличения производительности карьерных комбайнов при разработке сложноструктурных месторождений за счет применения автоматизированного перегрузочного агрегата.

В настоящее время прослеживается тенденция автоматизации и роботизации ведения горных работ с применением беспилотного оборудования [13-15]. Автором предлагается технология разработки сложноструктурного месторождения с применением карьерного комбайна и дистанционно управляемого трехсекционного перегрузочного агрегата. Перегрузочный агрегат 1 состоит из трех приемных секций 2-4 с гидроцилиндрами 5, корпуса 6, силовой установки 7, буфера 8, ходового оборудования (рис.). Каждая из секций 2-4 имеет поворотную стенку 9 и установлена на X-образном подъемном механизме 10. Перегрузочный агрегат 1 управляется дистанционно оператором карьерного комбайна, при этом часть операций выполняется оборудованием перегрузочного агрегата 1 в автоматическом режиме.

Карьерный комбайн селективно послойно обрабатывает горный массив и посредством разгрузочного конвейера 11 направляет горную массу в секцию 2 перегрузочного агрегата 1. При заполнении секции 2 датчик загрузки подает сигнал на автоматическую систему управления, откуда сигнал передается на систему управления карьерным комбайном, которая в автоматическом режиме производит поворот в плане разгрузочного конвейера 11 карьерного комбайна для загрузки следующей секции 3 (рис. 1).

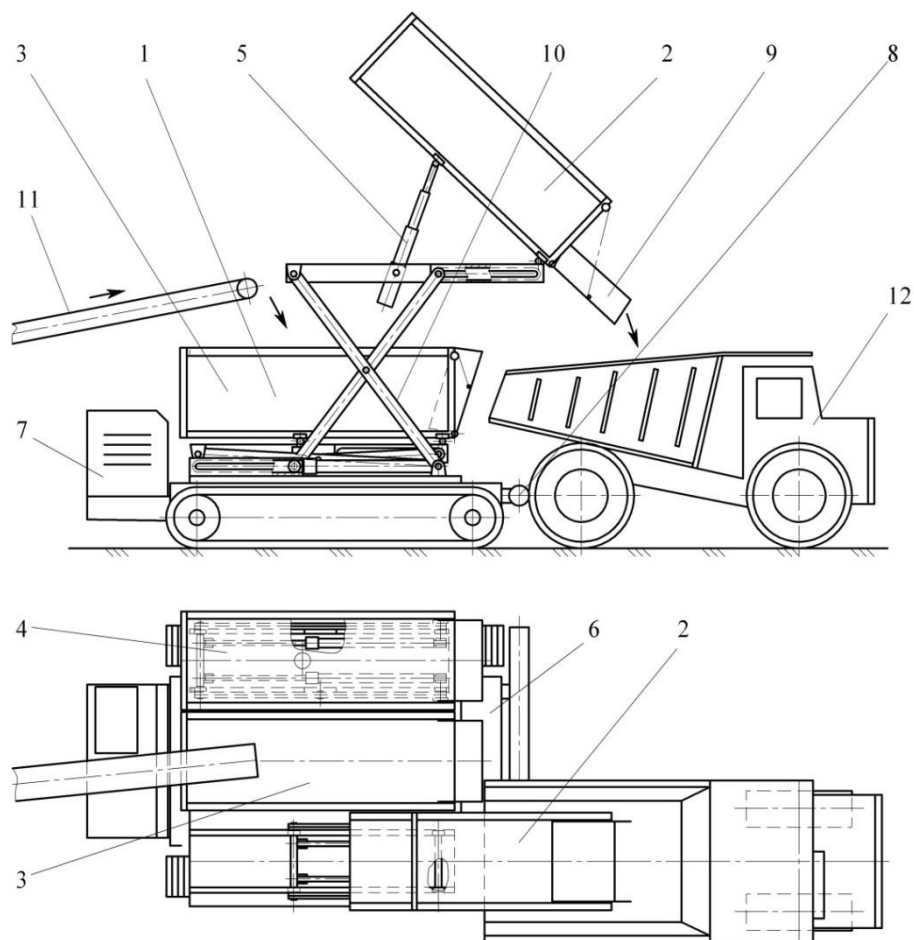


Рисунок 1 – Схема перегрузки горной массы в автосамосвалы с применением перегрузочного агрегата

Порожний автосамосвал 12 задним ходом подъезжает к заполненной секции 2 до упора колес в буфер 8, после чего автоматическая система управления подает сигнал на подъем и разгрузку секции 2. Секция 2 посредством X-образного механизма 10 начинает подниматься вверх, одновременно совершая горизонтальное перемещение в сторону кузова транспортного средства. По окончании подъема секции 2 выдвигается гидроцилиндр 5, секция 2 поворачивается, открывается поворотная стенка 9 и горная масса высыпается в кузов автосамосвала 12. После разгрузки секция 2 возвращается в исходное положение, а заполненная горной массой следующая секция 3 поднимется на разгрузку. В случае смены типа разрабатываемой горной массы, система управления карьерного комбайна поворачивает разгрузочный конвейер 11 к порожней секции 4. Таким образом, происходит безостановочная работа карьерного комбайна при замене автосамосвалов 12 под погрузкой, а также при переходе к отработке нового типа рудной массы. Водитель автосамосвала после загрузки получает адрес разгрузки в зависимости от типа горной массы – отвал, склад временно некондиционной руды, обогатительная фабрика.

Предлагаемая технологическая схема разработки сложноструктурных месторождений с применением карьерного комбайна и перегрузочного агрегата с тремя секциями позволит исключить простои карьерного комбайна при замене автосамосвалов под погрузкой. Уменьшатся простои транспортных средств в ожидании догрузки в случае перехода карьерного комбайна с отработки одного типа рудной массы к другому типу. Кроме того, секции перегрузочного агрегата могут служить временными аккумуля-

лирующими емкостями в случае задержек автосамосвалов. Снижение простоев карьерного комбайна позволит увеличить производительность добычных работ, что повысит эффективность горного производства.

Библиографический список

1. Трубецкой К.Н., Чантурия В.А., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья. Москва, Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2010, 437 с.
2. Оганесян Л.В. Экологические и технико-технологические проблемы освоения нетрадиционных источников минерального сырья // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2019. № 2. С. 48-52.
3. Яковлев В.Л. Состояние, проблемы и пути совершенствования открытых горных работ // Горный журнал. 2009. №11. С. 11-14.
4. Starke L. Breaking New Ground: Mining, Minerals and Sustainable Development. London: PED, 2016, 480 p.
5. Чебан А.Ю. Селективная разработка Эльгинского угольного месторождения с применением выемочно-сортировочного комплекса // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2017. – № 4. – С. 247-254.
6. Wirtgen surface mining for selective limestone mining in the North Caucasus. Russia // Zement-Kalk-Gips Int, 2014, Vol. 67, no 10, pp. 18-19.
7. Чебан А.Ю. Технология разработки сложноструктурного месторождения апатитов и выемочно-сортировочный комплекс для ее осуществления // Записки Горного института. 2019. Т. 238. С. 399-404.
8. Пихлер М., Панкевич Ю.Б. Wirtgen Surface Miner в Индии. Опыт селективной разработки угольных месторождений // Горная промышленность. 2003. №4. С. 40-47.
9. Сандригайло И.Н., Арефьев С.А., Чеботарев С.И. Определение параметров и показателей работы карьерных комбайнов при добыче мрамора // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2016. Т.15. №21. С. 362-366.
10. Чебан А.Ю. Устройство для перегрузки насыпных строительных материалов из автосамосвалов в железнодорожный транспорт // Механизация строительства. 2016. Т. 77. №2. С. 33-36.
11. Шемякин С.А., Матвеев Д.Н., Чебан А.Ю. Экономическое обоснование эффективности безвзрывной селективной выемки полезного ископаемого и вмещающих пород с использованием технико-технологических комплексов на основе фрезерных комбайнов // Горный журнал. 2015. №2. С. 43-46.
12. Чебан А.Ю. Комплекс для перегрузки насыпных строительных материалов в средства водного транспорта // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2015. № 5 (33). С. 43-47.
13. Зырянов И.В., Ильбульдин Д.Х., Кондратюк А.П. Параметры системы дистанционного управления горнотранспортным оборудованием в условиях Удачинского ГОКа // Горная промышленность. 2016. №5. С. 49-51.
14. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Владимиров Д.Я., Пыталев И.А. Условия и перспективы внедрения роботизированных геотехнологий при открытой разработке месторождений // Горный журнал. 2017. №11. С. 60-64.
15. Чебан А.Ю. Технология разработки крутопадающих рудных тел с применением дистанционно управляемого горного оборудования // Маркшейдерский вестник. 2019. №2. С. 56-60.

СПОСОБ ДОРАБОТКИ ТОНКИХ РУДНЫХ ТЕЛ В ПРИБОРТОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ КАРЬЕРА

ЧЕБАН А. Ю.¹

¹ФГБУН Хабаровский Федеральный исследовательский центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук

Аннотация. Повысить полноту извлечения полезных ископаемых из недр возможно за счет вовлечения в отработку запасов, сосредоточенных в тонких рудных телах, остающихся за предельными контурами карьера. Данные небольшие по объему рудные тела, могут иметь высокое содержание полезного компонента в руде, однако доработка подобных запасов с применением традиционных технологий в ряде случаев является экономически не эффективной, в связи с чем, ценное минеральное сырье остается в горном массиве. В статье предлагается технология выемки рудных тел мощностью первые десятки сантиметров и оборудование для ее осуществления. Выемочный комплекс включает фрезерное рабочее оборудование, вакуумную систему транспортировки рудной массы, накопительный контейнер, стрелу и гусеничное шасси. Отсутствие жесткой связи исполнительного органа с внешним модулем позволяем снизить металлоемкость добычного оборудования и уменьшить капитальные затраты на внедрение данной технологии в производство.

Ключевые слова: выемочный комплекс, фрезерное рабочее оборудование, рыхление, рудная масса, вакуумная система.

METHOD FOR ADDITIONING THIN ORE BODIES IN ON-BOARD CAREER SPACE

CHEBAN ANTON YURYEVICH¹

¹Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Abstract. It is possible to increase the completeness of the extraction of minerals from the bowels by engaging in mining reserves concentrated in thin ore bodies that remain beyond the limiting contours of the quarry. These ore bodies are small in volume and may have a high content of a useful component in the ore, however, the development of such reserves using traditional technologies is in some cases economically inefficient, and therefore, valuable mineral raw materials are left in the rock mass. The article proposes a technology for the extraction of ore bodies with a capacity of the first tens of centimeters and equipment for its implementation. The mining complex includes milling working equipment, a vacuum system for transporting ore mass, a storage container, an arrow and a tracked chassis. The absence of a rigid connection between the executive body and the external module allows us to reduce the metal consumption of the mining equipment and reduce the capital costs of introducing this technology into production.

Keywords: mining complex, milling working equipment, loosening, ore mass, vacuum system.

Стратегия долгосрочного развития горных предприятий во многом зависит от возможностей повышения эффективности добычи твердых полезных ископаемых за счет инновационных решений в горном производстве [1]. Развитие технологий и технических средств позволяет вести разработку полезных ископаемых открытым и подземным способами на все больших глубинах [2-5]. Так же увеличить продолжительность работы горнодобывающего предприятия возможно за счет вовлечения в отработку запасов, сосредоточенных в тонких рудных телах, остающихся за предельными контурами карьера. Данные небольшие по объему рудные тела, могут иметь высокое содержание полезного компонента в руде, однако доработка подобных запасов с приме-

нением традиционных технологий в ряде случаев является экономически не эффективной, в связи с чем, ценное минеральное сырье оставляется в горном массиве. В тоже время наличие инфраструктуры создает предпосылки для доработки таких запасов. Анализ горно-геологических условий разработки отечественных месторождений цветных и благородных металлов, редких земель, химического сырья и слюды, показывает, что значительные их запасы находятся в тонких и маломощных залежах [6-7].

В настоящее время рыхление прочных горных пород осуществляется в основном с применением буровзрывных работ [8-9]. Однако в связи с развитием горного оборудования постепенно расширяется область механического рыхления и выемки прочных горных пород [10-14]. Развиваются технические средства, позволяющие вести доработку запасов полезных ископаемых за техническими границами карьеров и разрезов. Так посредством шнекобуровых агрегатов и комплексов глубокой разработки ведется доработка угольных пластов [15]. По технологии выбуривания отрабатываются пласты мощностью от 0,4 до 3м, степень извлечения полезного ископаемого составляет 45-50%. Технология добычи угля комплексами глубокой разработки пластов осуществляется путем проходки выработок прямоугольного сечения глубиной до 300м [16]. Разработка угля осуществляется исполнительным органом, напор которого на забой производится посредством толкателя через транспортер. Известна конструктивная схема комплекса глубокой разработки для выемки маломощных крутонаклонных рудных тел, оборудованного фрезерным рабочим органом, позволяющим разрабатывать относительно прочные горные породы [7]. Напорное усилие на рабочем органе создается посредством телескопической стрелы и системы гидропривода. Общим недостатком шнекобуровых агрегатов и комплексов глубокой разработки пластов является жесткая связь исполнительного органа с машиной находящейся на поверхности, осуществляемая посредством бурового става, шнекового транспортера или телескопической стрелы, для передачи напорного усилия на забой. В результате чего необходимо применять громоздкие и металлоемкие конструкции, требующие значительных усилий для их продвижения по выработке. Также необходимо отметить, что компоновка исполнительных органов на вышеперечисленных комплексах предопределяет необходимость прохождения выработок с поперечным сечением значительной высоты. Шнекобуровые машины позволяют вести разработку пластов меньшей мощности, однако круглое сечение выработки ведет к значительным потерям при извлечении руды.

Целью работы является создание оборудования и способа его применения для разработки тонких рудных тел мощностью первые десятки сантиметров.

Автором предлагается способ доработки запасов, сосредоточенных в тонких рудных телах 1, имеющих мощность первые десятки сантиметров, с применением выемочного комплекса 2, оснащенного специальным фрезерным рабочим оборудованием 3 (рис.). Для доработки тонкого рудного тела 1 выемочный комплекс 2 располагается у откоса уступа с обнаженным выходом рудного тела таким образом, чтобы продольная ось стрелы 4 с жестко закрепленным на ней фрезерным рабочим оборудованием 3 совпадала с линией падения рудного тела 1 (рис. а). С помощью парных фрез 5 начинается отработка тонкого рудного тела 1, с образованием выработки, при этом отделенная от массива рудная масса по гибкому трубопроводу 6 вакуумной системы транспортируется в контейнер 7 выемочного комплекса 2. После полного заглубления фрезерного рабочего оборудования 3 в горный массив производится его отсоединение от стрелы 4, при этом фрезерное рабочее оборудование 3 с выемочным комплексом 2 взаимодействует только через канаты 8 лебедки и гидравлические шланги. Фиксация корпуса 9 фрезерного рабочего оборудования 3 в выработке осуществляется за счет выдвижных опор 10, при этом напор парных фрез 5 на забой обеспечивается путем выдвижения силовых гидроцилиндров 11 (рис 1. б-в).

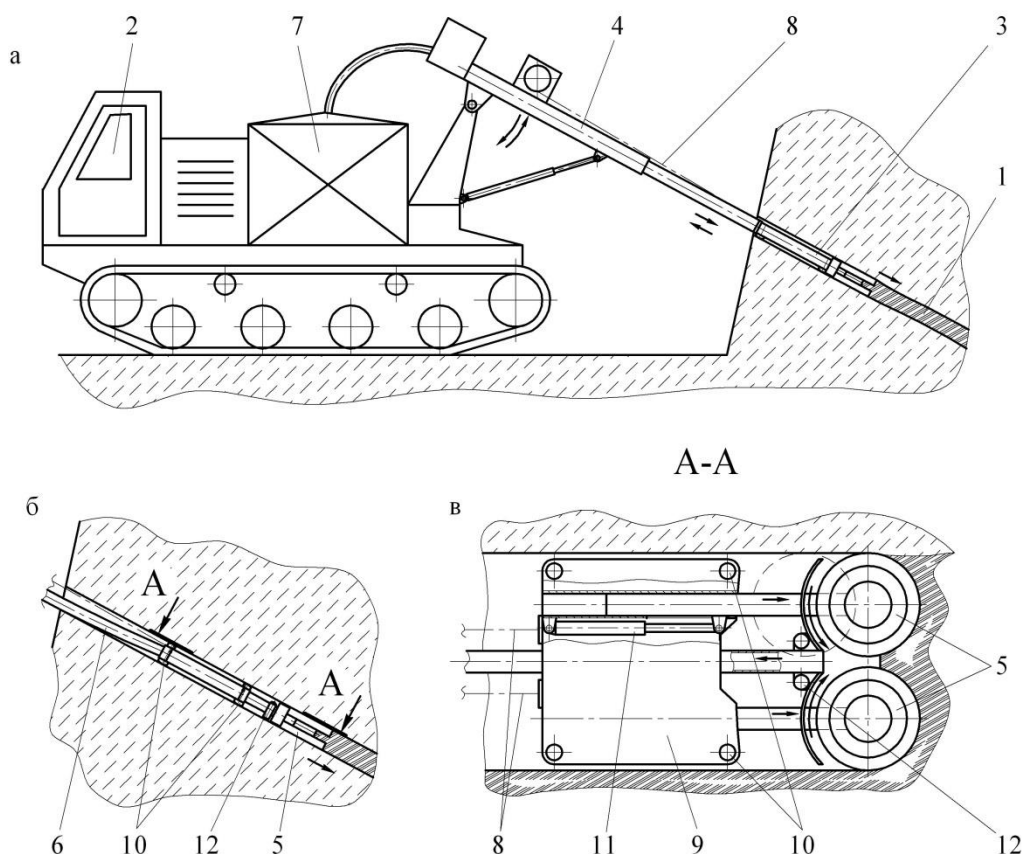


Рисунок 1 – Схема доработки тонкого рудного тела:
 а – заглубление фрезерного рабочего оборудования выемочного комплекса;
 б, в – автономная работа фрезерного рабочего оборудования

При полном выдвигении силовых гидроцилиндров 11 рыхление останавливается, выдвижные опоры 10 втягиваются, а стопоры 12 выдвигаются для обеспечения распора блока парных фрез 5, затем силовые гидроцилиндры 11 втягиваются, обеспечивая подтягивание корпуса 9 к парным фрезам 5. После этого стопоры 12 втягиваются, опоры 11 выдвигаются, и цикл рыхления повторяется вновь. По мере углубления фрезерного рабочего оборудования 3 в массив проводится наращивание секций гибкого трубопровода 6 вакуумной системы. После достижения необходимой глубины выработки фрезерное рабочее оборудование 3 извлекается из выработки посредством канатов 8.

Рассмотренный в статье способ с применением выемочного комплекса, оснащенного фрезерным рабочим оборудованием, позволяет производить выемку рудных тел содержащих ценное минеральное сырье мощностью первые десятки сантиметров с допустимыми параметрами разубоживания, что обеспечит экономически оправданное вовлечение в отработку запасов находящихся в прибортовом пространстве карьера. Отказ от жесткой связи между выемочным комплексом и исполнительным органом позволяет снизить металлоемкость и габаритные размеры добычного оборудования, а следовательно уменьшить капитальные и эксплуатационные затраты на внедрение данной технологии в производство.

Библиографический список

1. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли: монография / под ред. К.Н. Трубецкого. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. –478 с.
2. Рассказов М.И., Терешкин А.А., Цой Д.И. Оценка напряжённого состояния массива месторождения «Пионер» на основе акустико-эмиссионного эффекта памяти горных пород // Проблемы недропользования. 2019. № 2 (21). С. 62-67.
3. Чебан А.Ю. Технология разработки крутопадающих рудных тел с применением дистанционно управляемого горного оборудования // Маркшейдерский вестник. 2019. №2. С. 56-60.
4. Цой Д.И., Рассказов М.И., Гладырь А.В., Терешкин А.А., Константинов А.В. Исследование влияния длиннопериодных деформационных волн на геоакустическую активность горного массива // Проблемы недропользования. 2019. №4 (23). С. 66-73.
5. Чебан А.Ю. Совершенствование техники и технологий безвзрывной разработки горных пород: моногр. / А. Ю. Чебан. - Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2017. - 260 с.
6. Поздняков М.В., Курбанмагомедов К.Д., Михайлов Ю.В. Систематизация требований к горному оборудованию для разработки маломощных залежей крепких руд выбуриванием // Вестник Дагестанского научного центра. 2014. №52. С. 16-19.
7. Чебан А.Ю. Способ и оборудование для открытой разработки маломасштабных крутопадающих месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. №3. С. 18-23.
8. Трубецкой К.Н., Викторов С.Д., Закалинский В.М., Осокин А.А. Крупномасштабное взрывное разрушение массивов горных пород состояние и перспективы применения // Горный журнал. 2016. №10. С. 64-69.
9. Чебан А.Ю. Техническое оснащение предприятий по добыче нерудных строительных материалов в Хабаровском крае // Механизация строительства. 2017. №2. С. 23-26.
10. Герике Б.Л., Клишин В.И. Рабочие органы выемочных машин для добычи прочных полезных ископаемых // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. №6. С. 67-70.
11. Чебан А.Ю. Способ подготовки прочных горных пород к выемке при ведении строительных и добычных работ // Механизация строительства. 2017. №9. С. 20-23.
12. Чебан А.Ю. Совершенствование циклично-поточных технологий ведения горных работ с применением карьерных комбайнов // Маркшейдерия и недропользование. 2019. №1. С. 20-22.
13. Тюпин В.Н., Лизункин В.Н., Фофанов Н.П. Повышение эффективности проходки восстающих комбайнов 2КВ в прочных горных породах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. №S4. С. 126-130.
14. Dixit S. K., Pradhan M. Highwall mining in India // Mine Planning and Equipment Selection. Springer International Publishing. 2014. pp. 175–187.
15. Нецветаев А.Г., Григорян А.А., Пружина Д.И. Технологии безлюдной добычи угля с применением шнекобуровых машин // Горная промышленность. 2015. №2. С. 60-63.
16. Prakash A., John L.P., Pal R.P. Highwall mining in India. Part II. Subsidence management mechanism at mine level // Journal of Mines, Metals & Fuels. 2014. Vol. 62. no. 9–10. pp. 254–262.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ МОЩНЫХ СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОМОНИТОРОВ

ПОКЛОНОВ Д. А.¹

¹ООО «Кузнецкая проектная компания»

Аннотация. На основании результатов экспериментальных исследований в промышленных условиях гидромонитора ГД-300 автор дает оценку перспективам его применения на разработке трудноразмываемых коренных пород четвертичных отложений, а также разных типов пород, уложенных ранее в гидроотвалы, находящиеся над промышленными запасами угля. Положительно оценены перспективы применения высокопроизводительных гидромониторов при разработке обводненных месторождений КАТЭКа без дорогостоящего осушения месторождения подземными горными выработками.

Ключевые слова: открытая разработка угольных месторождений, гидромеханизация, гидромонитор, земснаряд.

PROSPECTS OF USING MODERN POWERFUL HYDROMONITORS IN SURFACE MINING

POKLONOV DANIIL ANATOLIEVICH¹

¹KUZPROJECT LLC

Abstract. Based on the results of experimental researches of working the GD-300 hydraulic monitor in an industrial environment, author assesses the prospects for its use for removing of hard-to-wash bedrock of Quaternary sediments, as well as of various types of rocks previously dumped in hydraulic dumps above industrial coal deposits. The prospects of using of high-performance hydraulic monitors in the mining works of KATEK's irrigated fields without expensive drainage of the field by underground mine workings were positively assessed.

Keywords: surface mining, open pit mining, hydromechanization, hydraulic mining, hydromonitor, hydraulicking, hydro excavation, dredger.

Анализ состояния открытых горных работ в Кузбассе показывает, что в последнее десятилетие происходило снижение объемов разработки четвертичных вскрышных пород средствами гидромеханизации в связи с увеличением доли трудноразмываемых отложений, а также затрат на электроэнергию [1].

При этом для эффективной разработки таких пород создан, испытан в промышленных условиях и допущен к постоянному применению гидромонитор ГД-300 производства завода ООО «Гидромаш» (Новокузнецк), способный создавать более мощную гидромониторную струю. В ходе экспериментальных исследований установлены напорные характеристики этого гидромонитора, обобщенный коэффициент сопротивления гидромонитора ГД-300 от диаметра насадок [2-5]. Выполнены исследования параметров гидромонитора ГД-300 для оптимизации технологических схем гидромониторно-землесосных комплексов [6], выполнена оценка эффективности его применения на ряде угольных предприятий [7].

В последнее время выявилось еще одно направление использования таких гидромониторов, вызванное необходимостью переукладки пород из гидроотвалов, расположенных, как правило, над промышленными запасами угля. Применение «сухого» способа разработки пород из таких техногенных отложений затруднено, а зачастую и вовсе не возможно из-за высокой водонасыщенности таких пород, находящихся в неконсолидированном состоянии. Анализ показал, что наиболее эффективно породы из гидроотвалов разрабатывать комплексами гидрооборудования, включающими в себя

совместно работающие земснаряды и гидромониторы [8]. Исследованиями установлены рациональные технологические параметры совместной работы гидромонитора и земснаряда по разным типам пород.

Появление мощного высокопроизводительного гидромонитора ГД-300 открывает новые возможности и для разработки обводненных месторождений Канско-Ачинского бурого угольного бассейна. В семидесятые годы прошлого столетия на большинстве месторождений этого бассейна проектами была принята технология разработки с предварительным осушением участка месторождения путем проведения дорогостоящих подземных дренажных выработок. Сотрудниками ИГД СО РАН [9] предложено отказаться от предварительного осушения обводненного карьерного поля и использовать разработку вскрышных пород высокопроизводительными гидромониторно-землесосными комплексами, а угольного пласта – цепным многочерпаковым экскаватором с параллельным формированием в выработанном карьерном пространстве технологического водоема и гидроотвала вскрышных пород.

Таким образом, наличие достаточно широкого диапазона горнотехнических условий разработки угольных месторождений, нуждающихся в эффективной разработки коренных четвертичных пород, а также четвертичных пород, уложенных ранее в гидроотвалы являются гарантией широкого применения в ближайшие годы такого высокопроизводительного оборудования, как гидромонитора ГД-300, экспериментальные исследования которого дают возможность для проектных организаций обосновывать рациональные параметры технологических схем их применения, а также применять гидромеханизацию для рекультивации нарушенных открытыми горными работами земель (отвалов, карьерных выработок).

Библиографический список

1. Протасов С. И. Гидрокомплексы угольных разрезов Кузбасса / С. И. Протасов, Д. А. Поклонов // Маркшейдерия и недропользование. 2013. №1(63). С. 19-21.
2. Поклонов Д. А. Результаты промышленных испытаний гидромонитора ГД-300 / Д. А. Поклонов, С. И. Протасов // Сб. трудов XVI Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности». 7-10 октября 2014г. – Кемерово: ИУУ СО РАН, КузГТУ, 2014. – С. 221-225.
3. Поклонов Д. А. Определение необходимых диаметров насадок гидромониторов с учетом режима работы насосной станции / Д. А. Поклонов, Ю. И. Литвин, С. И. Протасов // Вестник КузГТУ. Кемерово, 2012. № 4. С. 52-55.
4. Поклонов Д. А. Экспериментальное исследование напорных характеристик гидромонитора ГД-300 // Маркшейдерия и недропользование. 2013. №5. С. 51-53.
5. Поклонов Д. А. Экспериментальное исследование изменения обобщенного коэффициента сопротивления гидромонитора ГД-300 от диаметра насадок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 9. С. 401-403.
6. Протасов С. И. Исследование параметров гидромонитора ГД-300 для оптимизации технологических схем гидромониторно-землесосных комплексов / С. И. Протасов, Д. А. Поклонов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 5. С. 115-120.
7. Протасов С. И. Параметры гидрокомплекса с гидромонитором ГД-300 для разреза «Краснобродский» / С. И. Протасов, Д. А. Поклонов // Гидромеханизация: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 4 (специальный выпуск 11). С. 205-213.
8. Мироненко, И. А. Технология разработки пород, намывных ранее в гидроотвал, с применением гидромониторного размыва и землесосных снарядов / И. А. Мироненко, С. И. Протасов // Техника и технология горного дела: научно-практ. журнал / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. ун-т им. Т.Ф. Горбачева. Кемерово, 2019. №. 1. С. 24-34.

9. Резник, А. В. Технология открытой разработки обводненных буроугольных месторождений Канско-Ачинского бассейна / А. В. Резник, В. И. Ческидов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2019. №1. С. 106-115.

УДК 622.763.7+622.74-913.3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИАМЕТРА ЯЧЕЙКИ БАРАБАННОГО ГРОХОТА ПРИ ПОВТОРНОЙ ПРОМЫВКЕ ПЕСКОВ В УСЛОВИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КОНДЕР»

СТАРЦЕВ В. А.¹, СТАРЦЕВ Ю. А.², СТЕНИН Ю. В.¹, БОЙКОВ И.С.

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

²ОАО «АС Амур», г. Хабаровск

Аннотация. Учитывая продолжительное истощение россыпных месторождений благородных металлов, перспективным направлением дальнейшего увеличения запасов является вовлечение в разработку техногенных участков. К таковым относятся вскрышные отвалы – торфа, галечные и эфельные отвалы, характеризующиеся неравномерным распределением металла в вертикальной и горизонтальной проекции техногенного массива. В работе приведены результаты исследований по расчету оптимального диаметра ячейки сеющей поверхности барабанного грохота с целью извлечения металла из эфельных отвалов месторождения «Кондер».

Ключевые слова: россыпное месторождение, эфеля песков россыпей, грохочение, извлечение металла, шлюза мелкого наполнения, гранулометрический состав.

TECHNOLOGICAL JUSTIFICATION OF THE DIAMETER OF THE DRUM SCREEN CELL DURING REPEATED SAND WASHING IN THE CONDITIONS OF THE «KONDER FIELD»

STARCEV VASILYIY ANDREEVICH¹, STARCEV YULIAN ANDREEVICH²,
STENIN YURIY VLADIMIROVICH¹, BOYKOV IVAN SERGEEVICH¹

¹Ural state mining University,

²JSC «AS AMUR»

Abstract: Given the long-term depletion of placer deposits of precious metals, a promising direction for further increase in reserves is to involve technogenic sites in the development. These include overburden dumps-peat, gravel and ash dumps, characterized by an uneven distribution of metal in the vertical and horizontal projection of the technogenic array. The paper presents the results of research on the calculation of the optimal cell diameter of the sowing surface of the drum screen in order to extract metal from the ash dumps of the Konder field.

Key words: placer mine, fine-grained sand found in placers, screening, metal extraction, fine filling sluice, granulometric composition.

За долгие годы эксплуатации месторождения «Кондер» практически полностью исчерпались платиносодержащие пески. По состоянию на 2019 г., эксплуатация месторождения находится на стадии завершения. Для продолжения производственной деятельности предприятия, в ближайшей перспективе рассматривается разработка техногенных массивов, сформированных за период с 1986 по 2019 года. Техногенный массив представлен торфами, эфельным и галечным материалом, расположенным на поверхности и частично под водой.

С 2010 года на прииске «Кондер» были введены в эксплуатацию промывочные приборы ПБШ (прибор бочечный шлюзовой) и ТОК (транспортно-обогащительный комплекс). Технические параметры приборов были рассчитаны под горно-

геологические условия верхних разрабатываемых участков россыпи. В процессе промывки процентный выход продукта составлял – галечный материал 40 % и эфельный 60% (рекомендуемое соотношение для высокой эффективности грохочения по СП В.К. Прейс) [1]. Процент извлечения металла находился в пределах 70 - 92 % [2]. По истечении времени участки обрабатывались и приборы перемещались на разработку полигонов вниз по течению реки «Кондер». По мере удаления от истока к устью гранулометрический состав песков и ценного компонента снижался. Например, хвосты промывки участка 1/17 характеризуется процентным соотношением 20/80 % галечного и эфельного материала, а средняя крупность платины в исходных песках изменением с 0,85 мм (объединенная проба р. Кондер интервал Л-216-160) до 0,35 мм (объединенная проба №8 р. Уоргалан, Л-148) [3]. На фоне уменьшения содержания и средней крупности платины в исходных песках, содержание платины в эфельных отвалах увеличивается. В результате, извлечение металла по технологическому опробованию упало до 60-70 % [2].

Основная цель исследований - обоснование размера отверстий сит барабанного грохота, с целью извлечения платины из эфельных отвалов месторождения «Кондер».

Анализ параметров грохочения.

Процесс грохочения может происходить только в случае перемещения перфорации относительно материала. Просеивание материала через решето определяется в первую очередь наклоном сеющей поверхности, размерами и формой отверстий, скоростью относительного перемещения материала, гранулометрическим составом.

Грохочение материала с водой проходит намного эффективнее, чем сухое просеивание. Вместе с тем, наличие в исходных песках большого количества зерен размером, близким к диаметру отверстий грохота, резко отрицательно сказывается на эффективности грохочения. Такие зерна принято называть трудными. Чем выше в просеиваемом материале содержание мелких фракций, тем меньше эффективность его грохочения (табл. 1).

Таблица 1 - Зависимость эффективности грохочения от гранулометрического состава

d _{яч}	Гранулометрический состав песков, %		Эффективность грохочения по классу, %	Выход гали, %	Содержание фракции (-d _{яч}) в гале от исходного, %
	«D»	«R»			
0,1	82,2	17,8	30	89,3	18,5
0,2	70,5	29,5	42	77,0	17,6
0,8	57,8	42,2	48	65,0	14,2
2	46,2	53,8	64	54,8	9,1
4	33,7	66,3	87	42,2	6,5

По данным таблицы, наибольшая эффективность грохочения составила при диаметре ячейки 4 мм в соотношении надрешетного продукта к подрешетному 33,7/66,3%. С увеличением диаметра эффективность грохочения растет, но падает извлечение металла (рис. 1, табл. 2).

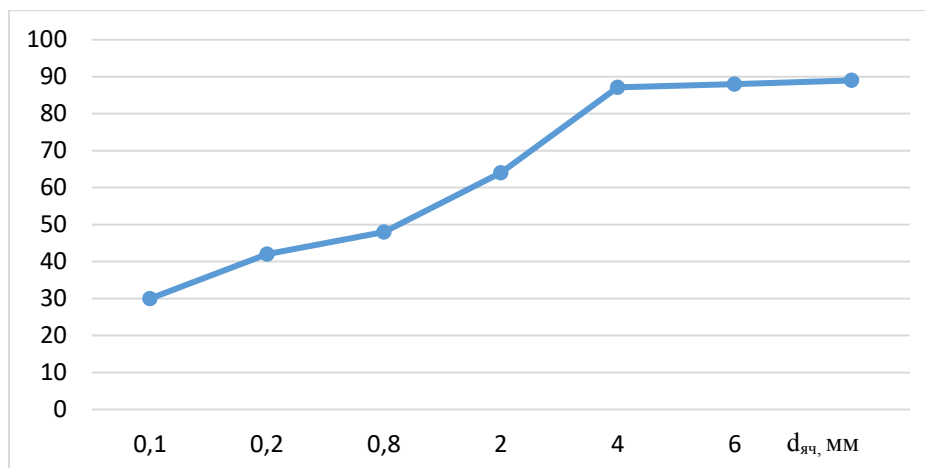


Рисунок 1 - Зависимость эффективности грохочения от диаметра ячейки на барабанном грохоте [1]

Таблица 2 – Параметры работы шлюзов мелкого наполнения в зависимости от максимальной крупности поступающего материала

Крупность материала, мм	2	4	6	8	10	12	14
Критическая скорость, м/с	0,77	0,99	1,21	1,40	1,57	1,72	1,85
Диаметр крупности платины, мм	0,03	0,04	0,25	0,5	0,7	1	2
Критическая скорость, для	0,46	0,61	1,53	2,16	2,56	3,06	4,33
h – высота потока, мм	6	12	17	18	19	19,7	20,5
Минимальное отношение Ж:Т	4,5	6	8	8	10	10	12
Извлечение металла в зависимости от скорости потока (-2,0+0,04),% (О.В. Замятин)	94,30	89,00	78,62	71,45	66,08	61,85	58,40

Вместе с тем, извлечение металла зависит от эффективности работы шлюзов: от скорости движения пульпы, наполнения шлюза, количества поступающих на шлюз песков, длины шлюза и частоты сполоска.

Скорость движения пульпы должна быть минимально необходимой для транспортировки материала по шлюзу.

Размер сносимых со шлюзов зерен ценного компонента при этом определяется коэффициентом равнораспределенности. Допустим, на шлюз поступают платиносодержащие пески с верхним пределом крупности 16 мм. Коэффициент равнораспределенности для платины и сланцев равен 16. Таким образом, при правильно подобранной скорости вместе с породой будут сноситься зерна платины меньше $16:16=1,0$ мм. При увеличении крупности поступающих на шлюз песков необходимо увеличить и скорость движения пульпы, а в соответствии с этим увеличится и размер сносимых со шлюза зерен платины. Следовательно, чем меньше зерна ценного компонента, тем меньше должен быть верхний предел крупности направляемых на шлюз песков. Для повышения извлечения металла, особенно мелкого, ограничение максимальной крупности обогащаемых на шлюзах песков является наиболее эффективным способом. В каждом конкретном случае, исходя из теоретических предпосылок, на шлюзах целесообразно обогащать только классы крупности ценного компонента, если есть возможность без потерь платины отделить более крупный материал [4].

Перед началом расчета определим границы класса крупности обогащаемых песков, исходя из гранулометрического состава платины и исходных песков (табл. 3. рис. 2 и 3).

Таблица 3 - Гранулометрический состав проб эфельного отвала промывочной установки ПБШ – 200

Класс крупности	Выход класса, (%)	Проход, «Д», (%)	Остаток, «R»,(%)
-16+14	6,5	-	6,5
-14+12	7,7	93,5	14,2
-12+10	10,4	85,8	24,6
-10+3	21,2	75,4	45,8
-3+2	6,4	54,2	52,2
-2+1	3,7	47,8	55,9
-1+0,5	4,3	44,1	60,2
-0,5+0,2	3,7	39,8	63,9
-0,2+0,1	4,1	36,1	68
-0,1+0,04	4,2	32	72,2
-0,04	27,8	27,8	-

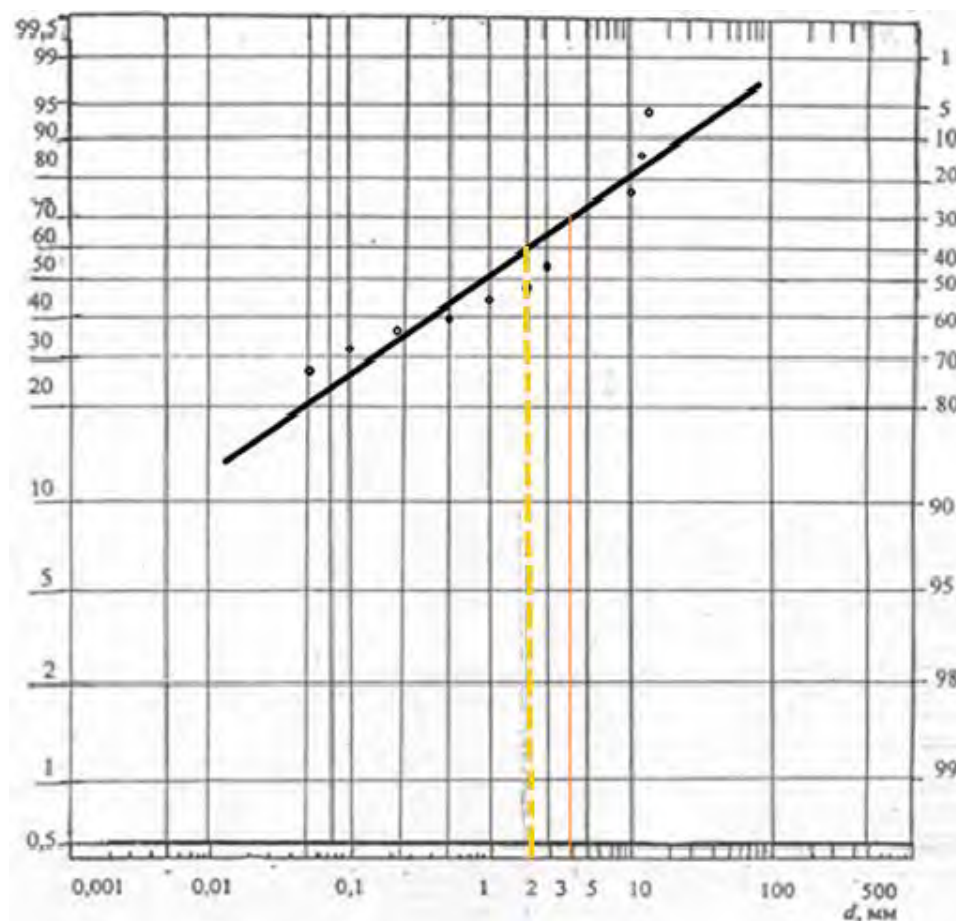


Рисунок 2 – Гранулометрический состав пробы эфельного отвала ПБШ – 200 в двойной логарифмической сетке координат

Таблица 4 – Результаты ситового анализа платины

Номер пробы	Проба	Класс крупности, мм						Итого
		-0,1	+0,125-0,25	+0,25-0,5	+0,5-0,7	+0,7-1,0	+1,0-2,0	
1	1) Вес, мг	3595,0	4717,6	2209,1	1228,2	1809,3	1047,0	14606,3
	Выход, %	24,6	32,3	15,1	8,4	12,4	7,2	100,0
2	2) Вес, мг	3621,0	4419,2	2010,9	1342,1	1758,3	1058,2	14209,7
	Выход, %	25,5	31,1	14,2	9,4	12,4	7,4	100,0
3	3) Вес, мг	4016,2	5153,9	2842,9	1935,8	2193,3	1429,9	17571,9
	Выход, %	22,9	29,3	16,2	11,0	12,5	8,1	100,0
4	4) Вес, мг	4302,6	3110,0	5481,8	6591,4	4304,9	4357,8	28148,4
	Выход, %	15,3	11,0	19,5	23,4	15,3	15,5	100,0
Ср. знач.	Вес, мг	3883,7	4350,2	3136,2	2774,4	2516,5	1973,2	18634,1
	Выход, %	22,1	25,9	16,3	13,1	13,2	9,6	100,0

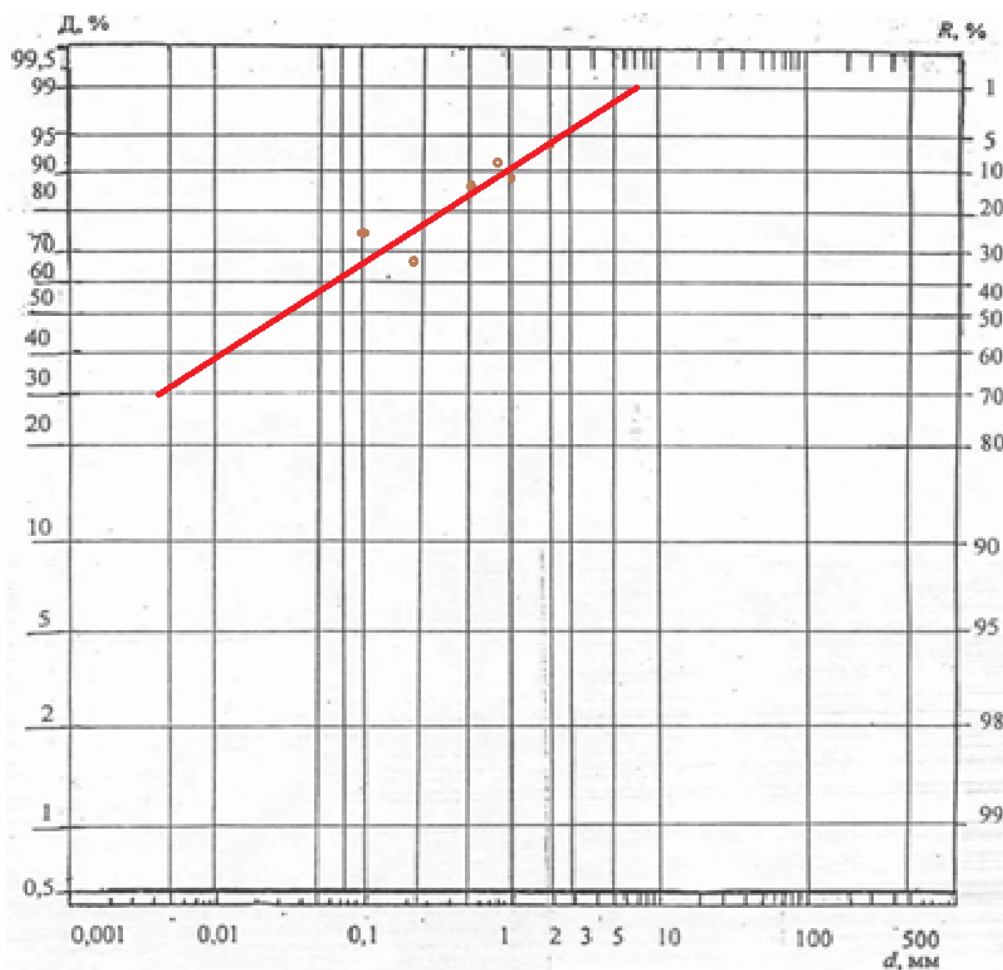


Рисунок 3 – Гранулометрический состав платины в отвальной продукции

Ситовой анализ платины показывает, что наибольший процент выхода приходится на класс $-0,25+0,125$ от 11 до 32%, для полноценного извлечения, принимаем

предел -2,0+0 мм. Вместе с тем, для высокой эффективности грохочения рекомендуется соблюдать размер диаметра ячейки с соотношением надрешетного материала к подрешетному 40/60%.

Анализ параметров обогащения на шлюзах мелкого наполнения.

Общеизвестно, что высота потока пульпы на шлюзах превышает в 2,5-3,0 раза максимальную поступающую крупность частиц. Применительно размера отверстий сеющей поверхности, высота потока составит:

$$h_{кр} = (2,5 - 3,0)d_{яч} \quad (1)$$

Для повышения извлечения необходимо получить критическую скорость, при которой должна сохраняться транспортирующая способность потока для твердой фазы с учетом ее максимальной крупности.

В общем случае, чтобы обеспечить условия для обогащения при снижении средней скорости потока, необходимо уменьшить глубину потока, что возможно при сокращении максимальной крупности обогащаемых песков.

Рассчитаем минимальную скорость потока пульпы, с учетом гранулометрического состава песков, для следующих классов крупности песков (2,4,6,8,10,12,14):

$$u_{кр} = K_{ок}\sqrt{d(P_T - 1)} \quad (2)$$

где $K_{ок}$ – коэффициент окатанности; P_T – плотность твердой фазы пульпы, 2,7 т/м³;

По формуле О.В. Замятина рассчитаем извлечение металла крупностью - 2,0+0,03 при получившихся скоростях.

$$\varepsilon = 100(1 - EXP(-K)) \quad (3)$$

где K - кинематический коэффициент равный квадрату скорости потока;

$$K = \frac{1}{1,4 \cdot u^2} = \frac{W^2}{d} \quad (4)$$

$$W = 0,424(P_{pt} - 1)d^2 \quad (5)$$

$$d = \frac{d_1 e_1 + d_n e_n}{100} \quad (6)$$

где W – гидравлическая крупность платины, м/с; P_{pt} – плотность платины, 20,1 т/м³; d – средневзвешанная геометрическая крупность твердых частиц, мм

Извлечение золота (других шлиховых минералов) в зависимости от крупности металла выражается уравнением [4]:

$$\varepsilon = 100(1 - EXP(-b \cdot d^c)) \quad (7)$$

где ε – извлечение, %; d – диаметр частиц, мм; b, c – коэффициенты учитывающие аппарат и режим обогащения

Таблица 5 – Извлечение металла на шлюзах мелкого наполнения [4].

Крупность металла, мм	0,03	0,25	0,5	0,7	1	2
Извлечение металла (-2,0+0,04),%	53,01	82,10	94,68	97,77	99,33	99,98

Анализ зависимости извлечения металла от диаметра ячейки грохота, показал, что наибольшее значение составит при диаметре равном 2 мм.

Применение большого диаметра приводит к уменьшению извлечения ценного компонента (рис. 4), это связано с тем, что при увеличении диаметра ячейки грохота вырастает максимальная крупность частиц, высота потока увеличивается и как следствие растут потери металла.

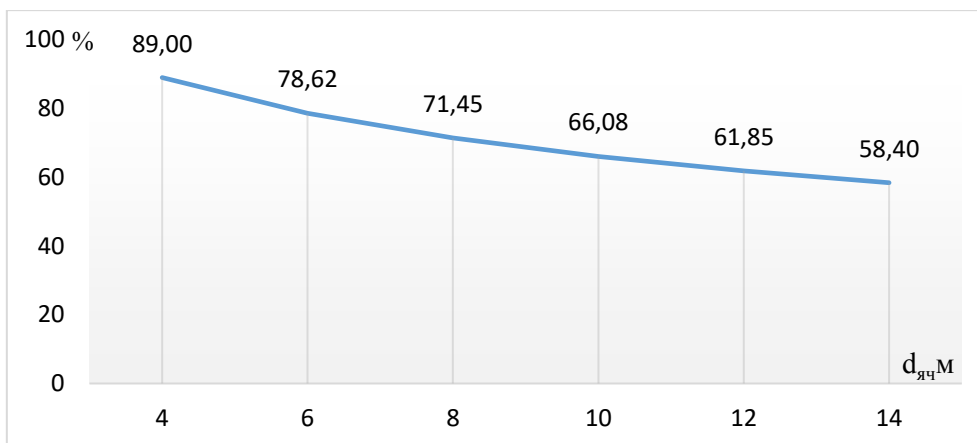


Рисунок 4 - Зависимость извлечения Pt от диаметра ячейки грохота

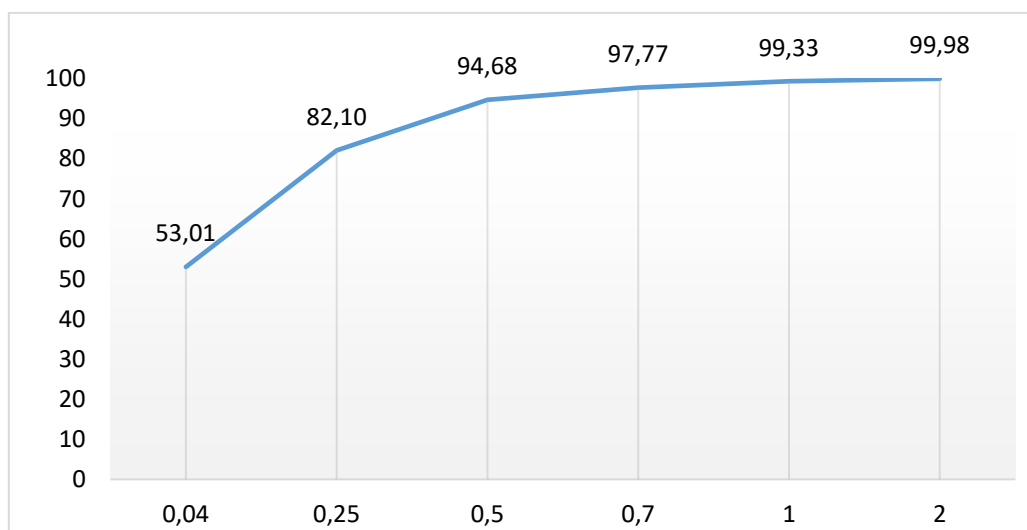


Рисунок 5 - Извлечение Pt от крупности металла

Использование диаметра ячейки менее 4 мм, ведет к снижению эффективности грохочения (рис. 1), а значит и к увеличению потерь подрешетного продукта, с предполагаемым металлом, в надрешетный, что станет причиной потерь ценного компонента.

Таким образом, оптимальный диаметр ячейки грохота в процессе классифицирования исходного продукта для участка техногенного месторождения 1/17 составит 4 мм.

Вывод: диаметр ячейки грохота обуславливают два главных параметра:

- С одной стороны, качество грохочения, которое напрямую зависит от диаметра ячейки;
- С другой стороны, извлечение платины, которое зависит от максимальной крупности поступающих на шлюз песков.

Для повышения извлечения платины, особенно мелкой, ограничение максимальной крупности обогащаемых на шлюзах песков является наиболее эффективным способом. Верхний предел крупности материала, обогащаемого на шлюзах с самотечным транспортированием, целесообразно ограничить 4 мм, при этом диаметре достигается высокая эффективность грохочения и высокий уровень извлечения металла.

Библиографический список

1. Прейс В. К. Оборудование и технология обогащения песков россыпных месторождений золота. – Магадан: КОРДИС, 2002.
2. Отчет о работе промывочно-обогащительного оборудования в 2012 г. Прииск «Кондер».
3. Александрова Т. Н. Разработка и обоснование эффективной технологии извлечения мелких частиц благородных металлов из россыпей (на примере месторождения «Кондер»).
4. Багазеев В. К. Промывка песков россыпей. – 2004.

УДК 622.02:537

СОРТОВАЯ ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ РАЗВАЛОВ ИЗВЕСТНЯКА В НОРМАХ СОДОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ПО ПЕТРОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ (ИЗ ПРИМЕРОВ ОКСИД-МЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ КАРБОНАТНО-ТЕРРИГЕННЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА УРАЛЕ)

ТИМОХИН А. В.¹, КОЗЛОВА М. В.¹
¹ФГБУН ИГД УрО РАН

Аннотация. Предложена модель расчета в развалах разделяемых объемов сортового известняка и отходов. Исходные данные и наложенные условия – зональность состава CaCO₃, измеренная в геоблоках месторождения, и типичность чередований глина-известняк. В математическом алгоритме использован метод треугольных проекций. Прикладные задачи – информационное обеспечение сортового планирования. Общие цели в изучении карбонатно-терригенных залежей Урала – выявление констант петрофизических оценочных систем, прогноз когнитивных измерительных подходов и сигнальных прототипов, вплоть до роботизированных.

Ключевые слова: месторождение, геометризация содержаний ископаемого, прогноз свойств развалов, сортовое планирование, энерго-ресурсосбережение, геотехнология.

VARIETAL GEOMETRIZATION OF LIMESTONE EXTRACTED IN THE COLLAPSE IN THE NORMS OF SODA PRODUCTION ACCORDING TO PETROPHYSICAL DATA (FROM EXAMPLES OF OXIDE-METRIC ESTIMATION OF CARBONATE-TERRIGENOUS FOSSILS IN THE URALS)

TIMOHIN A. V.¹, KOZLOVA M. V.¹
¹Institute of Mining of Ural Branch of RAS

Abstract. A model for calculating the varietal volumes of limestone and waste after blasting is proposed. Initial data and imposed conditions – measured geological zoning of CaCO₃ compositions and typical alternation: clay-limestone. The mathematical algorithm uses the method of triangular projections. Applied tasks are information support of varietal planning. The goals of studying carbonate-terrirogenous deposits in the Urals are to identify universal constants of petrophysics evaluation systems, and to implement cognitive measurement approaches and signal prototypes, up to robotization.

Keywords: deposit, geometrization of fossil, forecast properties, varietal planning, energy- and resource- saving, geotechnology.

Введение. На магматических и осадочных месторождениях нагорного типа на Урале свойства ископаемых и строение – предмет изучения показателей обогатимости и полноты извлечения, сырьевой оценки, нормирования потерь и разубоживания [1-2].

Массивы ископаемых представляют окид-минеральную, кристаллическую среду. Знания о легких окислах, формирующих свойства полупроводниковой природы, в последнее время кардинально уточнены. В числе обсуждений обновленные принципы пе-

трофизических измерений, алгоритмы сырьевой оценки и идентификации качества, спектрально-сортовой анализ сигнальных характеристик [3- 6].

Исходные данные, подходы и результаты исследования. В наборной системе сигнальных данных, пополняемой авторами на залежах карбонатно- терригенных ископаемых на Урале, отдельно отмечена изученность Костанокского участка Чаньвинского месторождения известняка (Пермский край). Его залежи в настоящее время – единственная минеральная база Березниковского содового завода БСЗ. Уникальная чистота внутренней структуры твердых фаз → CaCO_3 , отсутствие оксид- минеральных, земельных примесей характерных нагорным толщам, феномен сохранности от времени осадконакопления [4] – свойства, необходимые в производстве соды и геотехнологии в существующем виде.

В исследовании рассмотрены, как факторы эталонных и предельных сигналов измерений. С помощью сигнального способа оценки и информатизации опробуется идея планирования на принципах сортовой специализации производственных решений и гибких энерго-режимов, осуществляемых при горных работах и обогащении. Энергоресурсосбережение на всех этапах геотехнологии – цель информатизации нового уровня. Затем, решаются вопросы нормирования в движении ископаемого.

Для производства соды предъявляются высшие требования к химической чистоте, извлекается CaCO_3 . Вывозятся во внешний отвал породы вскрыши и горная масса со степенью глинизации более 25 %. Технология фабрики допускает примеси до 5 %; предобогащение от 25 % до нормы производится на грохоте комплекса очистки известняка (КОИ). КОИ размещен между карьером и отвалом на открытой площадке, его использование в зимнее время практически не возможно.

Ранее был изложен принцип обмеров горных блоков на основе 2-х методических приемов контактной электрометрии [7]. Изучены горизонты 225, 235, 245 м – план отработки 2015- 2017 гг. Получена карта засорения на площади 19.05 га. Раскрыты сигналы, по которым в структуре блоков с высокой детальностью (изолинии с шагом 5 % степени глинизации ΣK) выделены зоны повышенного и высокого содержания глин ПВСГ. Термин введен авторами работы [9]. При общем засорении 20.96 объемных % предел в 25 % превышен на 32.4 % территории (6.1722 га, ~ 3.38 млн тонн). Их списание в отходы не имеет оснований без геологических данных о локализации глин.

Термин «закарстованность», как объяснение засорения глинами, не корректен. Слоевые комплексы ПВСГ развиты по трещинным, эндогенным плоскостям кристаллической структуры. Слои известняка генерального напластования залегают под углом к горизонту 26.5° падением на восток. Короткая тыльная грань, свойственная идеальному кристаллу CaCO_3 («скошенный» параллелепипед), наклонена на запад 53° , как и развитые по ней системы трещин. Фиксируемые в этих плоскостях глинистые комплексы разного размера представляют заполнитель между крупными, глыбовыми и малыми, плитчатыми формами известняка (рис. 1).

Зондирования контактных зон показали, что в восстающих срезах к чистому известняку примыкают известняки малой степени глинизации. И, далее, с налеганием – слои большего загрязнения. Выделенные, как элементы разреза слои 1- 4 характеризует постоянное содержание глин: 1, 20.2, 50 и 90 %. Во всем латеральном срезе и на глубину 2-3-х уступов, признаков проявлений карста: суффозии или литологического типа не имеется. Уровень данных позволяет принять фациально-тектоническую версию глинизации и, в развитие, предложить методику оценки в развалах отделяемых объемов сортового известняка и отходов.

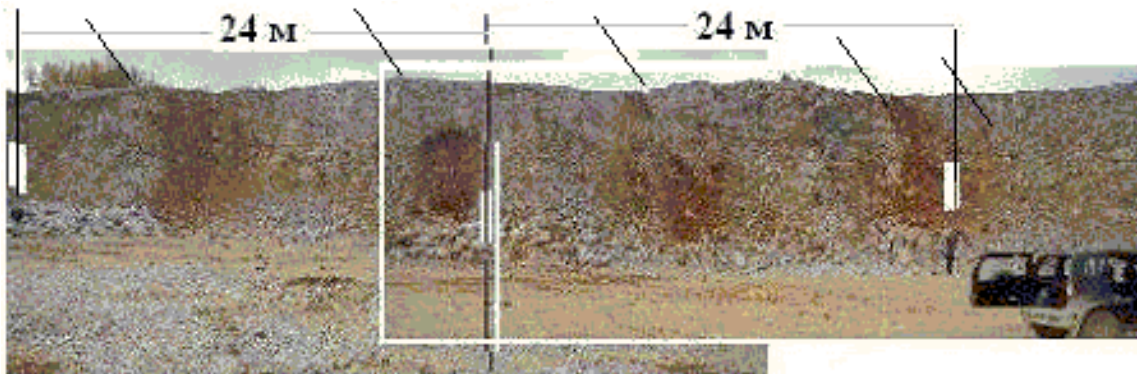


Рисунок 1 – Панорамная фотография обнажений. Место: почва гор. +235 м; под лесом – Южный борт, к западу – уступ к гор. +245. Метки дешифрирования: размеры откосов и обнажений; «\» - угол 53° падения на Запад комплексов ПВСГ

Интерпретация разрезов по данным 2х- 3х опорных зондирований и площадных съемок показала, что во всех секторах с ΣK (блока, %) , превышающих норму КОИ в 25%, имеются существенные области формирования сортов ΔV (рис. 2).

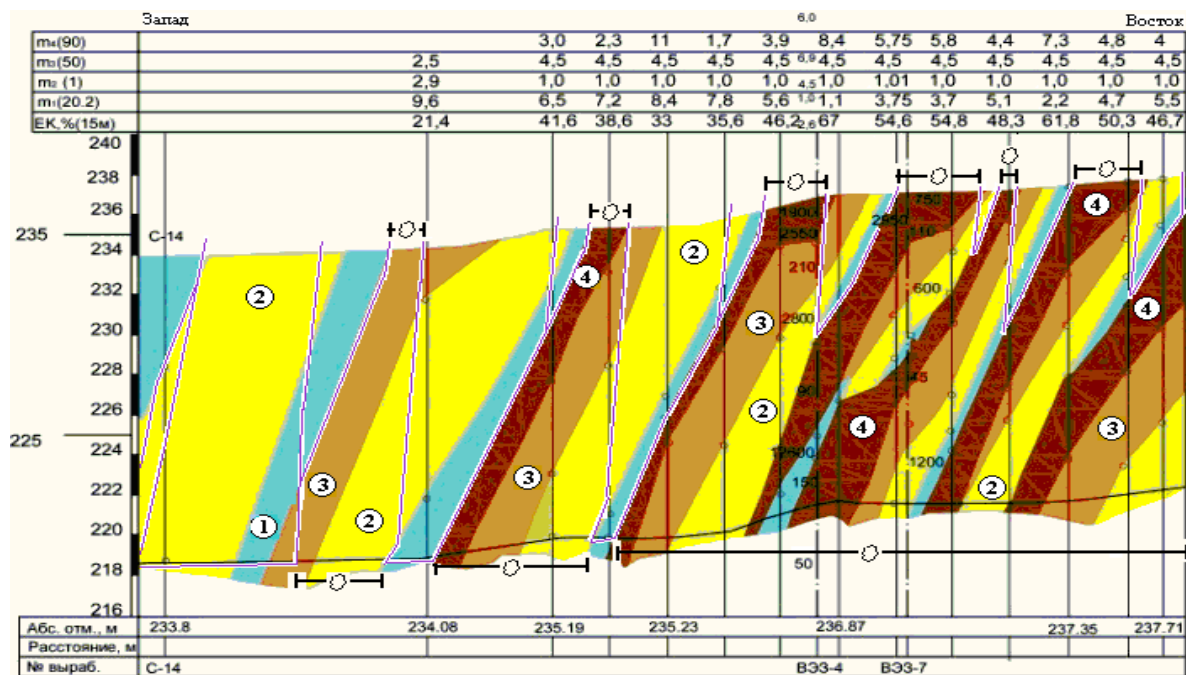


Рисунок 2 – Разрез 18-й площадки тестовых измерений. V: проекции углов рассечения (метод треугольников); O: границы формирования некондиционной массы ($\Sigma K > 25\%$)

Строение адаптировано способу расчета объемов, выходящих от плоскостей рассечения, по методу треугольников (методика ВНИИцветмет). Исходные данные рудных прототипов получают в ходе маркшейдерских наблюдений после взрывов [10]. Особенности изучаемой геометрии – лежащие контакты относительно откосов рабочих уступов. В анализе используются параметры залегания плоскостей контактов и подошв разрыхления, полученные в ходе собственных измерений и интерпретации [11].

Углы рабочих уступов β , формируемые в ходе буровзрывных работ БВР, характеризует закономерная дифференциация. Чистому известняку слоев 1 свойственна упругая деформация. Рост глинизации – фактор формирования перехода к упруго-пластической и пластической в слоях 2, 3, 4. Как показала интерпретация первых слоев

на графиках ВЭЗ [7, рис.2, п.4], глубина залегания подошвы разрыхления понижается; h1 составляет 5.65 метров; h2= 3.1, h3= 2.3, h4= 1.8 (рис. 3).

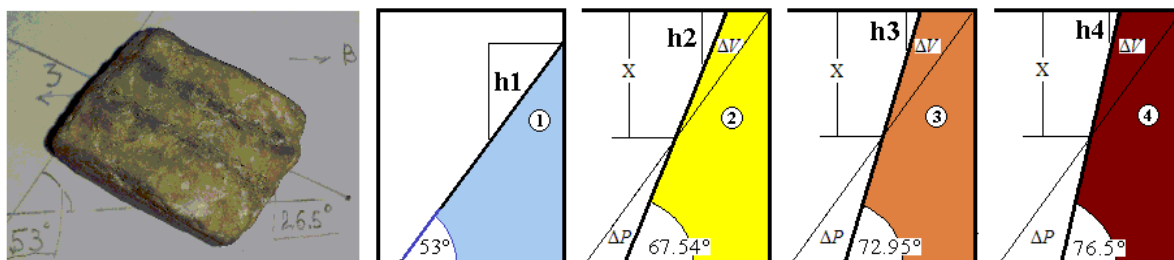


Рисунок 3 - К вычислению углов рабочих уступов β_{1-4} , формируемых в слоях

Объемы разубоживания ΔP и формирования сортов ΔV между плоскостями рассе- чения рассчитываются по уравнениям в вертикальной проекции [10]:

$$\Delta P = \frac{(H - X)^2}{2} \cdot (ctg\beta_1 - ctg\beta_{2,3,4}) \quad (1),$$

$$\Delta V = \frac{X^2}{2} \cdot (ctg\beta_1 - ctg\beta_{2,3,4}) \quad (2),$$

где H- высота блока (15 метров); X- полблока; 1- индекс угла наклона геологических контактов; 2, 3, 4- индексы углов рабочих уступов.

Степень глинизации блока представляет арифметическую сумму засорения, при- вносимого слоями:

$$\Sigma K(\text{блока}, \%) = m(1) \cdot 1 + m(2) \cdot 20.2 + m(3) \cdot 50 + m(4) \cdot 90 \quad (3),$$

где $m(\%)$ - вертикальные мощности слоев; 1, 20.2, 50, 90 (%) - степень глинизации.

Балансы состава – предмет вычислений по измеренным параметрам (Таблица 1).

Таблица 1. Входные и расчетные свойства метода треугольников.

порядковый номер модели блока: засорение, линейные и угловые параметры				порядковый номер модели блока: засорение, ли-нейные и угловые параметры			
№№	степень гли-низации, ΣK (объемные%)	размеры, мощности, X (метров)	углы откоса рабочих уступов β_{1-4} (°)	№№	степень гли-низации, ΣK (объемные%)	размеры, мощности, X (метров)	углы откоса рабочих уступов β_{1-4} (°)
1	0.2	X=3.755	53°	6	20.445	X=2.1906	72.95°, 67.54°
2	0.73(3)	X=10.247	53°	7	34.84	X=3.0756 X1=7.4117	72.95°, 67.54°
3	2.306	X=1.0204	67.54°	8	52.988	X=3.0756 X1=1.5186	72.95°, 67.54°
4	6.76	X=4.5 X1=9.969	67.54°	9	63.225	X=3.0756 X1=8.8334	72.95°, 67.54°
5	10.6	X=9.9186	67.54°	10	70.67	X=5.32123	76.5°, 72.95°

Сочетание 10-ти модельных фрагментов (подошва 10.8 на высоту 15 м) выражает все разнообразие строения (рис. 4). Степень глинизации блоков 0.2 ÷ 70.67 % в слоевых условиях моделей зон ПВСГ должна подтверждаться уравнением (3).

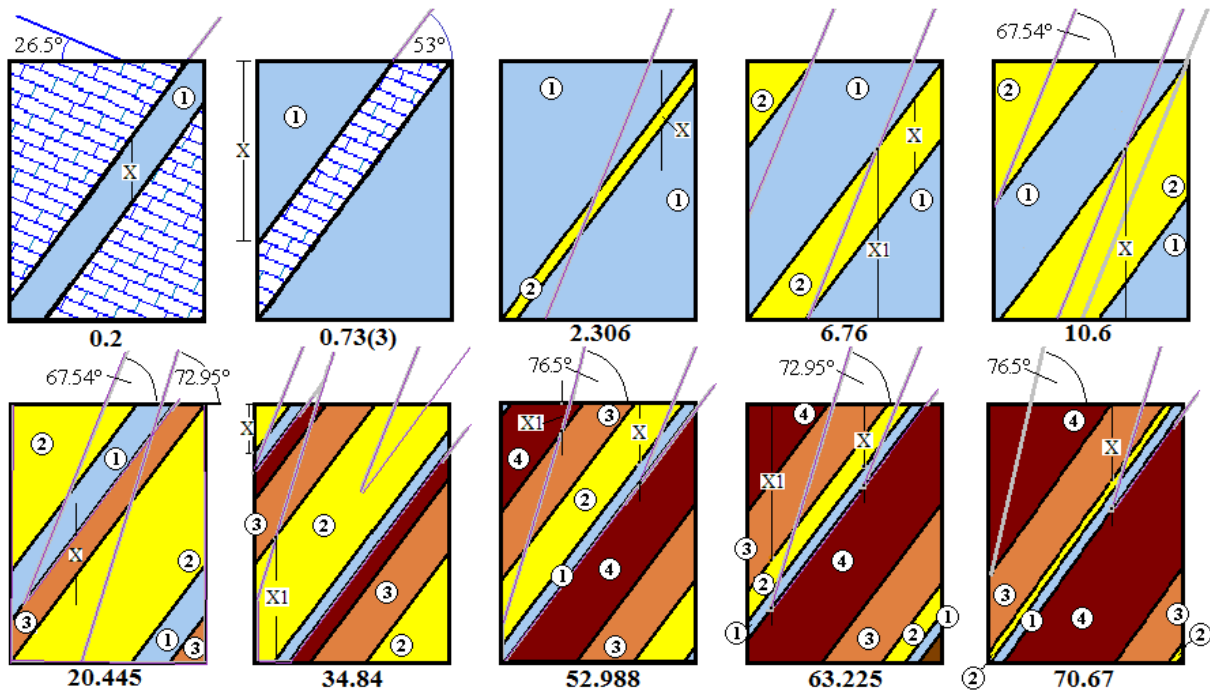


Рисунок 4 - Литологические модели блоков и углы рабочих уступов β_{1-4}

Массы сортового и некондиционного известняка и их состав (глинистость), раздельно формируемые в развале, даются в круговых диаграммах (рис. 5).

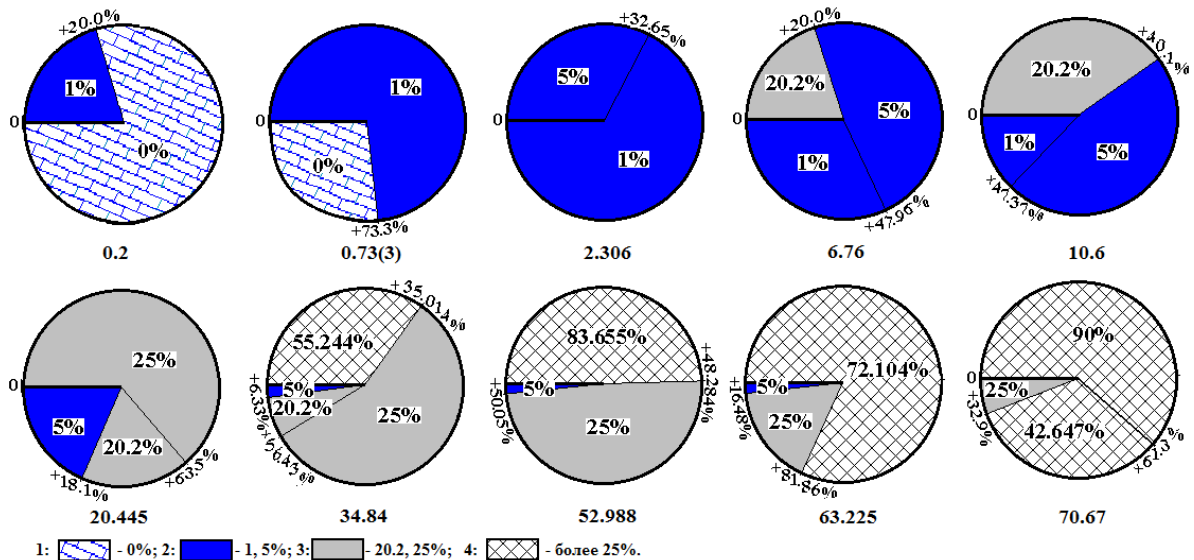


Рисунок 5 – Диаграммы развалов, отдельных масс М % и их глинизация %.

Шифр диаграмм – степень глинизации ΣK (блоков, объемные %, соответствует фрагментам рис. 4); в диаграммах: 1- CaCO_3 , 2- известняк с загрязнением 1 и 5 %, 3- 20.2 и 25 % и 4- доля отходов, цифры – глинизация доли в развале К, %

В частности, по фрагменту 3 (2.306 % глин) решалась следующая задача. Вычислено, что $X = 1.0204$ метров – максимальная вертикальная мощность слоя № 2, при которой 20.2 % его глин в результате БВР обеспечат засорение одного из выходов в развал, но норма фабрики 5 % в нем не будет превышена.

По фрагменту 6 (20.445 % глин) установлено, что $X = 2.1906$ метров – максимум мощности слоя № 3 (50 % глин), при которой развал формируют только сортовые части, не превышены пределы обогатимости грохота КОИ в 25 % и фабрики 5 %.

Во фрагментах 7, 8, 9 и 10 сортовые объемы уменьшаются по мере роста степени глинизации 34.84, 52.988, 63.225 и 70.67 %. Треугольники ΔV проекций углов между плоскостями расщепления, отображающие в геологических срезах область балансов состава, характеризует уменьшение площади. Растут объемы области разубоживания ΔP и высоко-глинистых слоев 3 и 4, предназначенные в сумме вывозу в отвал непосредственно из забоев.

Уступы формируются, исходя из выбора для зарядания при БВР прямоугольных площадок с направлением большей их стороны с запада на восток. Соответственно, проекции плоскостей отбойки от оставляемых в горизонте целиков ориентируются по генеральному напластованию. Исходя из опыта отработки, параметры оптимальны, в силу устойчивости добычных блоков и бортов, результативности селекции при подборе экскаватором горной массы. Информационный элемент интерпретации – имеющиеся на предприятии архивы фотографий развалов, в основном, анализируемых структурных зон ПВСГ. На отдельных снимках видно, что известняк сверху перекрыт коричневым, сплошным разбивом глинистых слоев № 3 и 4. Масса от области разубоживания ΔP идентифицируется по наклонениям, измененным от геологических. Эта часть вывозится в отвал, так как при подборе экскаватором для погрузки в БЕЛаз изъять нижнюю, сортовую массу без осыпания в нее глины невозможно. Проекционная задача – определить положение геометрически связанных с ΔP границ области формирования сортов ΔV и наметить оптимальную последовательность и направление изъятия ближайших кондиционных объемов.

Геологические проекции областей разубоживания ΔP и формирования сортов ΔV представляют треугольники со смежными острыми углами. И, чем более плоскости отрыва согласны напластованию, тем более вертикальными в срезе развала окажутся контакты и комплексы глин, результативнее селекция при подборке. Особенность предложенного информационного решения – учет в интерпретации типичности геологических, каскадных чередований глина-известняк в зонах ПВСГ.

Обсуждение результатов.

Оценочная система «измерения → детализация развалов → выбор параметров БВР → геометрическая интерпретация фотоснимков → прогноз свойств развалов → отделение сортов и отходов» раскрывается, как методический аппарат сортового планирования. Получена связь свойств масс развалов и засорения в блоках (рис. 6).

Баланс ископаемого на 3 года отработки (19.05 га) уточнен. Добытая горная масса составит ~ 10.45 млн. тонн. Непосредственно из забоев на обогатительную фабрику ОФ будет поставлен известняк с примесями 0 %, 1 % и 5 % в пропорции 1.24 %, 14.61 % и 24.08 %; во внешний отвал будет вывезено 13.61 % (> 25 % глин). Для переработки на КОИ допущено 17.21 % и 29.25 %, в силу очистки имеющегося загрязнения 20.2 % и 25 % до нормы ОФ в 5 %. Размещаемые на отдельном отвале отходы ОФ составят 9.816 %. Продукция чистого CaCO_3 – 69.2174 % (~ 7.233 млн тонн) или от имеющегося в естественном залегании – 87.57 %. Алгоритм позволяет вести расчеты соотношений всех видов горной массы и расстояний перевалки.

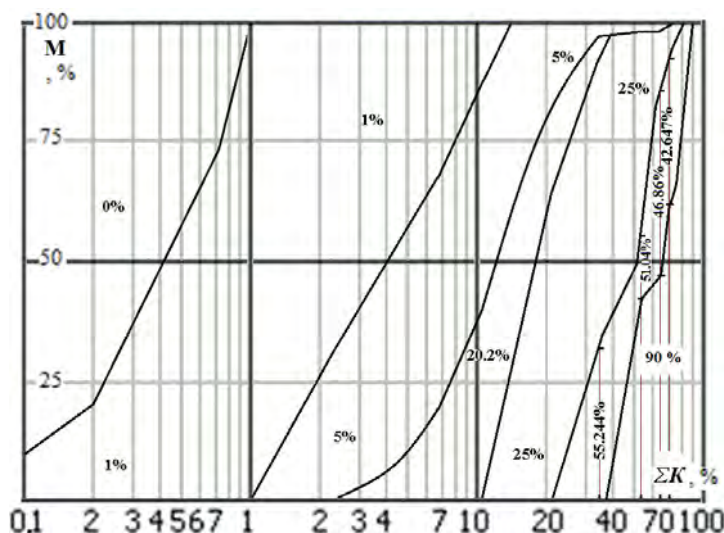


Рисунок 6 – Номограмма связи глинизации развалов и геоблоков $M = f(\Sigma K)$.
Цифры и пропорции по оси M- степень глинизации и доля в развале.

Эффект детализации знаний о локализации глин. Отходы оценки в обмерах – 3.38 (в млн тонн). Отходы детальной оценки – 2.448 (- 0.932). Ресурс CaCO_3 крупной оценки – 6.2083. Реально добытый за 3 года ресурс составит 7.233 (+ 1.0247).

Выводы.

1. Глинизация массива в естественном залегании и факторы, налагаемые нормами содового производства, мотивируют петрофизические измерения по точности не ниже оксид- метрических. На Костанокском участке актуальны оценочные мероприятия, начиная с изучения геоблоков. Инфографика измеренных карт глинистой зональности [7, рис. 1] и моделей развалов (рис. 6) дает основания сезонного планирования за счет количественной интерпретации в предсказании сортовых объемов, которые могут быть переработаны только на КОИ и только в благоприятный и летний период (зимой работа грохота исключена). Перспективно решение второго, важного вопроса в связи с новой информацией в поддержку управления отходами. Получены основания отдельного складирования на внешнем отвале отходов максимального засорения (65 ÷ 90 % глин) и известково-глинистых масс пограничного состава ($45 \geq \Sigma K \geq 25$ %), пригодных в сырьевом использовании в дальнейшем, например, в цементах [15- 16, 18].

2. Предложенный сигнальный алгоритм – инструмент оценки ископаемых обширной территории нахождения на Урале карбонатно-терригенных месторождений. Сопrotivления известняка сравнимой чистоты идентичны измеренным на бокситовом руднике (СУБР). От уровня практически «сухого» известняка в 50 000 – 70 000 Ом.м понижение к уровню 12000- 14000 обусловлено влажностью в области глубин, не затрагиваемой взрывами при отбойке верхних и соседних блоков.

3. Сортовой эскиз контактной электрометрии [7, рис.2] создан на основе теории поля и теории сигналов последних обновлений [12- 13] при современных возможностях вычислений. Наборная система данных о сигналах актуальна в выполненных оксид-метрических решениях и в новых прототипах. Когнитивные подходы [14] дают основания расширения использования полученных данных. В изученных условиях есть понимание достоинств электромагнитных методов, дистанционных и бесконтактных, вплоть до сканирования геоблоков с беспилотных летательных аппаратов, что в будущем обеспечит высокоскоростное проведение работ. При соблюдении приемов расположения линий и профилей, установленных в контактной методике, при учете в изучаемых параметрах инфографики (рисунки) доступен роботизированный прототип в части разведки- один из ожидаемых в планах развития сигнальных оценочных систем.

Результаты петрофизической оценки известняков минеральной базы содового производства подкрепляют идею решений метал- и оксид- метрического анализа на широком перечне магматических и осадочных месторождений на Урале [15- 19]; актуальность нормирования балансов на основе измерений и сигнальных подходов в детальных интерпретационных процессах исследования свойств ископаемых.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (грант № 11-05-00159) и в рамках Государственного задания 007-00293-18-00, тема № 0405-2018-0015.

Библиографический список

1. Типовые методические указания по нормированию потерь твердых полезных ископаемых при добыче/ Госгортехнадзор СССР – М., 1972. – 154 с.
2. Агошков М.И. Основные показатели полноты и качества извлечения полезных ископаемых из недр при добыче. - М.: СФТГП ИФЗ АН СССР, 1970.- 39 с.
3. Шуй Р.Т. Полупроводниковые рудные минералы. - Л.: Недра, 1979. - 288 с.
4. Trewin N. H. Lake-level changes, sedimentation and faunas in a Middle Devonian basin-margin fish bed / N. H. Trewin, R. G. Davidson.- Journal of the Geological Society, 1999.- № 156 (3).- 535–548 p. doi: 10.1144
5. Петрофизика: Справочник. В трех книгах. Книга первая. Горные породы и полезные ископаемые / Под ред. Н.Б. Дортман.- М.: Недра, 1992.- 361 с.
6. Тимохин А.В. Петрофизическая основа применения электрометрии на карбонатных массивах месторождений бокситов (ОАО «СУБР») и магнезитов (ОАО «Комбинат магнезит») / А.В. Тимохин, Ю.В. Лаптев // Горный информационно-аналитический бюллетень.– 2007.- № 3.- С. 267 – 271.
7. Титов Р. С. Структурно-сырьевая оценка засоренности и потенциала извлечения СаСО₃ массива известняка базы содового производства по данным электрометрии (алгоритмы и примеры измерений в металл- и оксид- метрической постановке)) / Р. С. Титов, А. В. Тимохин // «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений»: сборник докладов VIII Международной научной-практической конф. 10-11 апреля 2019 г. – Екатеринбург: УГГУ – 2019. – С. 92-100.
8. Тимохин А. В. Сигнальные свойства легких окислов (ат. № ≤ 20, включая Са) как фактор новых измерительных принципов петрофизики в структурно-сырьевой оценке твердоминеральных ископаемых (на примере уральских месторождений нагорного типа) / А. В. Тимохин // то же – Екатеринбург: УГГУ – 2019. – С. 305-317.
9. Кудряшов А. И. Чаньвинское месторождение известняков / Кудряшов А. И., Фомин В. И., Колесников В. П. – Пермь:[Тип. купца Тарасова], 1999. – 82 с.
10. Байков Б.Н. Снижение потерь и разубоживания руд на карьерах цветной металлургии.- М.: «Недра», 1977.- 296 с.
11. Electrometry in the Structural and Raw Material Assessment of the Limestone Mass of Soda Production and Registration of CaCO₃ Maps (Examples of Petrophysical Measurements for Metal and Oxide Identification) / A. Timokhin, V. Kantemirov, J. Laptev, R.S. Titov, A.M. Yakovlev, M. Kozlova // 15th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2019: Gelendzhik, 2019 (материал размещен в базе EarthDoc- официальном издании EAGE). (Scopus)
12. Овчинников И.К. Теория поля.- М.: Недра, 1978.- 327 с.
13. Семенов А.С. Влияние структуры на сопротивление агрегатов // Материалы ВСЕ-ГЕИ, М.: Геофизика,- 1948.- № 12.- С. 43- 61.
14. Величковский Б. М. Когнитивная наука: Основы психологии познания. М.: Смысл, ИЦ Академия. 2006.
15. Kogel J.E. Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets, and Uses / Jessica Elzea Kogel.- SME papers and articles.- 2006.- ISBN 9780873352338.
16. Wright V.P. A revised Classification of Limestones / V.P. Wright.- Sedimentary Geology, 1992.- № 76 (3–4).- 177–185 p. doi: 10.1016/0037-0738(92)90082-3.
17. Карстогенный режим фильтрации как фактор полезного сигнала электрометрии для регистрации геометрии пустот и сплошности / А.В. Тимохин, Ю.В. Лаптев, В.Д. Кантемиров, Р.С. Титов, А.М. Яковлев // СПб: Инженерная защита.- 2015.– спецвыпуск №1.– С. 116- 126.

18. Shatov A.A. Potential Utilizations of Soda Production Wastes / A.A. Shatov, M.A. Dryamina, R.N. Badertdinov.- Chemistry for Sustainable Development, 2004.- № 12.- 565- 571 p.

19. Геометризация оруденений с применением электрометрии (на примере месторождений огнеупоров и бокситов) / А.В. Тимохин, Ю.В. Лаптев, Р.С. Титов, А.М. Яковлев// Изв. вузов. Горный журнал. – 2012.– № 6.– С. 94- 102.

УДК 622.684:629.3

ОБОСНОВАНИЕ УКЛОНОВ АВТОДОРОГ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЛНОПРИВОДНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ В ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ

ЛЕЛЬ Ю. И.¹, ГЛЕБОВ И. А.², БУДНЕВ А. Б.¹, ИВАНОВА О. А.¹

¹ФГБОУ ВО Уральский государственный горный университет

²ФГБУН Институт горного дела УрО РАН

Аннотация. Рассмотрена методика обоснования оптимальных уклонов автодорог на основании критерия «удельное действие». Проведены расчеты удельного действия для полноприводных автосамосвалов CAT-745C. Оптимальный уклон по критерию удельное действие следует рассматривать как базовое значение, которое рекомендуется принимать при проектировании транспортных систем глубоких карьеров. Окончательное решение по руководящим уклонам следует принимать на основе экономических критериев, учитывающих влияние уклона на технологические параметры горных работ, а также условий безопасной эксплуатации автотранспортных средств. Расчеты следует проводить для конкретных моделей полноприводных автосамосвалов на основе тягово-динамических характеристик.

Ключевые слова: карьер, удельное действие, технические ограничения, уклон автосъезда, полноприводные автосамосвалы, шарнирно-сочлененные самосвалы.

SUBSTANTIATION OF ROAD SLOPES IN THE OPERATION OF FOUR-WHEEL DRIVE DUMP TRUCKS IN DEEP QUARRIES

LEL' YURI IVANOVICH¹ GLEBOV IGOR' ANDREEVICH² BUDNEV ALEKSEJ BORISOVICH¹
IVANOVA OL'GA ANATOL'EVNA¹

¹ Ural State Mining University

² Institute of Mining of UB RAS

Abstract: The method of justification of optimal road slopes based on the criterion "specific action" is considered. Calculations of the specific action for CAT-745C four-wheel drive dump trucks have been performed. The optimal slope according to the specific action criterion should be considered as a basic value that is recommended for the design of transport systems for deep pits. The final decision on guiding slopes should be based on economic criteria that take into account the impact of the slope on the technological parameters of mining operations, as well as the conditions for safe operation of vehicles. Calculations should be made for specific models of four-wheel drive dump trucks based on traction and dynamic characteristics.

Key words: quarry, specific action, technical restrictions, the slope of the roadway, four-wheel drive dump trucks, articulated dump trucks.

Одним из технологических решений по повышению эффективности обработки глубоких карьеров и расширению области применения открытого способа разработки при освоении коренных месторождений алмазов является переход с определенной глубины на вскрытие крутонаклонными автосъездами. Термин «крутонаклонные автосъезды» был впервые применен в трудах института «Якутнипроалмаз» в связи с рассмотрением перспектив использования при обработке глубоких кимберлитовых карьеров специализированных автосамосвалов (гусеничных или полноприводных с шарнирно-

сочлененной рамой), способных работать на уклонах автодорог, значительно превышающих уклоны 8-10%, характерные для автосамосвалов с колесной формулой 4x2 [1]. В связи с конструктивными недостатками и отсутствием серийного производства карьерных гусеничных автосамосвалов в настоящее время в проектах рассматриваются только полноприводные шарнирно-сочлененные автосамосвалы с колесной формулой 6x6, в основном, фирм VOLVO и CATERPILLAR, получивших достаточно широкое распространение в отечественной горной промышленности (табл. 1).

Таблица 1 – Технические характеристики полноприводных автосамосвалов

Производитель	Модель	Объем кузова, м ³	Грузоподъемность, т	Мощность двигателя, кВт	Масса без груза, т	Ширина, мм	K_T	$N_{уд}$, кВт/т
CAT	725C	11,0	23,6	239,0	22,9	2820	0,96	4,50
	730C	13,3	28,0	280,0	23,7	2900	0,83	4,44
	735C	15,0	32,7	337,0	31,0	3300	0,91	4,34
	745C	18,5	41,0	381,0	32,9	3450	0,86	5,10
VOLVO	A25D	11,7	24,0	224,0	21,6	2859	0,90	4,90
	A30D	13,6	28,0	252,0	23,0	2941	0,82	4,97
	A35D	15,2	32,5	289,0	28,3	3208	0,87	4,75
	A40D	16,9	37,0	313,0	31,3	3432	0,85	4,60

Основные преимущества шарнирно-сочлененных самосвалов в использовании крутонаклонных съездов (I до 25...30%) и транспортных берм меньшей ширины по сравнению с автосамосвалами с колесной формулой 4x2, что позволяет увеличить углы наклона нерабочих бортов карьера, сократить дополнительный объем вскрыши от размещения транспортных коммуникаций и повысить экономические показатели открытого способа разработки. В настоящее время на отечественных карьерах имеется ограниченный опыт эксплуатации шарнирно-сочлененных автосамосвалов. В связи с этим остается актуальным вопрос обоснования оптимального уклона автодорог для указанных моделей автотранспортных средств. В соответствии с требованиями действующих СП для автомобилей с колесной формулой 6x6 допускается увеличение продольного уклона в соответствии с данными предприятия-изготовителя, типом и состоянием покрытия, а также техническим состоянием автомобиля [2]. Исследованиями, выполненными ОАО «Белорусский автозавод», рекомендуется ограничивать уклоны автодорог для полноприводных автосамосвалов в реальных карьерных условиях (регионы с выпадением осадков в виде дождя и мокрого снега) условиями сцепления шины с автодорогой ($\varphi = 0,25-0,40$) на уровне 20-22% [3]. Институтом «Якутнипроалмаз» в 2012 г. Проведены успешные опытно-промышленные испытания автосамосвалов CAT-740В в условиях карьера «Удачный» на уклонах автодорог до 24% [4]. Таким образом, теоретическое обоснование и однозначные рекомендации по величине уклонов автодорог для полноприводных автосамосвалов в настоящее время отсутствуют.

В УГГУ разработана методика обоснования оптимальных уклонов автодорог на основании физического принципа наименьшего действия [5]. Принцип наименьшего действия относится к интегральным вариационным принципам механики, согласно которым из всех возможных движений механической системы истинным является то, для которого некоторая физическая величина, называемая **действием**, имеет за время перемещения системы экстремум, обычно **минимум**. Наиболее распространенной формой представления является форма Гамильтона. В указанной форме принцип наименьшего действия утверждает, что из всех возможных траекторий перемещения истинной будет та, для которой действие, равное интервалу от разности между кинетической и потен-

циальной энергией, соответствующих этим траекториям, имеет минимальное значение. Принцип Гамильтона в интегральной форме широко используется не только в механике, но и в других областях физики.

В последние годы принцип наименьшего действия широко применяется для решения прикладных задач механики и термодинамики, в частности, для оптимизации параметров системы «жесткое колесо – деформируемый рельс», моделировании качения деформируемого колеса и др. [6]. С определенными допущениями этот принцип можно распространить на транспортные системы карьеров. В этом случае действие – это физическая величина, представляющая собой произведение количества энергии, расходуемой на перемещение горной массы транспортным средством, и времени его перемещения. Введенное нами понятие удельное действие (D) представляет собой произведение удельных затрат энергии на подъем горной массы транспортным средством на 1 м и времени подъема горной массы на 1 м.

Удельное действие является комплексным физическим показателем, увязывающим энергоемкость и производительность транспортных систем.

Можно записать

$$D = PT, \quad (1)$$

где D – удельное действие, г·с/т·м; P – величина удельных затрат энергии (дизельного топлива) транспортным средством на подъем 1 т горной массы на 1 м, г/т·м; T – суммарное время движения транспортного средства по уклону в грузовом и порожняковом направлениях при подъеме горной массы на 1 м, с.

Преимущества критерия «удельное действие» по сравнению с удельной энергоемкостью (P) и временем движения (производительностью) (T) заключается в его комплексности. Оптимальный уклон по критерию удельного действия должен соответствовать минимальным удельным энергозатратам на подъем горной массы на 1 м при максимальной производительности транспортных средств (минимальном времени движения по уклону в грузовом и порожняковом направлениях).

Тогда удельное действие (D , г·с/т·м) при работе автосамосвалов на подъем горной массы

$$D = \left[\frac{2,725 \cdot 10^{-3} g_n (k_T + 1) \left(\frac{\omega_0}{i} + 1 \right)}{\eta_a} + \frac{g_x}{1000 i G v_{\Pi i}} \right] \times \left[\frac{3,6 (G_a + k_r G) \left(\frac{\omega_0}{i} + 1 \right)}{0,367 N_d k_N \eta_a} + \frac{3,6}{i v_{\Pi i}} \right], \quad (2)$$

где G – грузоподъемность автосамосвала, т; G_a – собственная масса автосамосвала; k_r – коэффициент использования грузоподъемности; k_T – коэффициент тары автосамосвала; ω_0 – коэффициент сопротивления качению; i – уклон участка трассы; η_a – коэффициент полезного действия трансмиссии автосамосвала; g_n – удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя, г/кВт·ч; g_x – удельный расход топлива при движении, порожних автосамосвалов в тормозном режиме, кг/ч; $v_{\Pi i}$ – скорость порожнего автосамосвала на спуске с уклоном i , км/ч; k_N – коэффициент использования мощности двигателя.

Пользуясь указанной методикой, проведем расчет удельного действия для полноприводных автосамосвалов САТ-745С ($G = 41$ т; $G_a = 32,87$ т; $k_T = 0,8017$; $k_r = 1,0$; $g_n = 210$ г/кВт·ч). Скорости на уклонах автодорог со щебеночным покрытием определим по тягово-динамической и тормозной характеристикам автосамосвалов (рис. 1, 2).

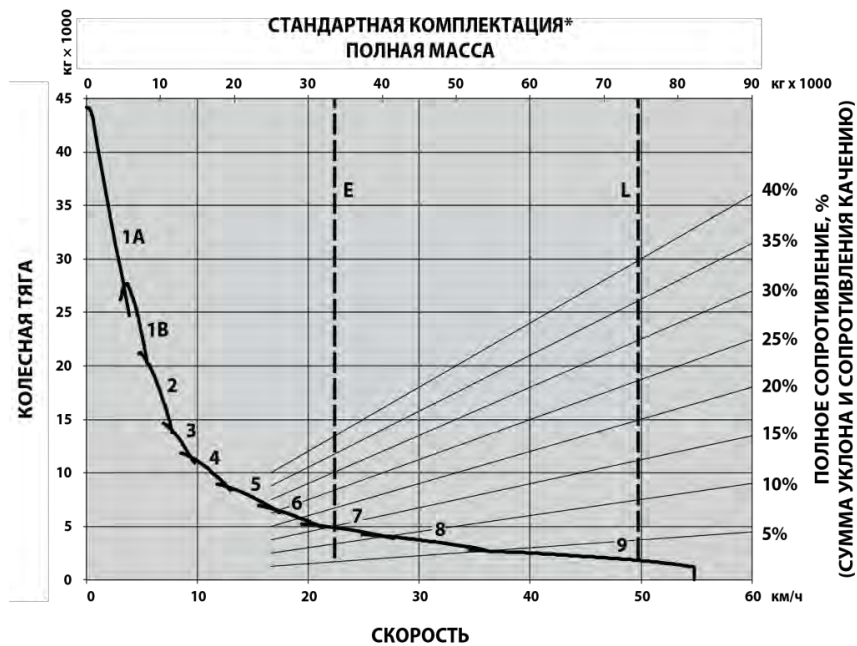


Рисунок 1 – Тягово-динамическая характеристика автосамосвала САТ745С:
 1А – 1-я передача (с приводом гидротрансформатора); 1В – 1-я передача (с прямым приводом); 2 – 2-я передача; 3 – 3-я передача; 4 – 4-я передача; 5 – 5-я передача; 6 – 6-я передача; 7 – 7-я передача; 8 – 8-я передача; 9 – 9-я передача; Е – масса самосвала без груза; L – масса самосвала с грузом

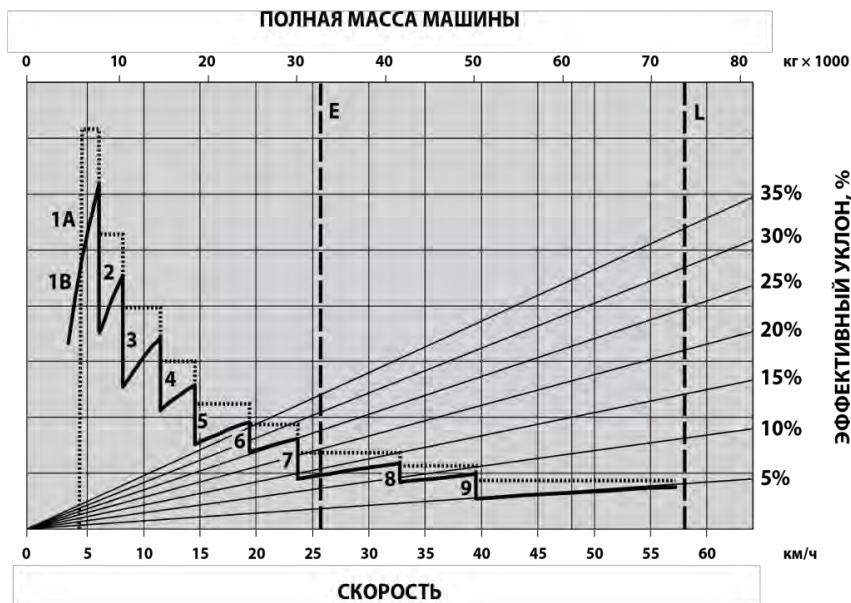


Рисунок 2 – Тормозная характеристика автосамосвала САТ745С:
 1А – 1-я передача (с приводом гидротрансформатора); 1В – 1-я передача (с прямым приводом); 2 – 2-я передача; 3 – 3-я передача; 4 – 4-я передача; 5 – 5-я передача; 6 – 6-я передача; 7 – 7-я передача; 8 – 8-я передача; 9 – 9-я передача; Е – масса самосвала без груза; L – масса самосвала с грузом

В этом случае формулу (2) можно представить в виде

$$D = \left[\frac{2,725 \cdot 10^{-3} g_n (k_T + 1) \left(\frac{\omega_0}{i} + 1 \right)}{\eta_a} \right] \times \left[\frac{3,6}{i v_{Гi}} + \frac{3,6}{i v_{Пi}} \right], \quad (3)$$

где $v_{Гi}$, $v_{Пi}$ – скорости, соответственно, груженого и порожнего автосамосвала, определенные по тягово-динамической и тормозной характеристикам при общем сопротивлении движению $(\omega_0 + 1)$, км/ч.

Выражением $\frac{g_x}{1000 i G v_{Пi}}$ можно пренебречь, т.к. его значение не превышает 2-3% от общего расхода топлива при движении в грузовом направлении. Коэффициент полезного действия трансмиссии (η_a) при известных значениях скоростей рассчитывается по выражению

$$\eta_a = \frac{v_{Гi} (G_a + k_T G) (\omega_0 + i)}{0,367 N_d}, \quad (4)$$

где $v_{Гi}$ – скорость груженого автосамосвала на уклоне i при сопротивлении качению ω_0 , км/ч.

Расчеты произведены при сопротивлениях качению $\omega_0 = 0,02$ и $\omega_0 = 0,04$, характерных для щебеночного покрытия автодорог, и изменении уклона от 0,06 до 0,28.

Установлено, что значение η_a в диапазоне изменения уклонов 0,06 ÷ 0,26 характеризуется относительной стабильностью и варьируется в пределах 0,79 ÷ 0,82. При увеличении уклона с 0,26 до 0,28 η_a снижается до 0,72.

Удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя (g_n) является паспортной величиной, характеризующей фактический расход топлива для получения 1 кВт·ч полезной энергии. Вместе с тем также не является величиной постоянной, а зависит от степени использования мощности двигателя и числа оборотов, которые, в свою очередь, определяются суммарным сопротивлением движению $(\omega_0 + 1)$ [7]. В таблице 2 представлены поправочные коэффициенты ($k_{П}$), учитывающие изменение g_n в зависимости от суммарного сопротивления движению $(\omega_0 + 1)$, которые получены на основании топливной характеристики самосвала.

Таблица 2 – Значения поправочных коэффициентов, учитывающих изменение g_n

$\omega_0 + 1$	0,02	0,04	0,06	0,08-0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32
$k_{П}$	1,08	1,04	1,02	1,0	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10

В технической характеристике автосамосвала даются отклонения g_n от номинальных значений, которые составляют $\pm 10\%$. При значительных нагрузках $[(\omega_0 + 1) > 0,22]$ g_n увеличивается до 10% от номинальных значений.

Оптимальное значение уклонов по критерию удельного действия будет соответствовать условию

$$D \rightarrow \min. \quad (5)$$

Установлено, что для автосамосвалов САТ-745С оптимальное значение уклонов при эксплуатации в карьерных условиях будет находиться в диапазоне 0,18-0,24 (рис. 3).

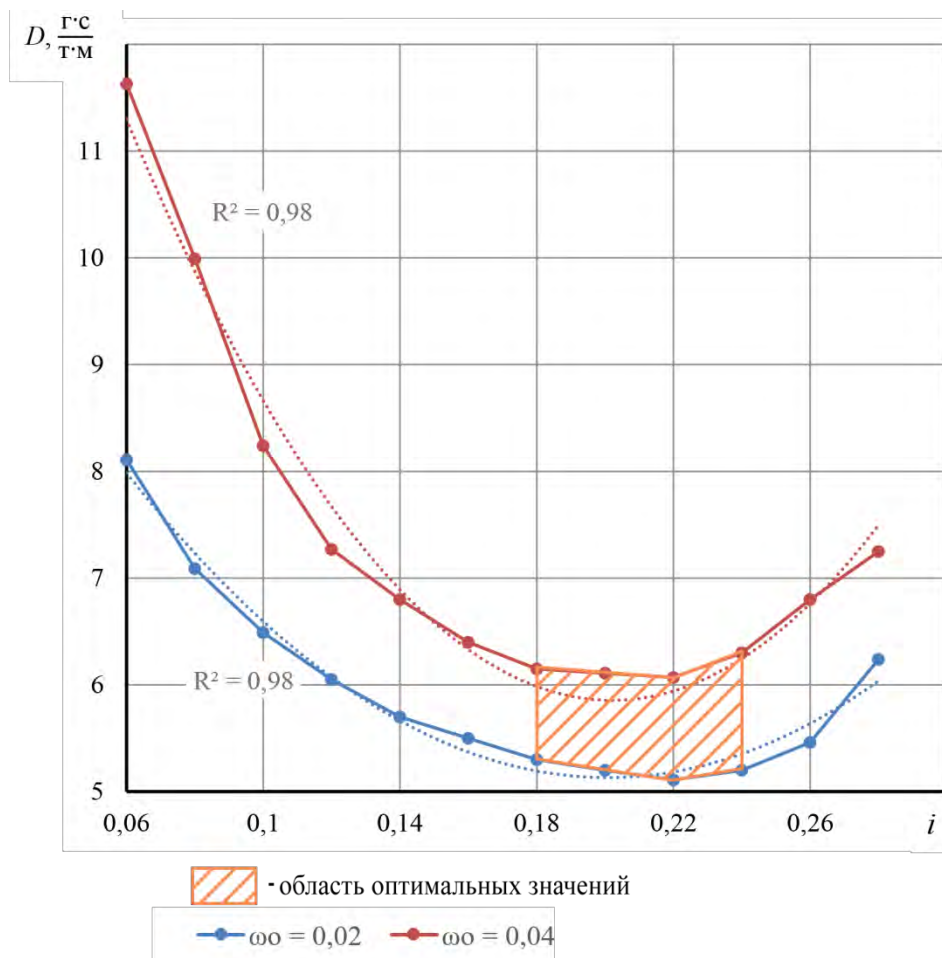


Рисунок 3 – Зависимость удельного действия автосамосвалов САТ-745С от продольного уклона автодороги (i) и коэффициента сопротивления качению (ω_0)

Оптимальный уклон по критерию удельное действие следует рассматривать как базовое значение, которое рекомендуется принимать при проектировании транспортных систем глубоких карьеров. Окончательное решение по руководящим уклонам следует принимать на основе экономических критериев, учитывающих влияние уклона на технологические параметры горных работ, а также условий безопасной эксплуатации автотранспортных средств. Расчеты следует проводить для конкретных моделей полноприводных автосамосвалов на основе тягово-динамических характеристик.

Библиографический список

1. Акишев А. Н. Оптимизация проектных решений по отработке карьера «Юбилейный» / А.Н. Акишев, В.Ф. Костырин // Горный журнал. – 2000. – №7. – С. 33-35.
2. СП 37.13330.2012 Промышленный транспорт. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91* (с Изменениями N 1, 2, 3). Официальное издание. М.: Минрегион России, 2012. – 248 с.
3. Мариев П. Л. Особенности работы карьерных самосвалов в условиях глубоких карьеров и повышенных уклонов / П.Л. Мариев, А.Н. Егоров, В.Т. Войтов // Горный журнал. – 2011. – №10. – С. 63-66
4. Зырянов И. В. Обоснование эффективности шарнирно-сочлененных автосамосвалов в условиях Мирнинского ГОКа АК «АЛРОСА» / И.В. Зырянов, А.И. Цымбалова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №16. – С. 261-269.
5. Лель Ю. И. Обоснование оптимальных уклонов автодорог при разработке нагорно-глубинных карьеров / Ю.И. Лель, Э.В. Горшков, А.И. Ермолаев, Г.А. Ворошилов, Д.Г. Невол

лин, А.С. Довженок // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2012. – № 2. – С. 5-12.

6. Веретенников В. Г. Метод переменного действия: (заметки) / В.Г. Веретенников, В.А. Синецын. М.: Книга по Требованию, 2013. – 174 с.

7. Артамонов М. Д. Теория автомобиля и автомобильного двигателя / М.Д. Артамонов, В.А. Иларионов, М. М. Морин // Учебник для техникумов. М.: Машиностроение, 1968. - 283 с

УДК 622.2

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТИПОВОГО ПРОЕКТА БВР ДЛЯ ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКИ ИЗВЕСТНЯКОВ НА КАШИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

ВАЛИЕВ Н. Г.², КАЗАНЦЕВ Д. В.¹, ЕРМОЛАЕВ А. И.², ТЕТЕРЕВ Н. А.²

¹ ООО «Форес»

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. В статье рассматриваются практические вопросы разработки типовых проектов БВР для карьеров по добыче строительных материалов.

Показано что в проектах разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом, вопросы производства БВР решены недостаточно.

Разработан типовой проект производства взрывных работ для горно-геологических условий Кашинского месторождения известняков в котором учтены все требования при проведении массовых взрывов на земной поверхности.

Ключевые слова: месторождение, взрывная отбойка, типовой проект БВР, массовый взрыв, параметры БВР.

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF A TYPICAL BWR PROJECT FOR EXPLOSIVE BREAKING OF LIMESTONES AT THE KASHINSKY FIELD

VALIEV N. G.², KAZANTSEV D. V.¹, ERMOLAEV A. I.², TETEREV N. A.², ¹ LLC " Fores»

²Ural State Mining University

Abstract: the article deals with practical issues of development of standard BWR projects for quarries for the extraction of construction materials.

It is shown that in projects of development of mineral deposits by open method, the issues of BWR production are not solved enough.

A standard project for the production of blasting operations for the mining and geological conditions of the Kashinsky limestone Deposit has been developed, which takes into account all the requirements for conducting mass explosions on the earth's surface.

Keywords: oilfield, explosive blasting, the typical project drilling and blasting, bulk blasting, drilling and blasting parameters.

Анализ проектов разработки открытым способом месторождений строительного камня на Урале показывает, что в них, как правило, вопросы ведения БВР решаются не в полной мере. Например, в проекте разработки Кашинского месторождения известняков отсутствует классификация горных пород по взрываемости, а это основа любого типового проекта БВР. В результате нет типовых параметров БВР. Неясно также как вести БВР вблизи охраняемых объектов.

Отсюда следует вывод, что на основе данных проекта разработки месторождения полезных ископаемых, подготовить качественный типовой проект БВР не представляется возможным.

Для устранения указанных недостатков был проанализирован опыт производства БВР в аналогичных условиях, учтены результаты экспериментальных взрывов и разработан типовой проект БВР для взрывной отбойки известняков на Кашинском месторождении.

Типовой проект включает:

1. Общие сведения
2. Геологическая, и гидрогеологическая характеристика
3. Основные положения и исходные параметры при проектировании и производстве взрывных работ
4. Расчёт параметров буровзрывных работ
5. Расчёт безопасных расстояний при производстве взрывных работ
6. Конструкции скважинных зарядов, схемы монтажа взрывной сети
7. Порядок подготовки и проведения массового взрыва
8. Основные мероприятия техники безопасности при организации взрывных работ
9. Ликвидация отказавших зарядов
10. Охрана окружающей среды

Основные положения проекта приводятся ниже.

Кашинское месторождение известняков расположено в 4 км к северу от города Богданович Свердловской области.

Площадь месторождения по поверхности составляет 0,93 км², длина с севера на юг составляет 2570 м, ширина: на севере – 360 м, на юге – 210 м, в средней части 350 м, составляя в среднем 307 м. участок работ имеет прямоугольную форму, вытянутую в меридиональном направлении. глубина отработки карьера до горизонта +106 м, изменяясь от 57,6 м (на западе) до 41,2 м (на востоке) в среднем по месторождению составляет 45,5 м. поверхность месторождения относительно ровная с небольшим понижением на восток с абсолютными отметками 166,51 м. (на западе) до 164,23 (на востоке), в среднем по месторождению составляя 165,4 м. учитывая горизонт отработки карьера +106 м, среднюю глубину карьера составит 59,4 м.

Полезная толща Кривинского месторождения сложена органогенными известняками. Выветрелые известняки, представленные глинисто-дресвяно-щебнистыми отложениями, отнесены к вскрышным породам. Карбонатную толщу слагают известняки двух надгоризонтовисетской свиты, среди которых выделяются следующие литологические разности: чистые по химическому составу, доломитизированные, окремненные, известняки обломочные.

Все известняки, слагающие карбонатную толщу характеризуются разнозернистым строением, серой окраской различной интенсивности, иногда с буроватым или коричневым оттенком.

В верхних горизонтах известняки трещиноватые, участками интенсивно трещиноватые, трещиноватость – по площади распространена весьма неравномерно. Кроме того, в известняках месторождения развит поверхностный и внутренний карст.

Известняки в пределах месторождения неоднородные. Средняя плотность известняков в контуре подсчета запасов изменяется от 2,50 до 2,79 г/см³ (единичный случай 2,50 г/см³), средняя плотность по месторождению составила 2,65 г/см³. В пределах горизонтов показатели средней плотности практически равны средним показателям по месторождению.

Таблица 1 – Пределы колебаний физико-механических показателей известняков по горизонтам на Кривинском месторождении

Горизонт, м	Физико-механические показатели								
	Средняя плотность, г/см ³			Водопоглощение, %			Средний предел прочности при сжатии в водонасыщ. состоянии, МПа		
	от	до	среднее	от	до	среднее	от	до	среднее
+156	2,47	2,71	2,65	0,09	2,12	0,55	82,80	98,55	90,68
+146	2,50	2,71	2,65	0,09	1,46	0,53	34,39	130,47	72,16
+136	2,59	2,78	2,66	0,13	1,37	0,86	35,40	96,66	57,56
+126	2,55	2,74	2,66	0,11	2,24	0,83	29,16	84,80	60,96
+116	2,54	2,71	2,66	0,18	2,24	0,56	34,53	117,39	67,06
+106	2,58	2,73	2,66	0,24	1,46	0,55	41,23	56,00	48,61

Таблица 2 – Средние показатели предела прочности в литологических разностях

Разновидности известняков	Количество определений	Предел прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии, МПа		
		мин.	макс.	среднее
химически чистые	77	29,16	130,47	63,34
доломитизированные	15	39,76	96,66	71,01
окремненные	8	39,21	73,87	53,78
обломочные	6	41,23	85,29	61,09
по месторождению	106	29,16	130,47	63,58

Мощность полезной толщи изменяется от 10,0 м до 57,6 м, составляя в среднем по месторождению 45,5 м.

Гидрогеологические условия месторождения определяются в основном динамикой и циркуляцией подземных вод, связанных с водовмещающими породами карбонатной толщи. водоносный горизонт карбонатной толщи имеет свободное зеркало и колеблется в широких диапазонах (от 5 до 50 м), что связано с геологическим строением района и развитием карстовых процессов.

Учитывая физико-механические характеристики пород месторождения, горно-геологические и технологические условия производства БВР, а также опыт ведения взрывных работ в аналогичных условиях горные породы месторождения классифицированы по следующим категориям взрываемости:

Таблица 3 – Распределение горных пород месторождения по категориям взрываемости

Категория пород по взрываемости	Наименование пород	Средняя плотность в целике, т/м ³	Группа пород (грунтов) по СНИП	Коэффициент крепости пород по Протодьяконову	Удельный расход ВВ, кг/м ³
Легковзрываемые I кат.	Затронутые выветриванием известняки	2,65	V-VI	4-6	0,4-0,6
Средне-взрываемые II кат.	Известняки чистые по химсоставу, доломитизированные, окремненные, обломочные	2,66	VII-VIII	7-9	0.6-0.8

Специфическими условиями производства взрывных работ на Кривинском месторождении является близость охраняемых объектов (167 метров от горного отвода до трассы ВОЛП «Богданович-Сухой Лог» и 217 метров до ЛЭП 110 кВ АО «МРСК Урала»).

Сетка скважин –прямоугольная, а для первого ряда возможно бурение наклонных скважин при коэффициенте сближения скважин $t=1,0-1,2$. Количество рядов скважин на блоке не менее четырёх. Основные скважины вертикальные. Линия отрыва после взрывных работ определяется по факту после выемки горной массы.

Главным фактором, определяющим степень дробления, являются удельный расход ВВ и трещиноватость массива. В соответствии с основными решениями, принятыми по технологии, приняты следующие исходные условия для определения параметров ВР.

1. Допустимый максимальный размер (м) кусков исходя из приёмного окна дробильной установки: 700 мм и менее.

2. Высота уступа (подступа) (H_y) при различных горно-геологических условиях принята от 8 до 12 (5-7) м, в зависимости от горизонта работ.

3. Диаметр взрывных скважин 130мм и 110мм

4. Конструкция заряда – сплошной колонковый, в редких случаях рассредоточенный.

5. Взрывание скважинных зарядов – короткозамедленное с применением Неэлектрических систем инициирования с низкоэнергетическими волноводами.

6. Рекомендуемые взрывчатые вещества:

- ЭВВ «Ярит-Н» ТУ 7288–006–86730570–2010 относится к промышленным эмульсионным взрывчатым веществам (ЭВВ) I класса (по классификации, установленной в ФНиП «Правила безопасности при взрывных работах»), не чувствительные к первичным средствам инициирования, предназначенные для ведения взрывных работ на земной поверхности при механизированном зарядании сухих, осушенных и обводненных скважин любой степени обводненности и проточности диаметром не менее 90 мм в диапазоне температур от минус 50°С до плюс 50°С. ЭВВ «Ярит-Н» применяется для взрывного дробления руд и пород, в том числе сульфидсодержащих, крепостью до 14 по шкале проф. М.М. Протодьяконова;

- ЭВВ «Нитронит» производства ООО «АВТ-УралСервис» марок Э-70, Э100 ТУ 7276-003-58995878-2004, также относящийся к промышленным эмульсионным взрывчатым веществам (ЭВВ) I класса (по классификации, установленной в «Единых правилах безопасности при взрывных работах»), не чувствительные к первичным средствам инициирования, предназначенные для ведения взрывных работ на земной поверхности при механизированном зарядании сухих, осушенных и обводненных скважин любой степени обводненности и проточности диаметром не менее 90 мм в диапазоне температур от минус 50°С до плюс 50°С. ЭВВ «Нитронит» применяется для взрывного дробления руд и пород, в том числе сульфидсодержащих, крепостью до 14 по шкале проф. М.М. Протодьяконова;

- Граммониты и гранулиты различных марок;

- Патронированные эмульсионные ВВ;

а также другие промышленные ВМ, допущенные к применению Ростехнадзором.

7. В качестве промежуточного детонатора предусмотрено применение:

- Шашки ДПУ-ПТ 400,600,800, ТУ 7276-151-07511819-2003

- Патроны Аммонита №6 ЖВ диаметром 60-90 мм ТУ 84-1026-84

8. В качестве забойки используется буровой шлам, песок, отсев, либо иной мелкодисперсный материал.

Расчёт параметров буровзрывных работ производился в зависимости от горно-геологических условий участка работ и имеющегося бурового оборудования по методикам, приведенным в технической литературе [1-4].

Исходные данные для расчёта параметров БВР:

- Группа грунтов - V-VIII (СНиП);
 - Коэффициент крепости по шкале профессора Протоdjeяконова– 4-9(в зависимости от горизонта взрывных работ);
 - Высота уступа (подступа) – 8-12 (5-7) метров;
 - Диаметры бурения скважин – 110 мм и 130мм;
- Расчёт вместимости одного метра скважины (шпура)

$$P = \pi \cdot \gamma \cdot d^2 / 4, \text{ кг/м}$$

где d – диаметр скважины(шпура), м; γ – плотность заряжания, кг/м³.

Таблица 4 – Расчетные значения вместимости 1 п.м. скважины в зависимости от диаметра скважины и плотности заряжания

Диаметр скважины, мм	Вместимость 1 п.м. скважины, кг/м					
	$\gamma = 0,85$ т/м ³	$\gamma = 0,9$ т/м ³	$\gamma = 1,0$ т/м ³	$\gamma = 1,1$ т/м ³	$\gamma = 1,2$ т/м ³	$\gamma = 1,3$ т/м ³
110	7,6	8,6	9,5	10,5	11,4	12,4
130	10,2	11,4	12,6	13,9	15,2	16,5

Величина расчетного удельного расхода взрывчатого вещества определялась по формуле:

$$q_p = q_v \times K_{вв}$$

где q_v – расчетный удельный расход (аммонит 6ЖВ, граммонита 79/21) определяется исходя из категории взрываемости известняков; $K_{вв}$ –переводной коэффициент удельного расхода ВВ (коэффициент взрывной эффективности).

Величина преодолеваемого сопротивления W для одиночного скважинного заряда определялась по формуле:

$$W = 0,9 \times (p/q_p)^{1/2}$$

Таблица 5

Диаметр скважины, мм	Вместимость 1 п.м. скважины, кг	Максимальная величина преодолеваемого сопротивления «W», м								
		$q_p = 0,4$	$q_p = 0,5$	$q_p = 0,6$	$q_p = 0,7$	$q_p = 0,8$				
110	8,6	1	3,7	3,4	3,2	3,0				
130	11,4	8	4,3	3,9	3,6	3,4				

Расстояние между скважинами в ряду «а» и между рядами «в» при короткозамедленном взрывании:

$$l_{пер} = 0,5 \cdot q_p \cdot a, \text{ м}$$

$$a = v = m \cdot W, \text{ м}$$

где $m = (0,7 \div 0,95)$ - для средне-взрываемых известняков (II -кат.); $m = (1,0 \div 1,2)$ - для легко-взрываемых известняков (I -кат.).

Глубина перебура определялась по формуле:

$$l_{\text{пер}} = (10-15)d_{\text{зар}}, \text{ м}$$

Глубина вертикальной скважины:

$$L_{\text{скв}} = H_{\text{уст}} + l_{\text{пер}}, \text{ м},$$

где $H_{\text{уст}}$ – высота уступа, м.

Длина забойки и масса заряда в скважине:

$$l_{\text{заб}} = L_{\text{скв}} - l_{\text{зар}}, \text{ м},$$

где $l_{\text{зар}} = Q_{\text{скв}}/P$, м

$Q_{\text{скв}}$ – масса заряда в скважине, определялась по формуле $Q_{\text{скв}} = q \cdot a \cdot v \cdot H_{\text{уст}}$, кг,

Расчёт интервалов замедления

Для обеспечения более интенсивной проработки подошвы уступа, направленной отбойки, равномерного дробления горных пород применяется короткозамедленное взрывание.

Интервал замедления для улучшения степени дробления между скважинными зарядами в ряду определялся по формуле: $T = A_3 \cdot W$, мс.

Коэффициент A_3 зависит от взрываемости пород: $A_3 = 5 - 6$ (мс/м) для легко взрываемых I категории известняков, $A_3 = 3 - 4$ для средне-взрываемых известняков II категории.

Интервал замедления между рядами (в глубь массива) по данным практики применения неэлектрических систем инициирования (НСИ) увеличивается в 1,3- 1,5 раза.

Таблица 6 – Расчетные величины интервалов замедлений

Категория пород по взрываемости	Время замедления, мс в ряду	Время замедления, мс между рядами
I	25-45	35-70
II	20-30	30-45

При использовании НСИ и ДШ расчетные интервалы замедлений округляются до заводских номиналов серий.

В процессе проведения опытных взрывов, возможна корректировка величины интервалов замедлений и других параметров БВР из условия получения качественного дробления известняков, минимальной ширины развала, допустимого разлета кусков горной породы.

Расчетные типовые параметры буровзрывных работ, рассчитаны для эталонного взрывчатого вещества (аммонит 6ЖВ, граммонит 79/21) сведены в таблицы 7-10.

На основе типового проекта БВР разрабатывается проект массового взрыва для конкретных условий в зависимости от категории взрываемости известняков. В таблице параметров взрывных работ приводятся параметры БВР, рассчитанные по вышеприведенной методике для любых типов ВМ, допущенных Ростехнадзором РФ для постоянного применения.

На рис. 1 представлена схема взрываемого уступа и обозначения типовых параметров БВР.

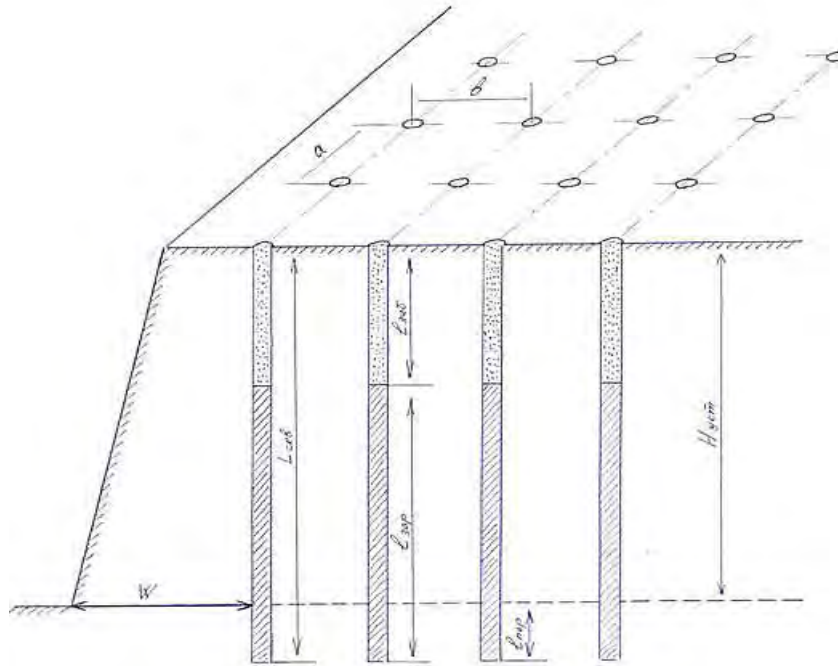


Рисунок 1 – Схема взрываемого уступа.

Таблица 7 – Расчетные параметры вертикальных скважинных зарядов при производстве буровзрывных работ по рыхлению легко-взрываемых известняков I категории
Диаметр скважины – 110 мм

Вместимость 1 п.м. скважины при $\gamma = 0,9 \text{ т/м}^3$ – $P = 8,6 \text{ кг/м}$

Высота уступа, м	Удельный расход ВВ, кг/м ³	Длина перебура, м	Длина скважины, м	Сопротивление по подошве уступа, м	Расстояние между скважинами в ряду, м	Расстояние между рядами, м	Вес заряда, кг	Длина заряда, м	Длина забойки, м	Выход горной массы с одной скважины, м ³
5	0,5	1,0	6,0	3,5	3,5	3,5	30,6	3,5	2,5	61,2
6	0,5	1,0	7,0	3,5	3,5	3,5	36,8	4,3	2,7	73,5
7	0,5	1,0	8,0	3,5	3,5	3,5	42,9	5,0	3,0	85,8
8	0,5	1,0	9,0	3,5	3,5	3,5	49,0	5,7	3,3	98,0
9	0,5	1,0	10,0	3,5	3,5	3,5	55,1	6,4	3,6	110,3
10	0,5	1,0	11,0	3,5	3,5	3,5	61,3	7,1	3,9	122,5
11	0,5	1,0	12,0	3,5	3,5	3,5	67,4	7,8	4,2	134,8
12	0,5	1,0	13,0	3,5	3,5	3,5	73,5	8,5	4,5	147,0

Таблица 8 – Расчетные параметры вертикальных скважинных зарядов при производстве буровзрывных работ по рыхлению легко-взрывааемых известняков I категории
Диаметр скважины – 130 мм

Вместимость 1 п.м. скважины при $\gamma = 0,9 \text{ т/м}^3 - P = 11,4 \text{ кг/м}$

Высота уступа, м	Удельный расход ВВ, кг/м ³	Длина перебура, м	Длина скважины, м	Сопротивление по подошве уступа, м	Расстояние между скважинами в ряду, м	Расстояние между рядами, м	Вес заряда, кг	Длина заряда, м	Длина забойки, м	Выход горной массы с одной скважины, м ³
5	0,5	1,0	6,0	4,0	4,0	4,0	40,0	3,5	2,5	80,0
6	0,5	1,0	7,0	4,0	4,0	4,0	48,0	4,2	2,8	96,0
7	0,5	1,0	8,0	4,0	4,0	4,0	56,0	4,9	3,1	112,0
8	0,5	1,0	9,0	4,0	4,0	4,0	64,0	5,6	3,4	128,0
9	0,5	1,0	10,0	4,0	4,0	4,0	72,0	6,3	3,7	144,0
10	0,5	1,0	11,0	4,0	4,0	4,0	80,0	7,0	4,0	160,0
11	0,5	1,0	12,0	4,0	4,0	4,0	88,0	7,7	4,3	176,0
12	0,5	1,0	13,0	4,0	4,0	4,0	96,0	8,4	4,6	192,0

Таблица 9 – Расчетные параметры вертикальных скважинных зарядов при производстве буровзрывных работ по рыхлению средне -взрывааемых известняков II категории
Диаметр скважины – 110 мм

Вместимость 1 п.м. скважины при $\gamma = 0,9 \text{ т/м}^3 - P = 8,6 \text{ кг/м}$

Высота уступа, м	Удельный расход ВВ, кг/м ³	Длина перебура, м	Длина скважины, м	Сопротивление по подошве уступа, м	Расстояние между скважинами в ряду, м	Расстояние между рядами, м	Вес заряда, кг	Длина заряда, м	Длина забойки, м	Выход горной массы с одной скважины, м ³
5	0,7	1,5	6,5	3,0	3,0	3,0	31,5	3,6	2,9	45,0
6	0,7	1,5	7,5	3,0	3,0	3,0	37,8	4,4	3,1	54,0
7	0,7	1,5	8,5	3,0	3,0	3,0	44,1	5,1	3,4	63,0
8	0,7	1,5	9,5	3,0	3,0	3,0	50,4	5,8	3,7	72,0
9	0,7	1,5	10,5	3,0	3,0	3,0	56,7	6,6	3,9	81,0
10	0,7	1,5	11,5	3,0	3,0	3,0	63,0	7,3	4,2	90,0
11	0,7	1,5	12,5	3,0	3,0	3,0	69,3	8,1	4,4	99,0
12	0,7	1,5	13,5	3,0	3,0	3,0	75,6	8,8	4,7	108,0

Таблица 10 – Расчетные параметры вертикальных скважинных зарядов при производстве буровзрывных работ по рыхлению средне-взрывааемых известняков II категории
Диаметр скважины – 130 мм
Вместимость 1 п.м. скважины при $\gamma = 0,9 \text{ т/м}^3 - P = 11,4 \text{ кг/м}$

Высота уступа, м	Удельный расход ВВ, кг/м ³	Длина перебура, м	Длина скважины, м	Сопротивление по подошве уступа, м	Расстояние между скважинами в ряду, м	Расстояние между рядами, м	Вес заряда, кг	Длина заряда, м	Длина забойки, м	Выход горной массы с одной скважины, м ³
5	0,7	1,5	6,5	3,5	3,5	3,5	42,9	3,7	2,8	61,2
6	0,7	1,5	7,5	3,5	3,5	3,5	51,4	4,5	3,0	73,5
7	0,7	1,5	8,5	3,5	3,5	3,5	60,0	5,3	3,2	85,8
8	0,7	1,5	9,5	3,5	3,5	3,5	68,6	6,0	3,5	98,0
9	0,7	1,5	10,5	3,5	3,5	3,5	77,1	6,8	3,7	110,3
10	0,7	1,5	11,5	3,5	3,5	3,5	85,7	7,5	4,0	122,5
11	0,7	1,5	12,5	3,5	3,5	3,5	94,3	8,3	4,2	134,8
12	0,7	1,5	13,5	3,5	3,5	3,5	102,8	9,0	4,5	147,0

Расчёт безопасных расстояний при производстве взрывных работ.

Радиус опасной зоны массового взрыва по разлету отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов, рассчитанных на разрыхляющее действие, определялся согласно п.831ФНиП «Правил безопасности при взрывных работах» [5].

Определение расстояний, безопасных по действию ударных воздушных волн на застекление при взрывании скважинных зарядов осуществлялось согласно п. 852 - 856 [5].

Определение безопасных расстояний по сейсмическому действию взрыва осуществлялось согласно п. 843 [5].

Библиографический список

1. Нормативный справочник по буровзрывным работам. М., Недра, 1986 г.
2. Справочник взрывника под редакцией профессора, д.т.н. Б.Н. Кутузова (Москва, «Недра», 1988,).
3. Перечень взрывчатых материалов, оборудования и приборов взрывного дела, допущенных к применению в Российской Федерации. Серия 13, выпуск 2. М., ГУП «НТЦ» «Промышленная безопасность», 2002 г.
4. ВСН 281-71/ММСС СССР Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности (издание пятое, переработанное и дополненное). Минмонтажспецстрой СССР 16 ноября 1971 г.
5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности при взрывных работах», утвержденных Приказом №605 Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ от 16.12.2013 и зарегистрированных в Минюсте России 1 апреля 2014 г. N 31796.

БЕЗОПАСНЫЙ СПОСОБ ДОБЫЧИ ИЗВЕСТНЯКА БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ С ПОМОЩЬЮ ГОРНОГО КОМБАЙНА 2500 SM Vario В ЯПОНИИ

РОМАШОВ А. Л.¹, ИЛЬ А. П.²

¹ООО «ВИРТГЕН-ИНТЕРНАЦИОНАЛЬ-СЕРВИС»

² WIRTGEN GmbH

Аннотация. На карьере Убе Иза, расположенном в японской префектуре Ямагути, известняк добывается с 1948 года. Особенности месторождения: карьер расположен вблизи жилого района - близлежащее здание находится всего на расстоянии 150 метров. В связи с этим владелец месторождения Ube Industries поручил компании Okumura Engineering Corporation наладить экологически чистую, не влияющую на окружающую среду добычу известняка. Компания Okumura приняла решение использовать для этих целей карьерный комбайн Wirtgen 2500 SM, а также 2500 SM Vario.

Ключевые слова: Карьер, известняк, горный комбайн, Япония.

SAFE AND VIBRATION-FREE LIMESTONE MINING IN JAPAN WITH THE 2500 SM VARIO SURFACE MINER

ROMASHOV A. L.¹, IHL A.²

¹ OOO WIRTGEN-INTERNATIONAL-SERVICE

² WIRTGEN GmbH

Abstract. Limestone has been mined from the Ube Isa quarry in Yamaguchi, Japan, since 1948. What makes this mine special, however, is that it is located in the immediate vicinity of a residential area – the nearest home is only 150 meters away. This is why Ube Industries, the owner of the quarry, hired Okumura Engineering Corporation to mine the limestone in an environmentally friendly way that wouldn't affect the surrounding area. To achieve this, Okumura made the decision to use Wirtgen's 2500 SM and 2500 SM Vario surface miners.

Keywords: the quarry, Limestone, surface miners, Japan.

Карьер Убе Иза расположен в японской префектуре Ямагути и находится примерно на расстоянии 10 км от всемирно знаменитого национального парка Акиошидай. С 1948 году карьером по добыче известняка владеет компания Ube Industries Ltd.

С годами добыча известняка превратилась в непростую задачу для владельца месторождения компании Ube Industries Ltd. Причина: месторождение окружено жилым массивом. Близлежащее жилое сооружение находится всего на расстоянии 150 метров. «Наличие жилых районов вокруг карьера усложняет нашу задачу, поскольку такие внешние факторы, как сейсмическое воздействие и высокий уровень шума при проведении взрывных работ, оказывают негативное воздействие на живущих поблизости людей. По этой причине границы карьера для добычи пространственно ограничены», - поясняет Томоюки Шодай, исполнительный директор горнодобывающего отдела компании Ube Industries

В прошлом близкое расположение жилого массива не позволило компании расширить границы карьера. Применение традиционного буровзрывного способа

ведения горных работ делает невозможным расширение границ карьера, по причине негативного влияния сейсмических воздействий и сложности прогнозирования их последствий.

Помимо этого, из-за разлёта камней не гарантировалась безопасность местных жителей. По этой причине месторождение известняка невозможно было использовать в полном объеме, что для компании Ube Industries означает потери в несколько миллионов тонн известняка.

Как можно решить данную проблему? Далеко ходить не надо. Карьерные комбайны Wirtgen Surface Miner предназначены для добычи полезных ископаемых без применения буровзрывных работ. Благодаря добыче известняка методом фрезерования упрощаются трудоёмкие процессы добычи и переработки. Выемка, дробление и отсыпка в бурты, выполняются за одну рабочую операцию.

Кроме того, горные комбайны идеально подходят для добычи сырья в сложных геологических условиях, а также для выполнения работ в ограниченном пространстве, как в случае с карьером Убе Иза. Поэтому в 2012 году компания Ube Industries поручила компании Okumura Engineering Corporation разработку карьера. В течение многих лет компания Okumura успешно использует в своей работе горные комбайны компании Wirtgen GmbH. Дополнительно к работающему в карьере с 2012 года горному комбайну 2500 SM, в 2018 году она ввела в эксплуатацию еще одну машину: Wirtgen 2500 SM Vario.

Горные комбайны способны формировать стабильные и крутые углы откосов уступов с узкими бермами безопасности, позволяющие таким образом безопасно расширять границы карьера. Благодаря этому обеспечивается максимально возможная выемка запасов месторождения без потери в неотрабатываемых целиках. «Используя горные комбайны Wirtgen, мы смогли разработать южный участок региона Маруяма. При применении взрывных работ такое невысказано», - отметил Томоюки Шодай. На сегодняшний день граница карьера в направлении жилого района уже расширилась на 10 м. По словам Гаку Ватанабе, управляющего директора Wirtgen Japan, за счет этого срок эксплуатации месторождения значительно увеличился. Японское представительство Wirtgen Group не прекращает оказывать поддержку компании Okumura с самого начала сотрудничества.

Еще одно преимущество горных комбайнов - это центральное расположение фрезерного барабана. Фрезерный барабан установлен близко к центру тяжести машины, что обеспечивает максимальную производительность и точную глубину фрезерования на твердых породах. Результат: однородный материал на выходе и ровная поверхность среза, что позволяет использовать даже строительных самосвалов.

Кроме того добыча горными комбайнами Wirtgen это более экологичный способ по сравнению с традиционным методом применения буровзрывных работ. Безвзрывная технология позволяет снизить уровень пыли и шума. Эксплуатируемый в Убе горный комбайн 2500 SM Vario был специально адаптирован к требованиям клиента. Закрытый корпус фрезерного барабана, а также специально установленные звукоизоляция и система пылеподавления дополнительно обеспечивают снижение уровня пыли и шума при проведении работ вблизи жилого района.

В 2017 году оборудованный фрезерным барабаном шириной 2,5 м горный комбайн 2500 SM использовался в течение 210 дней и смог добыть почти 60 000 тонн известняка на площади 4000 м². Благодаря использованию дополнительного комбайна 2500 SM Variо в 2018 году на карьере было добыто 32 000 м³ известняка. Для сравнения, в 2017 году этот показатель составил всего 22 000 м³.

Горный комбайн 2500 SM Variо особенно подходит для добычи твердых пород, характерных для карьера Убе. Центральное расположение фрезерного барабана, который размещен близко от центра тяжести 135-тонной машины, позволяет ему продвигаться через твердые слои породы. Название Variо горный комбайн получил благодаря нескольким вариантам регулировки управления. Его конструкция позволяет регулировать крутящий момент на валу в соответствии с характеристиками добываемой породы. Таким образом можно предотвратить перегрузку резцов и продлить срок их службы.

Кроме того, комбайн Variо допускает различные скорости вращения барабана, благодаря чему он может приспосабливаться к различным внешним условиям. Прямой привод машины обеспечивает исключительно высокий коэффициент полезного действия. Соединенная с приводом гидромурфта гасит вибрации, отличается низким уровнем износа и требует минимального обслуживания.

Карьерный комбайн 2500 SM Variо был специально усовершенствован с целью повышения безопасности оператора при добыче в карьере Убе. Оператор может управлять машиной, работающей на краю крутого откоса, находясь вне кабины с помощью дистанционного управления. В этом заключается огромное преимущество, особенно если работы ведутся на участке с углом откоса до 70°, поскольку помимо повышенной безопасности машиниста обеспечивается также лучший обзор рабочей площадки.

Изначально на эксплуатируемых на карьере Убе комбайнах компания Okutiga использовала стандартные резцы диаметром 38 мм. Однако, по причине высокой крепости известняка, предел прочности которого при одноосном сжатии составляет 40 - 120 МПа, износ резцов был настолько большим, что было принято решение об использовании резцов с большим диаметром хвостовика.

Компания Wirtgen и в данном случае опять смогла предоставить подходящее решение. Резцы диаметром 42 мм в сочетании с системой сменных резцедержателей NT15 идеально подходит для добычи крепких пород, гарантируя максимальный срок эксплуатации резцов. За счет сменной верхней части резцедержателя время замены резцедержателя значительно сокращается и увеличивая коэффициент готовности машины при добыче известняка.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «50 ЛЕТ ОКТЯБРЯ»

САНДРИГАЙЛО И. Н.¹, АРЕФЬЕВ С. А.¹, ВЕЛИЧКИН Д. Е.¹, СОКОЛОВ В. А.¹
¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. В статье рассмотрен опыт использования карьерных автосамосвалов CAT 777D и CAT 777F на месторождении «50 лет Октября» в Республике Казахстан. Приведены показатели работы автосамосвалов – производительность, длительность простоев, коэффициент технической готовности и т.п. Выполнен анализ причин простоев автосамосвалов на предприятии.

Ключевые слова: медноколчеданное месторождение, карьерный автосамосвал, производительность, простои, коэффициент технической готовности.

EXPERIENCE IN OPERATION OF QUARRY DUMP TRUCKS AT THE FIELD «50 YEARS OF OCTOBER»

SANDRIGAILO I. N.¹, AREFYEV S. A.¹, VELICHKIN D. E.¹, SOKOLOV V. A.¹
¹Ural State Mining University

Abstract. The article deals with the experience of using CAT 777D and CAT 777F dump trucks at the «50 years of October» field in the Republic of Kazakhstan. Given the performance of the trucks performance, downtime duration, the coefficient of technical readiness, etc. The analysis of the causes of dump truck downtime at the enterprise is performed.

Keywords: copper-coal Deposit, dump truck, productivity, downtime, technical readiness coefficient.

Проектная глубина карьера на находящемся в Республике Казахстан месторождении «50 лет Октября» составляет 340 метров. Транспортирование руды на обогательную фабрику и вскрышных пород на внешние отвалы, осуществляется с использованием автосамосвалов [1, 2].

В связи с большой глубиной карьера и увеличившейся дальностью перевозки горной массы существенное значение имеет обеспечение надежной и эффективной работы транспортных машин.

В последние годы на предприятии используются карьерные автосамосвалы Caterpillar CAT 777D и CAT 777F грузоподъемностью 91 т. Они хорошо зарекомендовали себя на многих карьерах мира, включая Россию и Казахстан. Как показывает опыт, двигатели этих машин имеют высокую надежность и характеризуются низким удельным расходом топлива. В установленном на самосвале CAT 777F двигателе CAT C32 применена технология ACERT, обеспечивающая существенное снижение уровня выбросов токсичных веществ. Периодичность технического обслуживания этого 12-цилиндрового двигателя с турбокомпрессором увеличена до 500 часов. Электронная система регулирования давления в муфте сцепления (ЕСРС) обеспечивает плавное переключение. Система передачи данных по электронным каналам Cat Data Link позволяет согласовывать параметры работы двигателя, силовой передачи и тормозной системы с учетом поступающей рабочей информации. Благодаря этому достигаются оптимальные характеристики работы автосамосвала в целом и снижаются затраты на транспортирование горной массы. Улучшены условия работы водителя – на 18% увеличен объем кабины и на 15% больше стало поле обзора.

Основные технические параметры автосамосвалов CAT 777D и CAT 777F приведены в табл.1.

Таблица 1.

Технические параметры автосамосвалов CAT 777D и CAT 777F

Параметры	CAT 777D	CAT 777F
Грузоподъемность, т	90,9	90,9
Вместимость кузова, м ³		
- геометрическая	42,1	41,8
- с «шапкой» (2 : 1 по SAE)	60,1	60,0
Полная масса машины, т	163,29	163,29
Полная мощность двигателя, кВт	746	758
Мощность на маховике, кВт	699	700
Вместимость топливного бака, л	1137	1137
Габариты, мм		
- длина	9780	10528
- ширина	6048	6081
- высота	5147	5185
- высота загрузки	4380	4428

Габаритные размеры автосамосвала CAT 777F приведены на рис. 1.

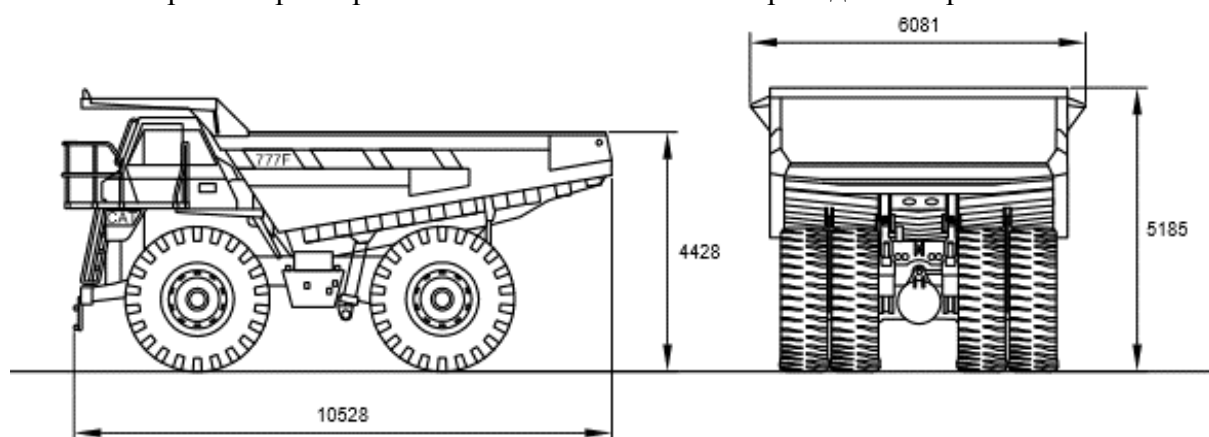


Рисунок 1 – Габаритные размеры автосамосвала CAT 777F

На месторождении «50 лет Октября» работает 21 автосамосвал Caterpillar. Из них 12 машин CAT 777D (с бортовыми номерами с 1 по 12) и 9 машин CAT 777F (с номерами с 14 по 22).

Был выполнен анализ производительности, использования планового времени, коэффициентов технической готовности, а также причин простоев карьерных автосамосвалов CAT 777D и CAT 777F на месторождении «50 лет Октября»

Среднегодовая (за период 2015-2017 г.г.) производительность автосамосвалов, работающих на карьере, приведена на рис. 2.

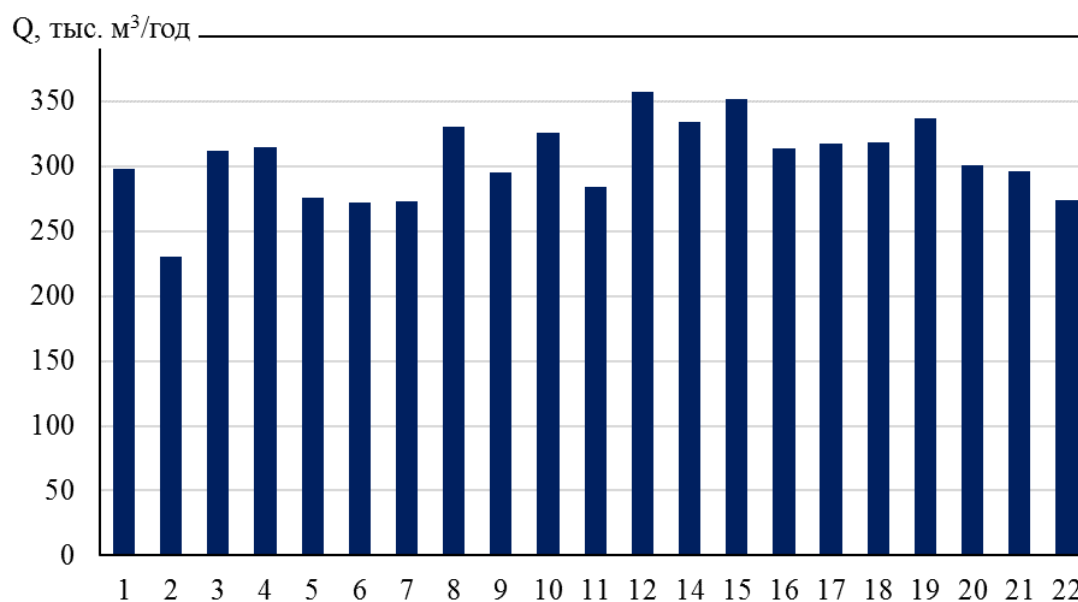


Рисунок 2 – Среднегодовая (за период 2015-2017 г.г.) производительность автосамосвалов CAT 777 (1, 2...21, 22 – гаражный номер автосамосвала)

Дальность транспортирования руды в 2017 году составляла 4,14 км, а вскрыши – 2,52 км. Средняя глубина транспортирования горной массы 220 метров. [3].

Объем перевозки горной массы автомобильным транспортом на карьере колебался по месяцам 2017 года. Причем максимальные месячные объемы отличаются от минимальных на 20-25% (Рис. 3).

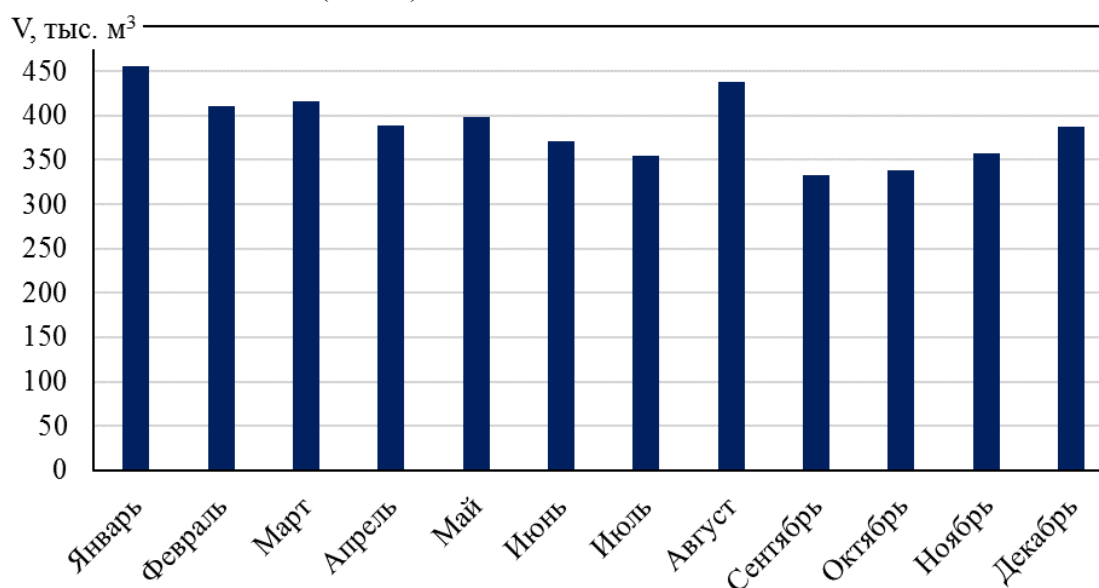


Рисунок 3 – Объем перевозки горной массы автосамосвалами CAT 777 по месяцам 2017 г.

В 2017 году значительную долю планового времени у ряда автосамосвалов составляло время, затраченное на капитальный ремонт. Так, доля времени, в течение которого машина с номером 6 находилась в капитальном ремонте, составила 92% от планового времени, у машины с номером 22 эта доля равна 50% планового времени, а у машины с номером 3 – 30%. Соответственно, время нахождения в работе у машины

номер 6, составляет 5,74% от планового времени, у машины номер 22-20,14% и у машины номер 3 – 43,8%.

Резкое снижение времени нахождения в работе этих автосамосвалов существенно повлияло на их производительность (Рис. 4).

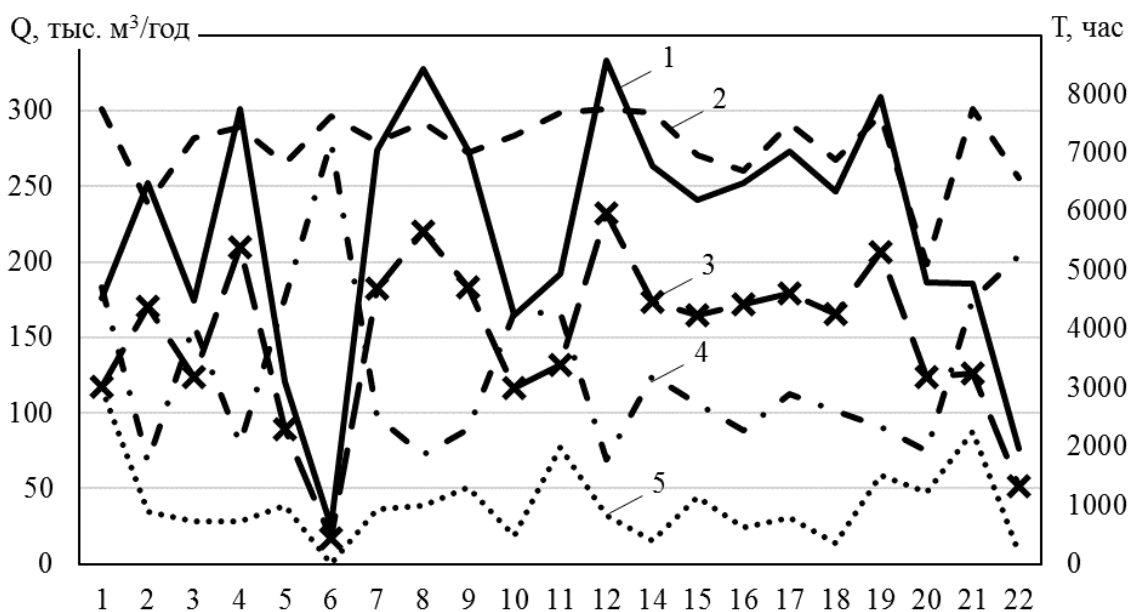


Рисунок 4 – Показатели работы автосамосвалов САТ 777 в 2017 г.

1 – производительность (м³/год), 2 – плановое время (час), 3 – в работе (час),
4 – простои общие (час), 5 – аварийные простои (час)

Как видно из рис.4, ряд самосвалов имели в 2017 году значительные аварийные простои. У машины с бортовым номером 1, их доля составила 38,7%, от планового времени, а у машины номер 11, эта доля равна 19,21%.

Причины и суммарная длительность аварийных простоев автосамосвалов САТ 777 в 2017 г приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Причины и суммарная длительность аварийных простоев автосамосвалов САТ 777 в 2017 г

Причины аварийных простоев	Длительность, час	Доля, %
Ремонт двигателя, турбины, устранение утечки масла	6088	28,5
Ремонт ГМП, КПП, трансмиссии	4392	20,5
Ремонт гидросистемы	2928,5	13,7
Ремонт ходовой, подвески, сцепления, муфты	1871,5	8,7
Шиномонтажные работы, подкачка шин	1765,5	8,3
Ремонт системы охлаждения	1241,5	5,8
Ремонт тормозной системы	681,5	3,2
Ремонт электрооборудования, замена генератора	486	2,3
Ремонт топливной системы	322	1,5
Прочие	1617	7,5
ВСЕГО	21393,5	100

Как видно из таблицы 2 основными причинами аварийных простоев самосвалов САТ 777 на предприятии являются поломка двигателя, турбины, ГМП, КПП и трансмиссии. На них приходится 49% от общей длительности аварийных простоев машин в 2017 году.

С учетом показателей работы автосамосвалов определены значения КИП и КТГ, приведенные на рис.5.

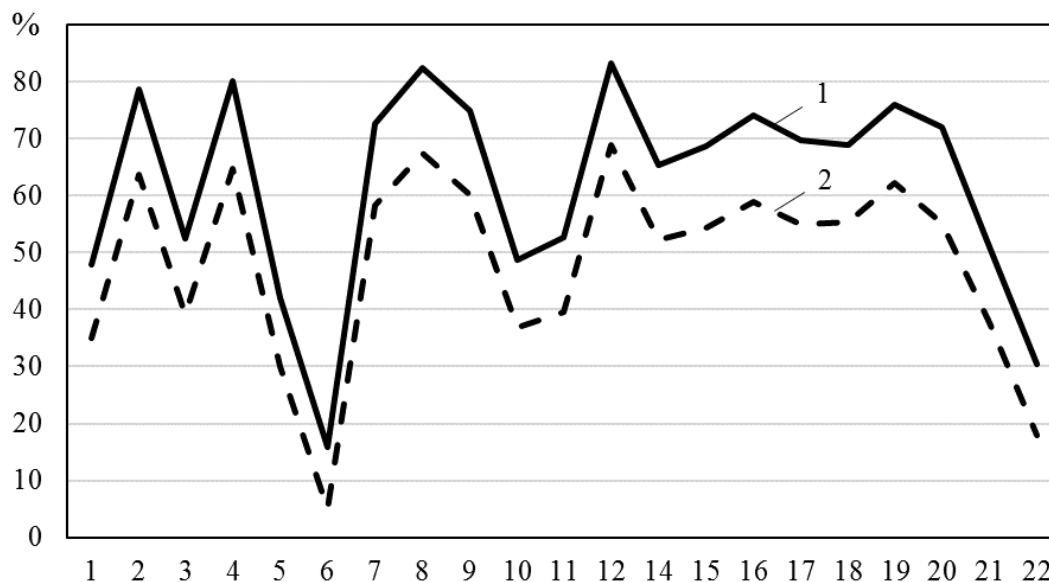


Рисунок 5 – Величина КИП и КТГ автосамосвалов САТ 777 в 2017 г.
1 – КТГ, 2 – КИП

Как отмечалось выше, кроме месторождения «50 лет Октября» автосамосвалы САТ 777 эксплуатируются на ряде других горнодобывающих предприятий России и Казахстана [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Для сравнения в таблице 3 приведены показатели работы автосамосвалов САТ 777 в крупных, глубоких карьерах Ковдорского ГОКа и Соколовско-Сарбайского ГПО.

Таблица 3.

Показатели работы автосвалов САТ 777 в глубоких карьерах

Предприятие	Использование парка автосамосвалов	Производительность автосамосвала, тыс. т/год
Ковдорский ГОК	0,625	863,1
ССГПО	0,780	1385,0

В результате проведенного анализа можно сделать вывод о том, что показатели работы автосамосвалов САТ 777 на месторождении «50 лет Октября» находятся на уровне показателей аналогичных машин, эксплуатирующихся на других горнодобывающих предприятиях, с близкими горно-техническими условиями.

Библиографический список

1. Алтушкин И. А. Реализация стратегии устойчивого развития горно-металлургической компании на примере освоения медных месторождений Республики Казахстан // Горный журнал. 2013. № 4. С. 67-76.
2. Алтушкин И. А., Король Ю.А., Кошик А.А. Опыт освоения медноколчеданного месторождения «50 лет Октября» в Республике Казахстан // Горный журнал. 2013. № 5. С.85-88.

3. Алтушкин И. А., Череповицин А. Е., Король Ю. А. Практическая реализация механизма устойчивого развития в создании и становлении горно-металлургического холдинга медной отрасли России – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2016. – 232 с.

4. Зырянов И. В., Шмидт А. В. Срок полезного использования карьерных автосамосвалов САТ-777D в условиях Нюрбинского ГОКа АК «АЛРОСА» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 7. С. 358-361.

5. Зырянов И. В., Головязин Л. И., Решетников С. В. Продление сроков службы карьерных автосамосвалов САТ-777 различных модификаций в условиях Нюрбинского ГОКа // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 5. С. 41-45.

6. Зырянов И. В., Потапова Е. А. Эксплуатация автосамосвалов особо большой грузоподъемности на Удачинском ГОКе // Горный журнал, № 7-8, 1996, С. 16-19.

7. Зырянов И. В., Цымбалова А. И. Показатели работы технологического автотранспорта на карьерах АК «АЛРОСА» // Горный журнал. 1999. № 5. С. 73-74.

8. Зырянов И. В., Зотов А. А. Определение технико-эксплуатационного уровня карьерных автосамосвалов // Колыма, 1996, № 3, С. 37-43.

9. Рекордные пробеги автосамосвалов САТ 777 на рудниках ЗАО «Золотодобывающая компания «Полюс» // Горная промышленность». 2013. № 1. С. 28.

УДК 658.152

ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБОГАЩЕНИЯ БЕДНЫХ РУД МЕТОДОМ РЕНТГЕНОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ СЕПАРАЦИИ

НИЯЗОВА С. К.¹ РАХМАТОВ А. А.¹ САИДОВ М. К.¹

¹ Горно-металлургический институт Таджикистана, Республика Таджикистан, г. Бустон

Аннотация. В данной статье особое внимание уделено процессу исследований бедных руд, представляющим наибольший интерес с точки зрения их предварительного обогащения. Некондиционные руды амфиболовых роговиков расположенные преимущественно на верхних горизонтах, которые в ближайшее время будут интенсивно изучаться и обрабатываться.

Ключевые слова: рентгенолюминесцентное, бедные руды, рудо сортировка, измельчения, полезные ископаемые, сканирование, амфиболовые роговики.

TECHNOLOGY OF PRE-ENRICHMENT OF POOR ORE BY THE X-RAY LUMINESCENCE SEPARATION METHOD

NIYAZOVA SALOMAT KARIMOVNA¹,
RAKHMATOV ABDUMAVLON AKHMADOVICH¹,
SAIDOV MUSTAFOKHON KARIMOVICH¹

¹Mining metallurgical Institute of Tajikistan

Abstract: This article focuses on the research process of poor ores, which are of the greatest interest from the point of view of their preliminary enrichment. Substandard ores of amphibole hornless located mainly on the upper horizons, which will be intensively studied and mined in the near future.

Key words: X-ray luminescent, poor ore, ore sorting, shredding, minerals, scanning, amphibole hornless.

Во вскрышу при открытых горных работах попадают миллионы тонн пород с повышенным содержанием ценных компонентов, часть из которых пригодна для предварительного обогащения методом рентгенолюминесцентной сепарации (РЛС). Впервые этот метод для некондиционных руд апробирован в 1984 году.

Для исследования разделительных признаков руд, отработки режимов кусковой сортировки, определения показателей сепарации и испытания образцов сортировочной техники при Центральной научно-исследовательской лаборатории в 1985 г. Создан полигон, которой в процессе создания сепараторов оснащался более совершенным оборудованием. В настоящее время исследователи располагают рентгенолюминесцентными сепараторами, способными сортировать горную массу крупностью от 20 до 200 мм.

Особое внимание в процессе исследований уделялось бедным рудам, представляющим наибольший интерес с точки зрения их предварительного обогащения. Так, некондиционные руды амфиболовых роговиков расположенные преимущественно на верхних горизонтах, в ближайшее время будут интенсивно обрабатываться. Возможность применения рентгенолюминесцентной сепарации для предварительного обогащения бедных вольфрамитсодержащих руд амфиболовых роговиков. Установлено, что эти руды являются контрастными, показатель контрастности изменяется в пределах от 0,7 до 1, а наиболее подходящим для условий сепарации является класс 25-50 мм.

Более поздними исследованиями комбината на более крупных пробах определено, что для предварительного обогащения методом рентгенолюминесцентной сепарации рентабельны некондиционные амфиболовые роговики с содержанием триоксида вольфрама (WO_3) 0,67 – 1 от бортового. Из них можно выделить около 70 % хвостов с отвальным содержанием WO_3 и получить рудный продукт, обогащенный в 2,5 – 2,8 раза полезными компонентами по сравнению с исходной рудой, при этом извлечение WO_3 не ниже 60%. В амфиболовых роговиках с содержанием WO_3 ниже 0,64 от бортового резко уменьшается показатель контрастности, снижается выход обогащенного продукта и извлечение полезного компонента в обогащенный продукт. Кроме того, коэффициент обогащения в этом случае не превышает 1,5 – 1,9. Ограничения по содержанию WO_3 снижают объемы амфиболовых роговиков, которые могут быть подвергаться рудосортировке, поэтому вопрос оперативного вовлечения в добычу амфиболовых роговиков не может быть решен в отрыве от организации массового опробования взрывных скважин с последующим выделением контуров и селективной выемки горной массы, пригодной для сепарации.

Кроме амфиболовых роговиков исследованиям подвергались сканированные мраморы различных участков месторождения и горная масса из отработанного подземным рудником пространства. Для сканированных мраморов юго-западного фланга рудного тела характерны сравнительно низкие (часто ниже кондиции) содержания триоксида вольфрама и высокое (72% - 85%) содержание кальцита, что не позволяет проводить их флотация без предварительного обогащения. Оруденение в сканированных мраморах представлено штокверком скарновых прожилков различной мощности и состава, содержащих главные рудные минералы – шеелит, молибдошеелит, молибденит. Анализ результатов исследований показывает, что с помощью рентгенолюминесцентной сепарации из сканированных мраморов юго – западного фланга класса – 50 + 25 мм возможно выделение до 77 % хвостов со средним содержанием триоксида вольфрама 0,013% и повышение в обогащенном продукте содержания полезных компонентов окиси вольфрама и молибденита примерно в 3 раза. При этом среднее извлечение триоксида вольфрама составляет 75 %. В этом рудном теле молибденит в основном связан со скарновыми вольфрам содержащими прожилками и поэтому хорошо извлекается в обогащенный продукт.

В хвостах сепарации содержания молибдена не превышает 0,011%, а в рудном продукте по сравнению с исходным содержанием молибдена увеличивается в 3,1 раза. При этом среднее извлечение валового молибдена составило 70,5%.

В процессе исследований перспективных типов руд для сепарации делался упор на комплексное изучение особенностей оруднения, рентгенолюминесцентных свойств и распределения ценных компонентов в кусках, представленных рудной составляющей и вмещающими породами. По типам исходной для сепарации горной массы разрабатывались способы повышения рентгенолюминесцентной контрастности рудной и породной составляющих.

Особую сложность для сепарации представляет горная масса отработанного подземным рудником пространства, большие объемы которой ежегодно включаются во вскрышу карьера.

Горная масса представляет собой механическую смесь рудных скарнов, сканированных мраморов и ряда разубоживающих пород (в различной мере люминесцируют в рентгеновских лучах). Для сортировки горной массы из обрушенного пространства подземного рудника разработана специальная технология рудоподготовки и режимы сепарации. Тем не менее, результаты кусковых исследований и минералогический анализ продуктов сортировки показали, что возможности сепарации по полноте и качеству выделения полезного компонента в обогащенный продукт значительно шире и в основ-

ном сдерживаются не в полной мере раскрытыми возможностями разделительного признака и несовершенными алгоритмами обработки сигналов люминесценции.

С высокогорьем связаны повышенные ионизация воздуха, солнечная радиация, разряжение воздуха, что в сочетании с запыленностью, повышенной влажностью и вибрацией в значительной мере усложняет надежность работы пусковой, электронной аппаратуры и рентгенотехники. Конструкция сепаратора Шеелит предусматривает дополнительное грохочение исходной массы перед сепарацией и защиту оптических деталей от пыли. В то же время проблема замельчения сепарационного класса и отвода пыли до конца не решена.

В настоящее время проводятся работы по проектному решению задач более строгой классификации и пылепоглощению.

Другой проблемой рудоподготовки является низкий выход сепарационного класса. По разным типам руд выход сепарационного класса – 50 +20 мм колеблется от 27 до 35%. Горная масса размером – 20 мм в зависимости от физико – механических характеристик вмещающих пород и типа оруднения может обогащаться полезными компонентами в мелких классах они объединяются с обогащенным продуктом. Довольно часты случаи, когда локализация полезных компонентов связана со слабыми вмещающими породами и приходится сталкиваться с обеднением мелких классов ценными компонентами. В данном случае мелкие не сепарационные классы направляются в хвостовой продукт. Выход мелких классов колеблется от 28 до 32 %. Фракции крупностью более 50 мм в настоящее время на сепарацию не принимаются. Для повышения выхода сепарационного класса они направляются на повторное дробление, в процессе которого кроме сепарационного класса наблюдается дополнительный выход мелких не сепарационных классов.

Особенностью технологии рентгенолюминесцентной сепарации на дробильное – сортировочном узле рудника открытых горных работ является ее безотходность так как хвосты сепарации используются для ремонта внутрикарьерных автомобильных дорог, а при увеличении объемов сепарации хвостовой продукт будет использоваться для приготовления закладочного материала.

Библиографический список

1. Лагов Б. С., Терещенко С. В., Кайтмазова Т. И., Юрьев В. И., Вальщиков А. В. Поисковые исследования по радиометрической сепарации бедных апатитовых руд Хибинского массива // Лабораторные и технологические исследования обогащения минерального сырья. Отечественный производственный опыт. - 1984. - № 5. - С. 8-15.

2. Горобец Б. С., Терещенко С. В. Использование Mn^{2+} центров рентгенолюминесценции в качестве разделительного признака при обогащении апатитовых руд Хибин // Научно-технические достижения и передовой опыт в области геологии и развития недр. - 1992. - № 4. - С. 57-58.

3. Терещенко С. В. Основные положения теории люминесцентной сепарации минерального сырья. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. - 145 с.

4. Терещенко С. В., Денисов Г. А. Теория и практика радиометрических методов опробования, сортировки и сепарации руд: учебное пособие. - Апатиты: Изд-во Кольского филиала Петрозаводского университета, 2007. - 248 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ МИКРОННОГО ЗОЛОТА МЕТОДОМ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ГЛИНИСТОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

УСОВ Г. А.¹, ФРОЛОВ С. Г.¹, ХЛЫНОВА Т. В.¹, ШАЙХУТДИНОВ Д. И.¹
¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. В статье рассмотрена проблематика переработки заглинизированных россыпных месторождений и техногенных отвалов содержащих микронное золото. Предложена технология и техника для обогащения микронного золота на данных типах месторождений. Кратко описан технологический процесс и новое оборудование для рудоподготовки при обогащении микронного золота.

Ключевые слова: заглинизированные россыпные месторождения благородных металлов и техногенные отвалы, новая технология обогащения микронного золота, эффекты кавитации, гидравлического удара, ультразвуковой обработки.

TECHNOLOGY OF MICRON GOLD ENRICHMENT BY DISPERSION OF THE CLAY COMPONENT OF THE HOST ROCKS

USOV G. A.¹, FROLOV S. G.¹, KHLINOVA T. V.¹, SHAIKHUTDINOV D. I.¹
¹Ural State Mining University

Annotation. The article deals with the problems of processing zaglinized placer deposits and man-made dumps containing micron gold. The technology and technique for the enrichment of micron gold on these types of deposits is proposed. The technological process and new equipment for ore preparation during micron gold enrichment are briefly described.

Keywords. Blocked placer deposits of precious metals and man-made dumps, new technology of micron gold enrichment, effects of cavitation, hydraulic shock, ultrasonic processing.

Заглинизированные месторождения благородных металлов и прежде всего техногенные россыпи, как объекты промышленной переработки в последние годы привлекают все большее внимание и подвергаются кардинальной переоценке в связи с двумя тенденциями. Одна из них состоит в появлении новых технологий и новых обогатительных аппаратов, позволяющих значительно поднять извлечение или улучшить экономические показатели переработки сырья, относившегося ранее к забалансовому по содержанию золота или по технологическим причинам. Вторая тенденция заключается в неуклонном снижении среднего содержания золота в балансовых запасах золота целиковых россыпей при одновременном росте удельных затрат на горно-капитальные и горно-подготовительные работы [1,2].

Ресурсный потенциал техногенных золотосодержащих объектов в России оценивается в 55–60% от добытого в стране золота. По современным оценкам и многочисленным литературным данным, старательские артели, использующие традиционные промысловые приборы, теряют от 20 до 50% золота. Многочисленными исследованиями рядом научных коллективов и производственных организаций, установлено, что доля мелкого и тонкого золота в техногенных отвалах, как правило, преобладает над крупным и составляет до 90% общего количества.

Ресурсы микронного золота только в техногенных россыпях РФ оцениваются в несколько тысяч тонн. Основные потери при добыче россыпного золота приходятся на тонкое, пластинчатое и дисперсное. На предприятиях региона эту проблему в основном решают путем совершенствования традиционных технологических схем: применением

шлюзов мелкого наполнения; отсадочной технологии; центробежной сепарации. Однако, реализация этих направлений не решает проблемы извлечения тонкодисперсного золота [3,4].

Авторами статьи предлагается новая технология обогащения тонкодисперсного золота на базе высокоэффективной измельчительной техники использующей эффекты: кавитации, гидравлического удара, ультразвуковой обработки и др. На сегодняшний день высокоэффективная измельчительная техника данного типа в процессах обогащения микронного золота по ряду причин не используется.

Малогобаритный обогатительный комплекс “МКО-2М” (рис.1.) оснащен измельчительной техникой работающей в гидродинамическом режиме с использованием эффекта кавитации и наиболее подходящим для решения данных задач центробежным концентратом с плавающей постелью.

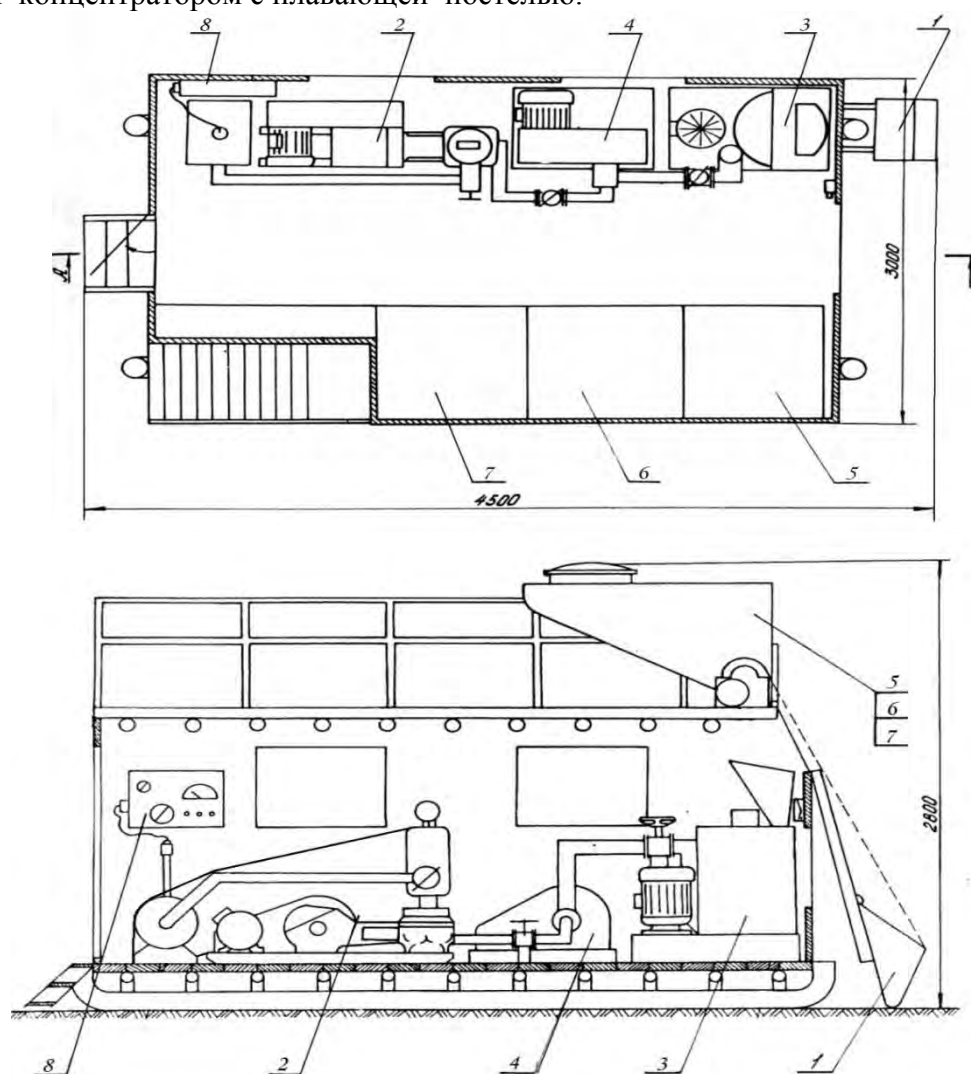


Рисунок 1 – Передвижной малогабаритный комплекс “МКО-2М” обогащения микронного золота: 1-скреперная лебедка; 2- роторная мельница “ММР-2”; 3- малогабаритная щеточная мельница “ММЩ”; 4- перекачивающий насос; 5,6,7- центробежный концентратор “ЦКПП-120”; 8 - пульт управления.

Все машины агрегатного отсека установки, осуществляющие процесс приготовления золотосодержащей тонко дисперсной пульпы и ее обогащения смонтированы в единую технологическую линию, содержащую скреперную лебедку 1, многосекцион-

тате чего основная часть микронного золота уходит в отвалы, образуя предварительно хорошо подготовленные скопления исходного материала для вторичного доизвлечения микронного золота. По новой технологии вся глина на поверхности песчинок содержащая микронное золото проходя через высокоэффективные машины мокрого измельчения распускается до коллоидного состояния и освобождает микрочастицы золота, которые в дальнейшем улавливаются в специальных центробежных концентраторах.

Многосекционная роторная мельница «ММР-2» (рис.3.) необходима в данной технологии для повышения степени измельчения и однородности твердой фазы при приготовлении золотосодержащей суспензии и предварительного измельчения крупных кусков исходной твердой фазы. Производительность данной мельницы выше известных в 2-2,5 раза и более (в зависимости от числа секции корпуса). Она обеспечивает быстрое и качественное приготовление больших объемов глино-золото-песчаной суспензии, а более эффективный процесс измельчения в мельнице сокращает расход электроэнергии в 1.2-1.3 раза.

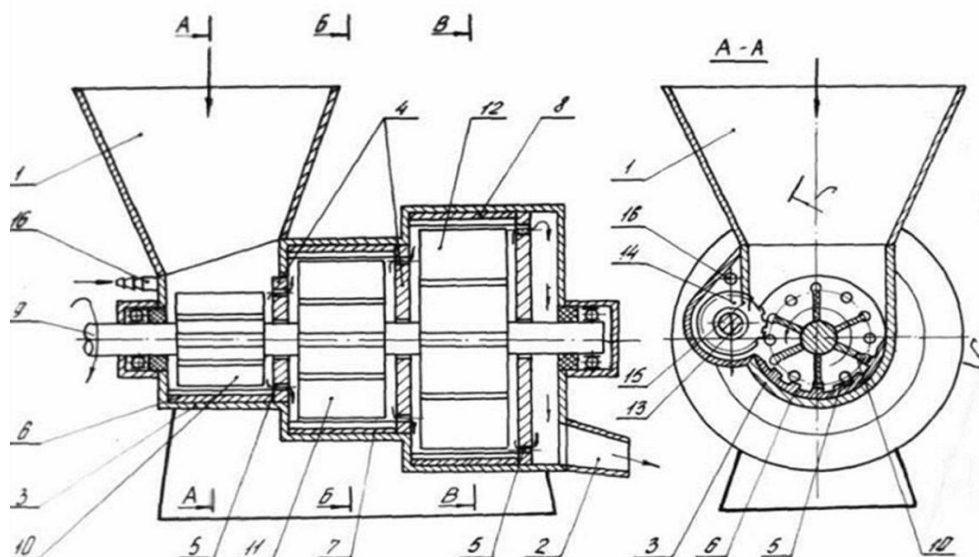


Рисунок 3 – Конструктивная схема роторной мельницы «ММР-2».

Работает мельница «ММР-2» следующим образом: исходный материал непрерывно подается в загрузочный бункер 1, одновременно в мельницу подается жидкая фаза. Крупные куски твердого материала проходят предварительное измельчение на более мелкие фракции между дисками 14 и лопастями 10 первой ступени ротора, т.е. предварительное измельчение твердой фазы невозможно без вращения ротора. При этом за счет свободного поворота дисков на оси 13 и наличия на них зубцов (или выступов) может происходить смена режущих кромок в зазоре между дисками 14 и лопастями 10. Отсюда, в процессе измельчения участвуют все режущие кромки, расположенные по окружности дисков, и длительное время они остаются острыми, не затупляются из-за их значительной протяженности.

Вращаясь, диски 14 одновременно очищаются зубьями гребенки 15. Струя жидкости, истекая под давлением из сплошной щели трубопровода 16, дополнительно промывает диски. Дисками, очищенными от кусков налипшего или застрявшего между ними твердого материала, производится наиболее эффективно предварительное измельчение. Независимое друг от друга свободное вращение дисков обеспечивает наилучшее прохождение и измельчение более крупных кусков твердого материала.

Пройдя стадию предварительного измельчения, твердая фаза продолжает измельчаться лопастями 10 о ребристую поверхность ударной плиты 6. Затем полученная в первой секции корпуса 3 крупнодисперсная пульпа под действием центробежных сил (а значит и давления пульпы), возникающих во вращающемся потоке, по сквозным отверстиям 5, расположенным в боковой стенке 4, поступает во вторую секцию. Во второй и последующей секциях крупнодисперсная пульпа претерпевает более тонкое измельчение, после чего готовая суспензия по отводному лотку 2 выводится наружу. Малый диаметральный размер первой секции корпуса 3 позволяет увеличить силовое усилие лопасти для раздавливания твердых комков исходного продукта измельчения, и наоборот увеличение размеров последующих секции обеспечивает лучшее измельчение твердой фазы крупнодисперсной пульпы при больших окружных скоростях движущегося потока пульпы в зонах измельчения (находящихся между ребристой поверхностью ударных плит 7,8 и периферийными кромками лопастей 11,12). Последовательное измельчение в первой, второй и третьей секциях позволяет получить суспензию однородную по фракционному составу и значительно повысить степень измельчения ее твердой фазы.

Техническая характеристика многосекционной роторной мельницы «ММР-2».

Исходный материал	глины, суглинки, заглинизованные пески
Крупность кусков исходного материала (в поперечнике), мм	до 15
Производительность, м ³ /час	до 30
Частота вращения лопастного ротора в минуту	1000
Диаметр лопастного ротора, мм:	
первой ступени	30
второй ступени	50
третьей ступени	70
Длина лопастного ротора, мм	1100
Потребляемая мощность, кВт	20
Габаритные размеры, мм:	
Длина	200
Ширина	1600
Высота	1050
Масса (без электродвигателя), кг	620

Разработанная авторами и используемая в обогатительном комплексе щеточная мельница «ММЦ» отличается от других измельчительных устройств механического типа тем, что процесс измельчения золотосодержащего глиноматериала осуществляется за счет непрерывного разрушения его поверхностного слоя щеткой ротора. Как показали теоретические расчеты, затраты энергии на измельчение глиноматериала в мельницах со щеточным вооружением ротора гораздо ниже, чем в мельницах с лопастным ротором, где процесс разрушения материала носит объемный характер.

Конструктивная схема разработанной щеточной мельницы представлена на рис.4. Мельница состоит из вертикального цилиндрического корпуса 1 с приемным бункером 2 и выходным каналом 3. Цилиндрические стенки внутри полости корпуса 1 покрыты футеровкой 4. По оси в корпусе 1 размещен ротор 5, выполненный в виде щетки 6, охватывающий вал 7 ротора 5 по всей длине. Между валом 7 и щеткой 6 ротора 5 выполнен кольцевой канал 8. В его нижней части соосно с валом 7 установлена потоконаправляющая труба 9 с окнами 10, закрепленная с корпусом 1. Вал ротора 5 снабжен шнеком 11, расположенным внутри потоконаправляющей трубы 9.

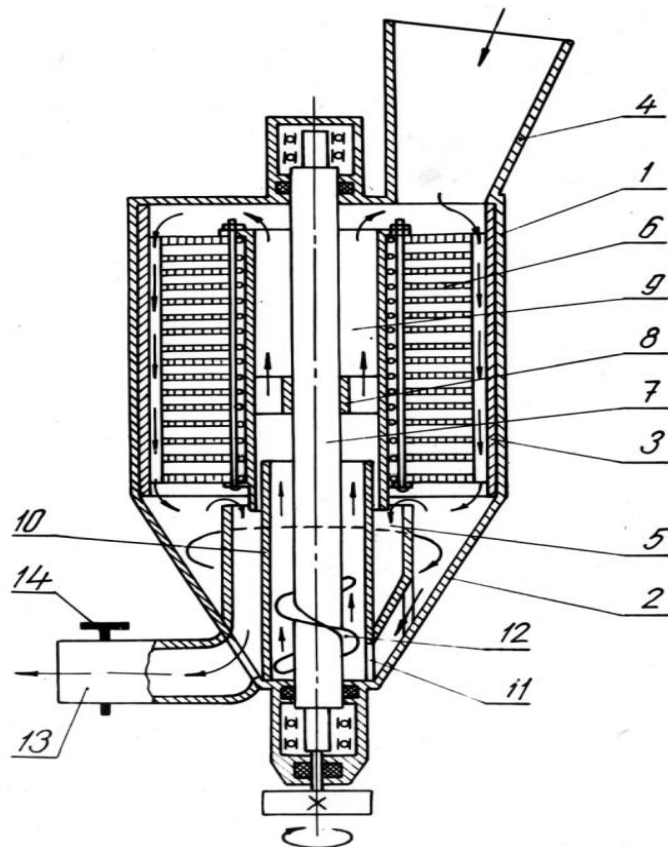


Рисунок 4 – Схема щеточной мельницы “ММЩ”.

Техническая характеристика мельницы “ММЩ”

Вид материала.....	заглинизованные пески
Линейный размер частиц ,м: исходная.....	10 ⁻²
Минимальная.....	10 ⁻⁶
Производительность, м ³ /ч.....	105
Мощность, кВт*ч.....	12,5
Скорость вращения ротора, рад/с.....	104,86
Габариты рабочего органа, м: диаметр.....	0,48
длина.....	0,60
Габариты шнекового устройства, м: диаметр.....	0,15
длина.....	0,35
шаг винта шнека.....	0,07
Габариты мельницы, мм: длина.....	1500
ширина.....	1000
высота.....	1800
Масса, кг.....	450

Мельница работает следующим образом. Во внутрь корпуса 1 через приемный бункер 2 производится непрерывная подача твердой и жидкой фазы приготавливаемой золотосодержащей пульпы. Перемещаясь в корпусе 1 сверху вниз глиноматериал подвергается разрушению и одновременно перемешивается с жидкой фазой под воздействием щеток 6 вращающегося ротора 5. В нижней части корпуса 1 мельницы происходит разделение потока приготавливаемой промывочной жидкости. Приготовленная жидкость (глиноматериал измельчен до частиц заданного линейного размера) отводит-

ся из корпуса 1 через выходной канал 3. Недостаточно измельченные частицы твердой фазы, линейный размер которых больше задаваемого, осаждаются в нижней части корпуса 1 мельницы. Отсюда они подхватываются движущимся потоком жидкости, который создается шнеком 11 и перемещаются через окна 10 по полости потоконаправляющей трубы 9 и кольцевому каналу 8 к верхнему пространству корпуса 1, т.е. в исходное положение.

Разработанная конструкция щеточной мельницы позволяет производить разделение измельчаемого золотосодержащего заглинизованного песка по фракциям и выводить из рабочей полости готовую золотосодержащую пульпу с частицами твердой фазы в виде песка, распустившейся до коллоидного состояния глинистой фракции и несвязными частицами микронного золота.

Основным узлом в части непосредственного выделения тонкодисперсного золота выбран стандартный наиболее совершенный центробежный концентратор с плавающей постелью марки “ЦКПП-120” (рис. 5). Чаша концентратора выполнена из эластичного материала, а сам концентратор снабжен устройством для деформации стенки чаши в виде роликов, установленных снаружи чаши в непосредственном контакте с ней. Из-за давления роликов чаша имеет форму треугольника со сглаженными углами. При вращении эластичная чаша из-за контакта с роликами постоянно меняет форму. Именно это обеспечивает дополнительное разрыхление материала. Производительность “ЦКПП-120” по пульпе составляет 15 м.куб/час, по твердому – 3 т/час. Объем снимаемого концентрата – л. 140-170. Гидропривод при рабочем давлении 4,5-6 атмосфер расходует воды 50-80 м.куб/час [3].

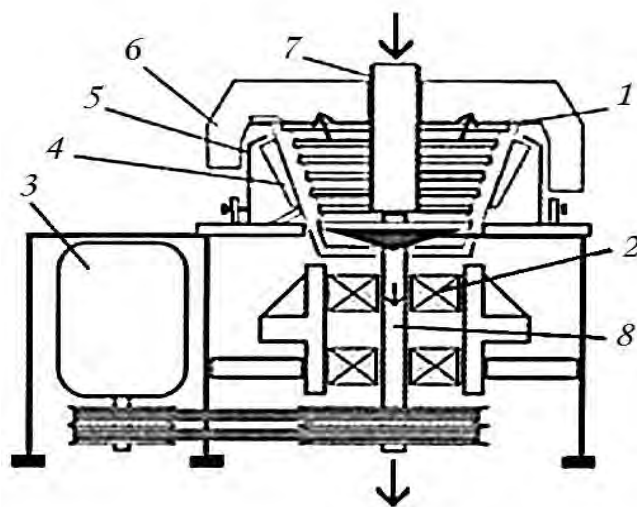


Рисунок 5 – Центробежный концентратор с плавающей постелью марки “ЦКПП-120”.

- 1 - эластичный улавливающий конус; 2 – подшипниковый узел;
- 3 – электродвигатель с ременной передачей; 4 – обжимающие ролики; 5 – кронштейн обжимающих роликов; 6 – улита для разгрузки хвостовой пульпы; 7 – патрубок для подачи питания; 8 – полый вал для разгрузки концентратора.

Внедрение в промышленных масштабах предлагаемой технологии на базе обогащительного малогабаритного комплекса “МКО-2М” позволит перерабатывать накопленные отвалы с трудно извлекаемым микронным золотом и повысить выход (на десятки процентов) полезного ископаемого на новых россыпных месторождениях драгоценных и редких металлов. В дополнение вышесказанному предлагаемый обогащительный комплекс МКО-2М в несколько раз дешевле импортных аналогов и превосходит последние по ряду технико-технологических показателей.

Библиографический список

1. Верхотуров М.В. Гравитационные методы обогащения: учеб. Для вузов - М.: МАКС Пресс, 2006.-352с.
2. Кравец Б.Н. Специальные и комбинированные методы обогащения. Учебник для вузов. М.:Недра,1986, 304 с.
3. Загайнов В. Г. Современные проблемы обогащения ультратонкого золота // Горный журнал Казахстана. 2009. № 8. С. 16–21.
4. Баранников А. Г., Устюжанина И. Ф., Хрыпова Р. Г. О «новом» золоте в некоторых россыпях Урала // Минералогия золота. Ч. 1. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1994. С. 109–110.

УДК 622. (571.56)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ УГЛЕСОДЕРЖАЩИХ ФОРМАЦИЙ В РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРАХ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

ПОТАПОВ В. Я.¹, АФАНАСЬЕВ А. И.¹, ПОТАПОВ В. В.¹, СТОЖКОВ Д. С.¹
¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. В статье рассматриваются методы изучения электрические свойств углесодержащих формаций для дальнейшего их использования в аппаратах радиометрической сепарации в горном переделе.

Ключевые слова: углесодержащая формация, радиометрическая сепарация, диапазон, электропроводность, горная порода.

IDENTIFICATION CARBONACEOUS FORMATIONS IN RADIOMETRIC SEPARATORS ON THE ELECTRICAL PROPERTIES

POTAPOV V. YA.¹, AFANASYEV A. IL.¹, POTAPOV V.V.¹, STOZHKOVA D. S.¹
¹Ural State Mining University

Abstract. The article discusses methods for studying the electrical properties of coal-containing formations for their further use in radiometric separation apparatus in mining.

Keywords: carbon-containing formation, radiometric separation, range, electrical conductivity, rock.

В существующей практике радиометрического обогащения для разделения полезных ископаемых на продукты, отличающиеся по содержанию полезных ископаемых или вещественному составу, обычно применяется какой-либо вид излучения и используется физическое свойство, определяющее выбор признака разделения. Вместе с тем анализ физических процессов и свойств веществ, проявляющихся при взаимодействии с излучением, позволяет установить два важных обстоятельства. Первое из них заключается в том, что при взаимодействии конкретного вида излучения с данным веществом может проявиться не одно, а несколько его свойств, каждое из которых пригодно для радиометрического обогащения. Например, для электромагнитного излучения диапазона радиоволн такими свойствами являются электропроводность, диэлектрическая проницаемость, магнитная восприимчивость. Второе обстоятельство заключается в том, что данное вещество, например руда, при взаимодействии с различными видами излучения обнаруживает свойства, используя которые можно осуществить различные методы сепарации.

Использование при радиометрическом обогащении не одного, а двух или более различных физических свойств разделяемых углей открывает дополнительные возможности: повышение селективности данного процесса, расширение области его применения. Пример сепарации с учетом двух физических свойств – электропроводности (ζ) и диэлектрической проницаемости (ϵ), проявляющихся при взаимодействии с электромагнитным полем.

Использовать высокочастотное электромагнитное излучение диапазона радиоволн для сепарации кускового минерального сырья впервые было предложено советскими специалистами. Развитие вначале получил радиоабсорбционный метод применительно к углеобогащению. В дальнейшем с этой же целью стал применяться емкостной радиорезонансный метод, оказавшийся более перспективным.

Исследования частотных зависимостей электропроводности (ζ), диэлектрической проницаемости (ϵ) большого числа штучных образцов угля и пород показали существование благоприятных теоретических предпосылок применения этих свойств для сепарации.

Остановимся на исследовании электрических свойств угленосных формаций некоторых месторождений, с целью улучшения диапазона изменения этих свойств, а также выбора порога разделения при настройке режимов сепарации.

Методика определения удельного электрического сопротивления и диэлектрической проницаемости горных пород изложена в работах В.В. Ржевского, О. Г. Латышева [1, 2].

Наибольшее распространение при измерении электросопротивления получил двухэлектродный потенциометрический способ, позволяющий вести измерение в широком диапазоне сопротивлений с помощью серийно выпускаемой аппаратуры (Омметра Е6-3, Е6-10).

Для исследования электропроводности кусков использовалась блок-схема колебательного контура (излучателя) и лабораторный стенд для измерения добротности контура, приведенные на рис 1.

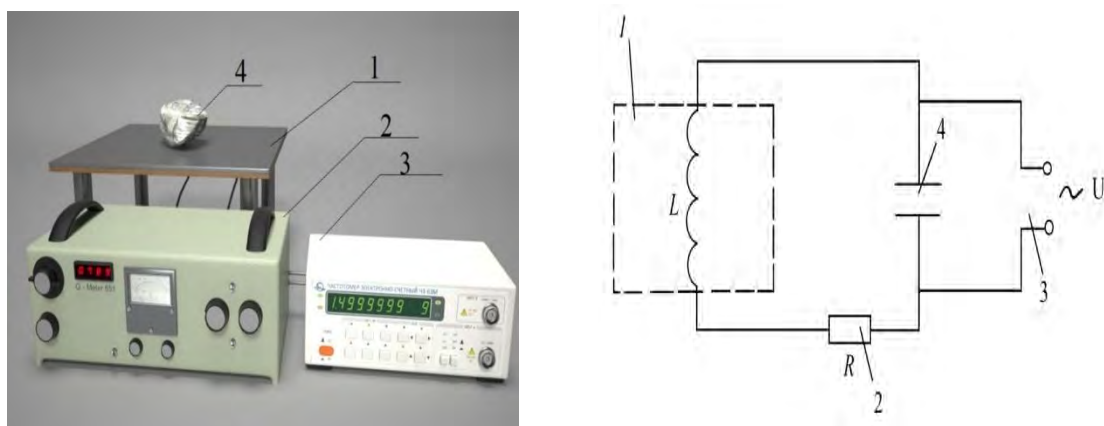


Рисунок 1 – Блок-схема колебательного контура (излучателя) и лабораторный стенд для измерения добротности кусков: 1 - индукционный датчик; 2 - активное сопротивление цепи контура; 3 – генератор ВЧ; 4 – емкость

Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь определяются различными методами в зависимости от частоты электрического поля, воздействующего на горную породу [1].

Наибольшее распространение получили резонансные методы измерения диэлектрических свойств пород, которые соответствуют довольно большому диапазону частот

($10^3 - 10^8$ Гц). Сущность резонансных методов заключается в определении характеристик колебательного контура при внесении в него измеряемого образца. При этом наиболее универсальными измерительными приборами являются куметры - измерители добротности (Е9-5, Е9-5А) [2].

При наличии включений пирита сопротивление чистого угля снижается.

Электрическое сопротивление угля зависит от его химического и минерального состава, а также влажности, температуры, запыленности и от положения в зоне разделения, особенно при наличии сростков.

В табл. 1 приведены результаты исследований по электрическим свойствам пород, слагающих некоторые угольные месторождения Урала.

Исследования проводились как для единичных горных пород, так и их сростков с углем.

На основании исследования электрических свойств пород и угля по методикам, предложенным проф. В. В. Ржевским, изложенным в работах [1], были определены пределы изменения удельной электропроводности ζ с изменением формы проводящих включений по уравнениям, выведенным для удельной электропроводности слоистой породы вдоль слоистости ζ_{\parallel} и поперек слоистости ζ_{\perp} :

$$\zeta_{\parallel} = \left(\frac{\zeta_1}{\zeta_2} V_1 + V_2 \right) \zeta_2;$$

$$\zeta_{\perp} = \frac{\zeta_1}{\frac{\zeta_1}{\zeta_2} V_2 + V_1},$$

где ζ_1 и ζ_2 - соответственно удельная проводимость непроводящих (пород) и проводящих (уголь) включений, $(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$; V_1 и V_2 - объемное относительное содержание непроводящих и проводящих минералов, слагающих породу, о. е.

Электропроводность сухой породы с пропластовыми включениями угля от пористости определяется по следующей формуле:

$$\zeta = \zeta_M \frac{2(1-P)}{2+P},$$

где ζ_M - удельная электропроводность минерального скелета, $1/\text{Ом} \cdot \text{м}$; P - пористость минерального скелета, %.

На рис. 2 приведены зависимости электропроводности углесодержащих формаций от объемного содержания угля для различной пористости, рассчитанные по вышеприведенным формулам.

При переходе к более метаморфизованным углям (бурые угли - газовые угли - антрацит) наблюдается снижение пористости.

Однако, если угли одной степени метаморфизации, то повышенные значения их объемного веса указывают на увеличение в углях минеральных примесей, обуславливающих их зольность. Эти примеси обычно имеют значительно большие плотности, чем уголь [1].

Угольные частицы имеют существенно большую электропроводность, чем вмещающие породы. Это подтверждается результатами измерения удельного сопротивления образцов и расчетом электропроводности песчаников, алевролитов и аргиллитов (табл. 1).

Степень повышаемого воздействия газа (окиси углерода) на удельное сопротивление пород зависит от сопротивления объемов газа и воды, заполняющих поры, а так-

же от крупности зерна и примеси органических веществ. Песчаники характеризуются наибольшей пористостью, и испытывают наибольшее влияние газоносности на удельное сопротивление.

Основное влияние на изменение электропроводности оказывает величина открытой пористости.

При весьма малых значениях пористости порода практически представляет собой отдельные несообщающиеся включения.

Для исследования электропроводности кусков использовалась блок-схема колебательного контура (излучателя) и лабораторный стенд для измерения добротности контура, приведенные на рис 1.

В данном случае минерализация воды, заполняющей отдельные, обособленные поры, будет оказывать меньшее влияние, и удельное сопротивление породы будет в значительной степени определяться проводимостью минерального скелета (см. рис. 1). Удельная электропроводность плотных малопористых пород зависит от проводимости слагающих их минералов.

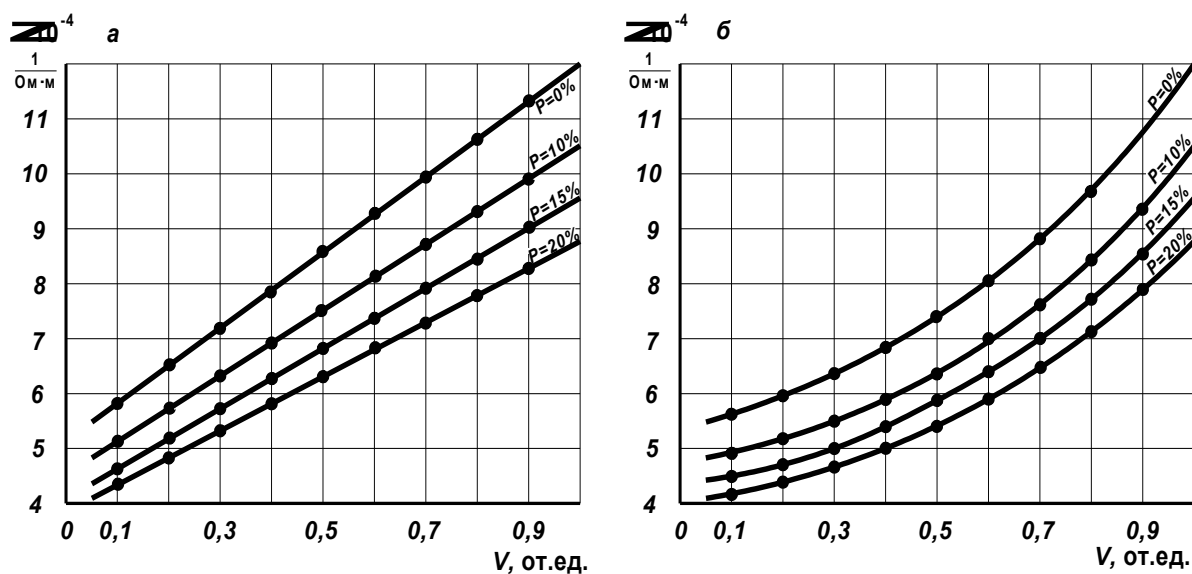


Рисунок 2 – Зависимость электропроводности углесодержащих формаций от объемного содержания угля в минеральном скелете для углей Экибастуза при различной пористой структуре: *а* - вдоль слоистости; *б* - поперек слоистости

Метаморфизация углей повышает их удельную электропроводность. Особенно резко она увеличивается при содержании в угле углерода более 87 %. С увеличением зольности электропроводность углей понижается, что подтверждается рис. 1 – 3, поскольку зольность функционально связана с объемным содержанием угля. Выветривание пород и пористость, если они не сопровождаются увлажнением, также уменьшают проводимость пород. Электропроводность вдоль слоистости всегда больше, чем поперек слоистости рис. 2 [1]. Это зависит от форм включений, связанных с наличием либо отсутствием сквозных токопроводящих каналов. Полосчатое расположение в виде прожилков, соединяющих между собой проводящие зерна и их чередованием в пропласте угля, при даже незначительном количестве этих пород резко повышает величину электропроводности кусков.

Так как обычно минеральный скелет пористой породы обладает значительным сопротивлением, электропроводность увлажненной породы является в основном функцией электропроводности воды, заполняющей поры. Данные зависимости получены на основании расчетов для пород, состоящих из слоев минералов и воды, по формуле:

$$\zeta = \zeta_{\text{воды}} w + \zeta_{\text{мин}} (1 - P),$$

где $\zeta_{\text{воды}}$ - электропроводность воды, $(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$; w - влажность пород, д. ед.

Электропроводность минерального скелета приведена к стандартным условиям минерализации и температуры этих вод. Такими условиями являются: минерализация пластовых вод $C = 0,6$ г/л, температура $T = 20$ °С, при которой удельное сопротивление воды $\rho_{\text{в}} = 10$ Ом·м и электропроводимость минерального скелета при содержании углерода 50 % $\zeta_{\text{мп}} = 0,0056$ Ом·м⁻¹, $\zeta_{\text{мп}} = 0,0054$ Ом·м⁻¹. Электрические свойства углей и пород характеризуются еще диэлектрической проницаемостью ε , а также углом диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$.

Диэлектрические свойства характеризуют поведение горной породы – диэлектрика в электрическом поле. Мерой поляризации горной породы служит величина относительной диэлектрической проницаемости ε , которая указывает – во сколько раз уменьшается напряженность электрического поля в горной породе по сравнению с вакуумом.

Диэлектрическая проницаемость пород при небольших частотах изменяется обычно в пределах от 3 до 25. Она является функцией значений ε минералов, слагающих породу, их концентрации и взаимного расположения. Диэлектрическая проницаемость слоистых пород вдоль слоистости ε_{\parallel} всегда больше, чем поперек ε_{\perp} :

$$\varepsilon_{\parallel} = \varepsilon_1 V_1 + \varepsilon_2 V_2;$$

$$\varepsilon_{\perp} = \frac{\varepsilon_1 V_2}{\varepsilon_1 V_2 + \varepsilon_2 V_1},$$

где ε_1 - диэлектрическая проницаемость среды матрицы, содержание которой V_1 ; ε_2 - диэлектрическая проницаемость среды (матрицы, содержание которой V_2

Зависимость изменения диэлектрической проницаемости от влажности пород, в случае открытой пористости P поясняется формулой:

$$\varepsilon = w(\varepsilon_{\text{в}} - 1) - P(\varepsilon_{\text{о}} - 1) + P,$$

где $\varepsilon_{\text{в}}$ и $\varepsilon_{\text{о}}$ - диэлектрические проницаемости, соответственно, минерального скелета и воды; w – объемная влажность породы, д. ед.

На рис. 3 приведены зависимости диэлектрической проницаемости пород от объемного содержания угля.

Плохопроводящая горная порода, находящаяся в переменном электрическом поле, характеризуется углом диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$. Параметр $\text{tg}\delta$ характеризует ту часть электрической энергии, которая выделяется в горной породе в виде тепла [1].

Тангенс угла потерь для большинства пород при частоте поля $f = 1$ МГц располагается в пределах 0,002 - 0,1. Его величина зависит от структуры кристаллической решетки и плотности упаковки.

Результаты исследований параметров для углесодержащих формаций ε и $\text{tg}\delta$ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физические свойства углесодержащих формаций

Минерал или горная порода	Плотность, γ , кг/м ³	Пористость, %	Удельное электросопротивление, ρ , Ом·м		Коэффициент анизотропии, $\frac{\rho_{\parallel}}{\rho_{\perp}}$	Удельная электропроводность 1/Ом·м ($f=0$)			Диэлектрическая проницаемость ($f=5$ МГц)			Тангенс угла диэлектрических потерь ($f=5$ МГц)		
			параллельно слоистости, ρ_{\parallel}	перпендикулярно слоистости, ρ_{\perp}		$\zeta_{\text{сух}}$	$\zeta_{\text{вл}}$	$\frac{\zeta_{\text{вл}}}{\zeta_{\text{сух}}}$	$\epsilon_{\text{сух}}$	$\epsilon_{\text{вл}}$	$\frac{\epsilon_{\text{вл}}}{\epsilon_{\text{сух}}}$	$\text{tg } \delta_{\text{сух}}$	$\text{tg } \delta_{\text{вл}}$	$\frac{\text{tg } \delta_{\text{вл}}}{\text{tg } \delta_{\text{сух}}}$
<i>Челябинский бассейн ш. «Коркинская»</i>														
Алевролит	2400	9,77	170	332	0,51	0,0059	0,011	1,86	7	16,80	2,4	0,008	0,15	18,75
Аргиллит	2330	3,32	135	226	0,6	0,0074	0,014	1,89	6	15,92	2,65	0,11	0,19	1,72
Конгломерат	2400	-	725	1396	0,52	0,0014	0,008	5,71	-	-	-	0,019	0,11	5,78
Песчаник	2380	11,80	220	635	0,35	0,0046	0,010	2,17	11	14,72	1,33	0,06	0,13	2,16
Уголь	1390	12,8	120	246	0,49	0,0083	0,016	1,92	4	7,2	1,8	0,12	0,22	1,83
<i>Булашацкое месторождение ОАО «Вахрушевуголь»</i>														
Алевролит	2560	15,89	175	480	0,36	0,0057	0,011	1,92	9	18,6	2,06	0,08	0,15	1,875
Аргиллит	2550	2,20	140	280	0,5	0,0071	0,013	1,83	8	17,4	2,175	0,09	0,18	2
Конгломерат	2510	-	800	1280	0,63	0,0013	0,008	6,15	-	-	-	0,017	0,11	6,47
Песчаник	2560	14,20	265	679	0,39	0,0038	0,010	2,63	13	30,2	2,32	0,052	0,12	2,30
Уголь	1330	16,40	70	165	0,42	0,014	0,032	2,28	3	6,8	2,26	0,19	0,44	2,31
<i>Экибастузское месторождение</i>														
Алевролит	2300	10,27	165	412	0,4	0,0061	0,012	1,96	9	17,8	1,97	0,084	0,17	2,02
Аргиллит	1280	2,86	130	295	0,44	0,0077	0,014	1,81	7	15,7	2,24	0,10	0,19	1,9
Песчаник	2410	19,96	245	480	0,51	0,0041	0,009	2,19	12	26,2	2,18	0,06	0,26	4,33
Уголь	1420	15,2	85	215	0,39	0,012	0,028	2,33	5	10,2	2,04	0,16	0,38	2,37

Наличие в углесодержащих формациях кристаллизационной воды приводит к росту диэлектрической проницаемости и увеличивает угол их диэлектрических потерь. С увеличением частоты электрического поля диэлектрическая проницаемость снижается, причем более значительно для пород, имеющих большее значение ϵ при низких частотах, чем у пород с меньшим значением ϵ . В результате происходит сужение пределов изменения диэлектрической проницаемости угля и пород в области высоких частот. При увеличении частоты электрического поля происходит спад $\text{tg}\delta$.

При этом, если сквозная проводимость незначительна, то наблюдается аномальное повышение ее в определенной области частот. Величина $\text{tg}\delta$ пород возрастает с увеличением напряженности электрического поля для пористых пород.

Наиболее сильное снижение величины ϵ наблюдается у максимально влажных пород, менее сильно у воздушно-сухих, и, наконец, наименьшее – у высушенных образцов.

Диэлектрическая проницаемость и угол диэлектрических потерь углесодержащих формаций для пород, образующих слоистую структуру углей, вдоль слоистости больше, чем поперек.

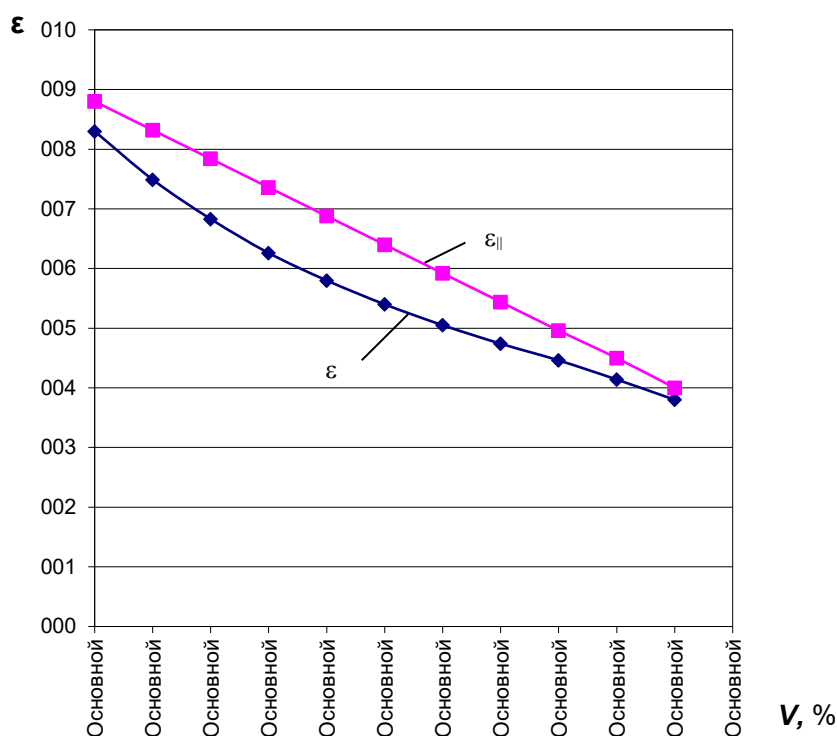


Рисунок 3 – Зависимость диэлектрической проницаемости ϵ от объемного содержания угля V вдоль и поперек слоистости

На рис. 4 приведены зависимости для тангенса угла диэлектрических потерь от относительного объемного содержания породных прослоек, рассчитанных по эквивалентным электрическим схемам с параллельным и последовательным соединениям для диэлектриков по формулам:

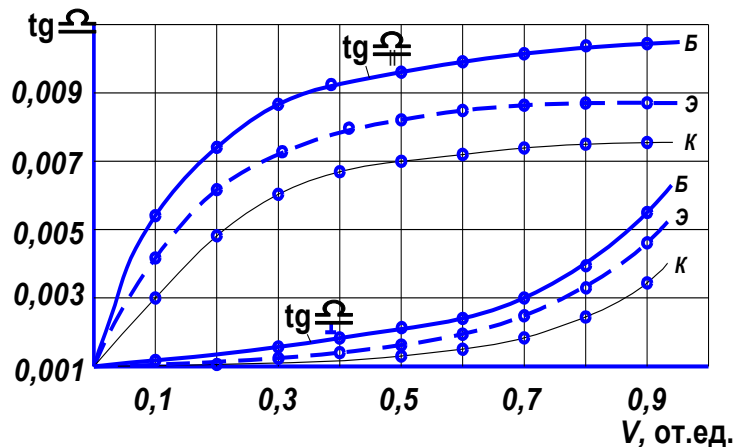


Рисунок 4 – Зависимость $\text{tg}\delta$ вдоль слоистости и поперек слоистости от относительного объема содержания угольных прослоек для углей: Б – Булунаша; Э – Экибастуза; К – ш. «Коркинской»

$$\text{tg}\delta_{\parallel} = \frac{\varepsilon_1 V_1 \text{tg}\delta_1 + \varepsilon_2 V_2 \text{tg}\delta_2}{\varepsilon_1 V_1 + \varepsilon_2 V_2};$$

$$\text{tg}\delta_{\perp} = \frac{\varepsilon_2 V_1 \text{tg}\delta_1 + \varepsilon_1 V_2 \text{tg}\delta_2}{\varepsilon_1 V_2 + \varepsilon_2 V_1},$$

где ε_1 и ε_2 - диэлектрическая проницаемость угля и вмещающих пород;

V_1 и V_2 - объемное содержание проводящих и непроводящих прослоек, д. ед; $\text{tg}\delta_1$ и $\text{tg}\delta_2$ - тангенсы угла диэлектрических потерь для угля и вмещающих пород (см. табл. 1).

В результате определения параметров электрических свойств слагающих угольные месторождения пород установлено, что имеется существенное различие в электропроводности, электропроводимости, диэлектрической проницаемости и углах диэлектрических потерь.

Полученные расчетные зависимости электропроводности и угла диэлектрических потерь от объемного содержания этих пород в угольных сростках, по отношению к физическим характеристикам отдельных пород, имеют различие в этих свойствах, что позволяет идентифицировать угольные куски, породные куски и сростки по этим признакам.

Данное различие можно использовать для разделения углей в электрическом поле электросепараторов см рис. 5.

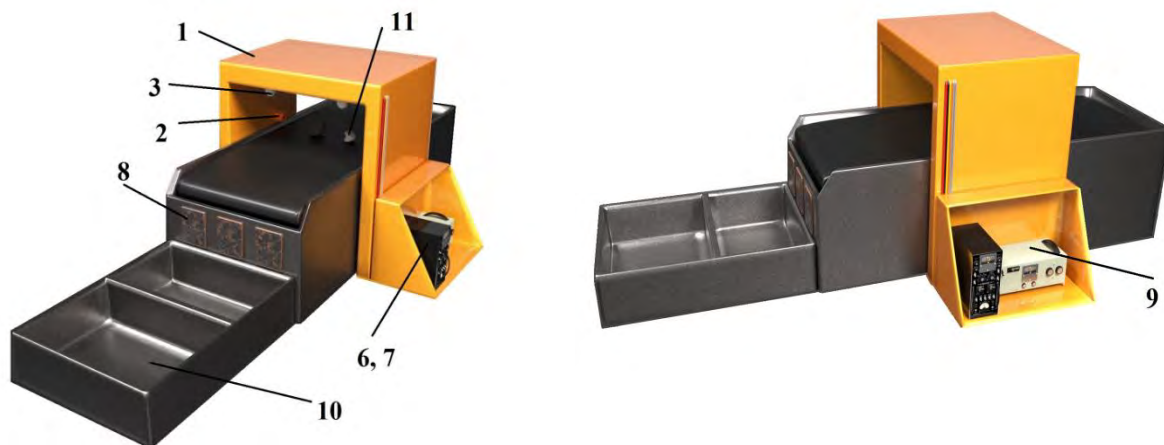


Рисунок 5 – Предлагаемый сепаратор: 1 - камера; 2 - электроды; 3 - фотоэлементы; 4 - источник питания фотоэлементов; 5 - высоковольтный источник питания; 6 - регистрирующий прибор АИ-256; 7 - печатное устройство; 8 - исполнительный механизм; 9 - генератор импульсов; 10 - приемники продуктов разделения, 11- исходный образец.

На электрические свойства углесодержащих продуктов оказывает влияние пористость и влажность. Сухая пористая порода состоит из минерального скелета и воздуха, заполняющего поры. Воздух в порах очень плохо передает любой вид энергии. Поэтому в породах передача энергии происходит через минеральный скелет.

Влияние влажности проявляется в увеличении основных физических параметров электрических свойств пород (ζ_1 , ε_1 , $\text{tg}\delta$).

Порядок расположения образца в зоне измерения характеризуется изменением электрических свойств вдоль и поперек слоистости.

Поэтому при изменении физических признаков влажных пород не важно, в каком положении по структуре слоя образец находится в зоне измерения, так как это не будет оказывать влияние на параметры признака.

При составлении алгоритма разделения угля и породы методами сортировки, по электрическим свойствам необходим комплексный показатель, учитывающий физические свойства - электропроводимость и диэлектрическую проницаемость, составляющих горную породу фаз. Все эти уточнения позволяют лучше идентифицировать угли.

Сортировку углей данными методами необходимо осуществлять при меньших частотах электрического поля, так как в этих диапазонах наибольшее различие в диэлектрических свойствах углей и породы.

Библиографический список

1. Ржевский В. В. Основы физики горных пород. Изд. 3-е перераб. и доп. / В. В. Ржевский, Г. Я. Новиков // М.: Недра, 1978. – 390 с.
2. Латышев О. Г. Физика горных пород. Уч. пос. для вузов. – Екатеринбург, Изд. УГ-ГГА. - 2001. – 103 с.
3. Потапов В.В. «Технология разработки месторождений угля с предварительным его обогащением в подземных условиях»: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2007. – 20 с.

УДК 622.02:537

СПЕКТРАЛЬНО-СОРТОВАЯ ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ ГАББРО ПО НОРМАМ МИНЕРАЛОВАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ КОНТАКТНОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ (ИЗ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ПРИМЕРОВ ОКСИД-МЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МАГМОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА)

ТИМОХИН А. В.¹, КАНТЕМИРОВ В. Д.¹, ТИТОВ Р. С.¹
¹ФГБУН ИГД УрО РАН

Аннотация. Раскрываются прогноз, ход исследования и итоговая методика геометризации сырьевых свойств габбро по нормам минераловатного производства. Даны история вопроса, последовательность анализа смежных данных и рабочие закономерности связи измеренных (электрическое сопротивление) и сортовых (модуль кислотности) параметров.

Ключевые слова: залежь пород габбро, минераловатное сырье производства минеральной ваты, электрометрия, оценочная геометризация, сортовое планирование, геотехнология

SPECTROGRAPHIC GEOMETRIZATION OF GABBRO ACCORDING TO THE NORMS OF MINERAL WOOL PRODUCTION BASED ON ELECTROMETRY (FROM PETROPHYSICAL EXAMPLES OF OXIDE-METRIC ESTIMATION IN MAGMOGENIC DEPOSITS OF THE URALS)

TIMOHIN A. V.¹, KANTEMIROV V. D.¹, TITOV R. S.¹
¹Institute of Mining of Ural Branch of RAS

Abstract. The forecast, the course of research and the final method of geometrization of raw material properties of gabbro according to the norms of mineral wool production are revealed. The history of the issue, the sequence of analysis of related data and working regularities of the relationship between the measured (apparent resistivity) and varietal (modulus of acidity) parameters are given.

Keywords: gabbro rock deposit, mineral wool production raw materials, electrometry, estimated geometrization, varietal planning, geotechnology.

Введение. На Урале месторождения нагорного типа осваиваются, в большинстве начиная с разработки карьерами. Перевалка значительной горной массы – сложные переходные условия сырьевой оценки. Этапы доступности обмеров горных блоков выгодны для соблюдения планов сортового анализа, но гораздо чаще имеющиеся методические средства это выполнить в полной мере не способны.

Между тем, требуются эффективные схемы управления качеством, планирования БВР, прогноз параметров извлечения, нормирование потерь и разубоживания [1- 2].

В статье предложена оригинальная методика изучения залежей габбро в главном карьере Баженовского месторождения (хризотиласбест). Добывающее предприятие, организовав производство минераловатных изделий из вскрышной горной массы пород группы габбро, вносит вклад в решение актуальных задач комплексного использования Недр и импортозамещения в РФ.

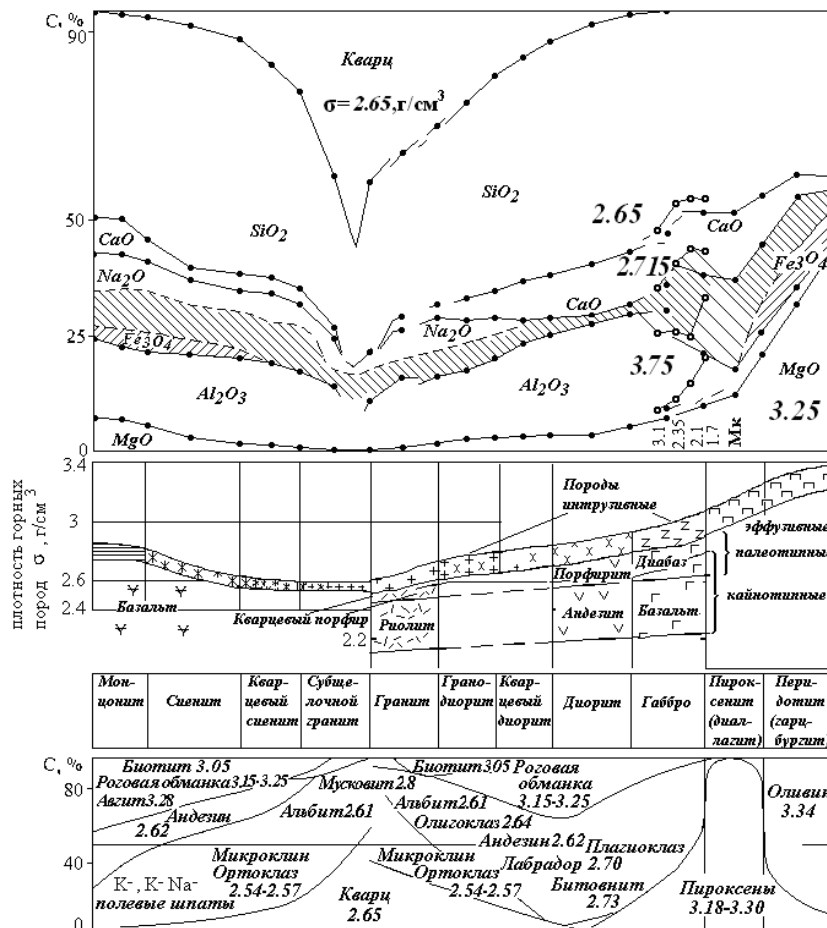


Рисунок 1 - Химический и минеральный состав (С, %) магматических пород (А.Н. Заварицкий); плотность (σ , г/см³) интрузивных пород и их эффузивных аналогов палеотипных и кайнотипных (Н.Б. Дортман).

«Штриховка» - подчиненные окислы, MnO в земельном ряду; K₂O – в щелочном. Мк – модуль кислотности (габбро).

*- Na₂O, K₂O, MnO, MgO, Al₂O₃, FeO – в магмогенных средах в виде микроразмерных и рассеянных фаз.

** - Константы плотностей из смежных данных.

*** - Главные уплотнители от Fe(2+) к глинозему и магнезии (к анализу носителей).

Подходы и результаты исследования. Евразийская континентальная горная система Урал представляет меридианальные кристаллические комплексы главной гряды магматических пород и примыкающих с запада и востока, сводовых толщ карбонатно-осадочных пенеполюсов. Георесурсы нагорных месторождений – в абсолютном большинстве кристаллические, оксид-минеральные образования (рис. 1).

Раскрытие дифференциации и направленности изменения свойств легких окислов непосредственно касается истории вопроса в изучении полупроводников. Сортовая роль окислов sr- металлов (атомных номеров ≤ 20) ранее не была разграничена, их влияние, как петрофизических объектов, суммарно приравнивалось к флуктуационным (слабым) и неопознанным (нестационарным) сигналам. Но, синергия отдельных, легких окислов и аддитивность другой, большей их части (- диэлектрики) вскрывают то, что свойства ТПИ и вмещающих толщ границ природы полупроводников не переходят.

Карбонатным рудам свойственны одиночные приросты: в бокситах Al_2O_3 (+ 56 % на контактах с известняком), в магнезитах MgO (+ 27.7 % в доломит), замещен CaO (Табл. 1).

Таблица 1- Эл. сопротивления: карбонатных руд и пород; константы окислов*

СУБР	ОАО «Комбинат Магнезит»*			СУБР**
Порода, Руда	Известняк	Доломит	Магнезит	Боксит
Формула	$CaCO_3$	$Ca,MgCO_3$ $MgO=20\%$	$Ca,MgCO_3$ $MgO=47.7\%$	$Ca,AlCO_3$ $Al_2O_3=56\%$
Сопротивление руды/породы, Ом.м	12000	4700 (3840)	1300 (984)	240 (200)

ОАО «Комбинат Магнезит»		СУБР
Минерал (фракция)	МАГНЕЗИЯ	ГЛИНОЗЕМ
Формула	$MgO=100\%$	$Al_2O_3=100\%$
Сопротивление, Ом.м	$400=10^{2.6}$	$20=10^{1.3}$

Примечание: свойства на осадочных, низкотемпературных залежах [3].

Габбро- основная интрузивная порода, используется в производстве минераловатных изделий. Металлургический клинкер корректируется известняком (источник CaO). Оценке кондиций (плавкость, вспенивание при плавке) служит модуль кислотности:

$$M_k = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO} \quad (1)$$

Высший сорт определяет $M_k \geq 1.7$ отн. ед., средний 1.4, предел 1.2. Геологические химотипы инварианты, глинозем имеет сопротивление 20 Ом.м, отношение магнезии к глинозему 400 к 20 – так же 20. Как показал корреляционный анализ (29 проб), нет значащих связей модуля с $1/CaO$ (коэффициент корреляции $K_r = 0.137$) и с SiO_2 ($K_r = 0.246$). Связи M_k с $1/MgO$ ($K_r = 0.873$), с Al_2O_3 ($K_r = 0.832$) и с Al_2O_3/MgO ($K_r = 0.832$) устойчивы. Прикладное значение имеют связь ρ_p с Al_2O_3/MgO ($K_r = 0.833$) и оксид-метрическое соотношение (рис. 2).

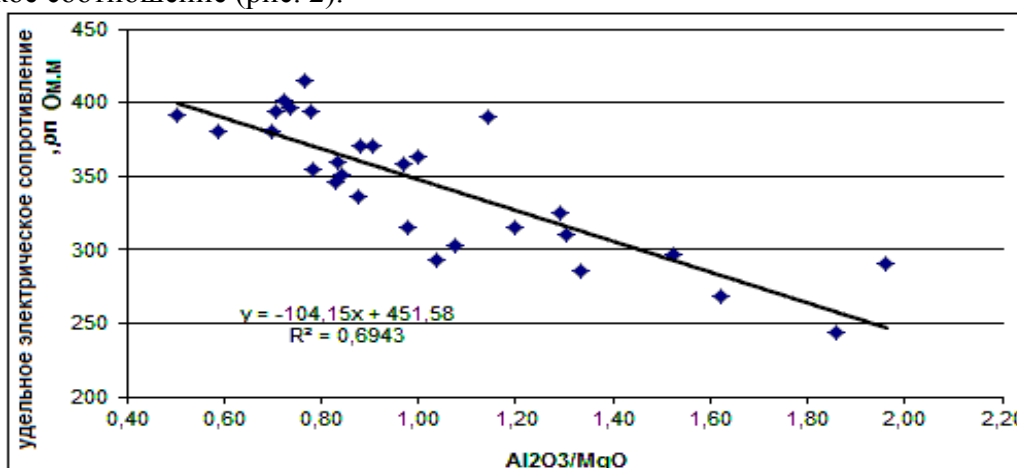


Рисунок 2 - Связь сопротивления ρ_p и модуля ($\sim Al_2O_3/MgO$) габбро.

Съемки по сетке сопротивлений и итоговые карты изолиний M_k (отн. ед.) показали неоднороден участок вблизи серпентинитов, непосредственно у контакта (рис. 3, пунктир).

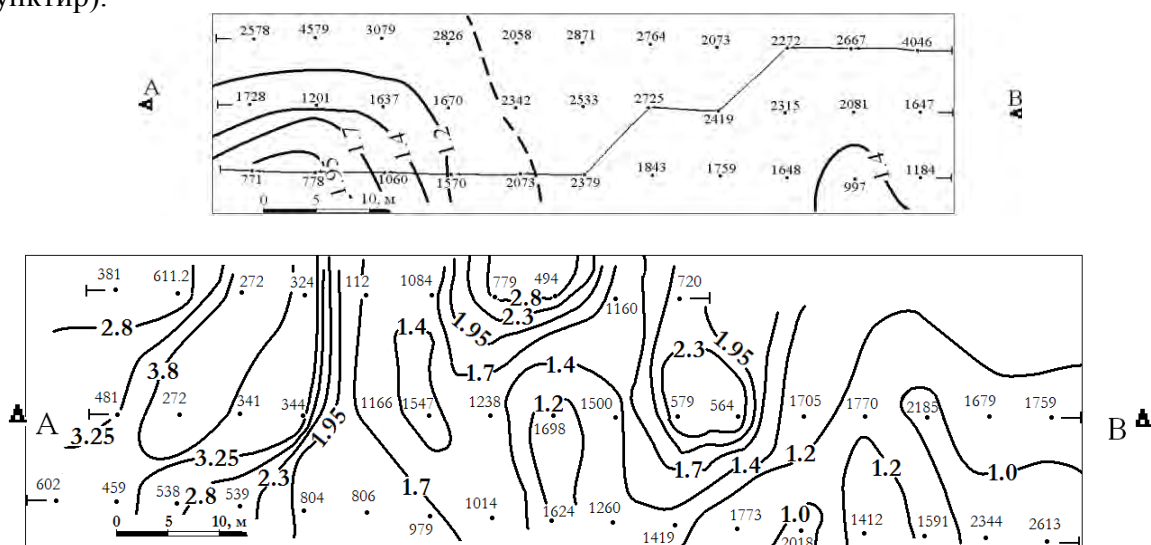


Рисунок 3 – Карты разведки габбро (залежь Пожарная, Баженово).

По основаниям высших модулей создают резерв известняка, корректируют клинкер и тем,кратно увеличивают продукцию, оптимально расходуют минеральную базу габбро.

Выводы. В породах габбро металлургические кондиции (плавкость, вспенивание) определяет модуль кислотности M_k . Обмены окислов отличают минерализации: плагиоклаза и улучшение, пироксеновую – понижение качества (рис. 1).

Закономерную связь измеренных (сопротивление) и сортовых (модуль кислотности) параметров всецело определяют выделенные константы окислов (Таблица), детерминированные носителями.

Обсуждаются донорно-акцепторный механизм формирования ковалентной связи при внедрении Mg, Al в среду ионных типов. Как показали предметные и смежные данные к ионной связи можно уверенно отнести геологические сочетания окислов: SiO_2 , K_2O , Na_2O , CaO (малые электронные потенциалы и идентичность аниона: кислород $O(2-)$ – сильнейший окислитель). В исследованном ср- окружении носители MgO и Al_2O_3 можно объяснить, единственно, избытком металла, полагая в Na_2O или, начиная уже с CaO , напротив, стехиометричность формул по валентности.

Неотъемлемым звеном анализа явилось изучение плотностей. Так, например, ранее установлено [4], что идеально чистый известняк $CaCO_3$ обладает $\sigma = 2.54 \text{ т/м}^3$, диэлектрики на его базе могут быть на 4 порядка выше сопротивлением, чем SiO_2 . Но, все геологические образования за счет присутствия магнезии и глинозема обладают полупроводниковыми свойствами и, соответственно, в оценочных системах есть перспективы использования закономерной дифференциации физических свойств.

Пример изучения подкрепляет идею спектрально-сортового планирования в структурных условиях нагорных месторождений Урала [3- 5]; актуальность оценочных систем сигнальных разрешений петрофизики.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (грант № 11-05-00159) и в рамках Государственного задания 007-00293-18-00, тема № 0405-2018-0015.

Библиографический список

1. Типовые методические указания по нормированию потерь твердых полезных ископаемых при добыче/ Госгортехнадзор СССР. М., 1972. 154 с.
2. Агошков М.И. Основные показатели полноты и качества извлечения полезных ископаемых из недр при добыче. М.: СФТП ИФЗ АН СССР, 1970. 39 с.
3. Геометризация оруденений с применением электрометрии (на примере месторождений огнеупоров и бокситов) / А.В. Тимохин, Ю.В. Лаптев, Р.С. Титов, А.М. Яковлев// Изв. вузов. Горный журнал. 2012. № 6. С. 94-102.
4. Оценка засоренности массива известняка с использованием методов электроразведки / В. Д. Кантемиров, А. В. Тимохин, Р. С. Титов // Маркшейдерия и недропользование. 2018. № 2. С. 21–31
5. Байков Б. Н. Снижение потерь и разубоживания руд на карьерах цветной металлургии. М.: «Недра», 1977. 296 с.

УДК 621:313

БЕСКОНТАКТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОММУТАЦИИ И РЕВЕРСА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН.

ЭШМУРОДОВ З. О.¹, ИСМОИЛОВ М. Т. Ў.¹, ОРИПОВА У. З. К.¹

¹Навоийский государственный горный институт

Аннотация. Разработана новая схема бесконтактного пускателя на базе тиристорov, имеющий более простую схему управления для коммутации электродвигателей при сохранении всех преимуществ аналогичных устройств.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, бесконтактный пускатель, тиристорный пускатель, горнотранспортные машины.

CONTACTLESS DEVICE FOR SWITCHING AND REVERSING ELECTRIC MOTORS OF MINING MACHINES

ESHMURADOV Z. O.¹, ISMOILOV M. T.¹, ORIPOVA U. Z.¹

¹Navoiy state mining institute

Abstract: A new contactless starter circuit based on thyristors has been developed, which has a simpler control scheme for switching electric motors while maintaining all the advantages of similar devices.

Keywords: asynchronous electric motor, contactless starter, thyristor starter, mining vehicles.

В настоящее время в промышленности ярко прослеживаются три ключевых направления развития: автоматизация производства, энергоэффективность и экономичность. Автоматизация и модернизация технологических процессов проводится для эффективного расходования энергии и улучшения условий труда, что в свою очередь приводит к уменьшению экономических издержек.

Важным вопросам при повышении эффективности работы горного предприятия является транспортировка горной массы. Это один из наиболее трудоемких процессов открытых горных работ, на долю которого приходится до 50 % общей себестоимости добычи 1 т. [1].

подавляющее большинство горных машин карьерах работают в тяжелых высоконагруженных режимах и оснащены при этом нерегулируемыми электроприводами на основе взрывозащищенных асинхронных электродвигателей. Это обуславливает повышенный износ их элементов из-за высоких динамических нагрузок, рывков, больших пусковых токов, возникающих в основном в начальный момент работы, т.е. при пуске. Особенно остро стоит эта проблема при управлении ленточными конвейерами, в которых прямой пуск является одной из главных причин порыва дорогостоящей ленты, а соответственно простоя и потерь добычи полезного ископаемого.

В действующих ленточных конвейерах применяются электроприводы, созданные на базе двигателей разных типов как постоянного, так и переменного тока.

Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором (АД), в связи с конструктивной простотой и высокими энергетическими показателями, получил широ-

кое распространение во многих отраслях промышленности. АД с к.з. ротором применяется в большинстве нерегулируемых электроприводов горных и транспортных систем (ГТС), конвейерах, погрузочных машинах и т.д.

Режим работы ГТС характеризуется непрерывным изменением нагрузки на исполнительных органах, частыми процессами пуска и торможения приводов. Развиваемые в процессе пуска АД знакопеременные электромагнитные переходные моменты приводят к увеличению уровня динамической нагруженности электропривода и вызывают удары и деформации в элементах трансмиссии с интенсивным их износом и поломками, в результате чего снижается надёжность и ресурс горнотранспортных машин (ГТМ).

Возникающие при пуске АД переходные токи являются основной причиной ускоренного износа и повреждения изоляции статорной обмотки электродвигателей, вследствие значительных электродинамических, электромеханических усилий, а также интенсивного термического старения.

Таким образом, частые неуправляемые пуски являются одной из основных причин сокращения срока службы и преждевременного выхода из строя электроприводов ГТС [2].

Решение этой проблемы возможно за счет оснащения ГТС частотно - регулируемым электроприводом (ЧРЭП) или применением устройств управления пуском АД (УУП).

Наряду с мощными электродвигателями в горнотранспортных системах используется электродвигатели вспомогательных устройств с мощностью от 0,2 кВт до 10 кВт.

В последние годы во многих отраслях промышленности происходит внедрение полупроводниковых устройств управления пуском, представляющих собой тиристорные преобразователи напряжения с фазовым или квазичастотным управлением. Однако в связи с развитием силовой полупроводниковой техники появилась возможность создавать компактные и надёжные устройства управляемого пуска АД на основе полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов, позволяющие использовать другие импульсные способы регулирования переменного напряжения, с более высокими энергетическими показателями.

Известные бесконтактные пускатели реверсивного и нереверсивного типа, которые предназначены для дистанционного включения и отключения трехфазных электродвигателей и других видов трехфазных активно-индуктивных электрических нагрузок с номинальным напряжением 380В и с частотой 50Гц [3,4].

Бесконтактные пускатели для пуска электродвигателей и другого электрооборудования несмотря на имеющиеся преимущества, не находят широкого практического применения из-за сложной конструкции и системы управления.

С учетом этого разработана новая схема бесконтактного пускателя на базе тиристоров. Предлагаемый нами бесконтактный пускатель для коммутации электродвигателей имеет более простую схему управления при сохранении всех преимуществ аналогичных устройств (рис.1).

Предлагаемый бесконтактный тиристорный пускатель имеет более простую схему управления при сохранении всех преимуществ аналогичных устройств. На рис 2 показана структурная схема пуска трехфазного электродвигателя. Бесконтактный трехфазный тиристорный пускатель представляет собой устройство, состоящее из шести тиристоров, шести резисторов, одного малогабаритного промежуточного реле и теплового реле для защиты от перегрузки.

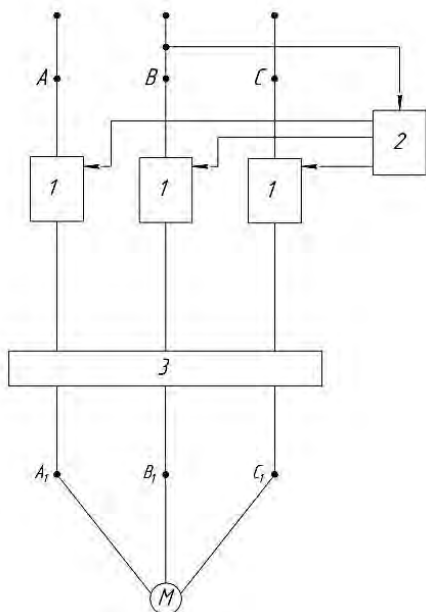


Рисунок 1 – Бесконтактный пускатель для коммутации электродвигателей

тиристоры VS1-VS6, и электродвигатель обесточивается от сети.

Бесконтактный пускатель для коммутации электродвигателей представляет собой устройство, состоящее из коммутирующих блоков (1), управляющего блока (2) и защищающего блока (3). (рис.1).

Коммутирующие блоки состоят из силовых тиристоров. Управляющий блок из шести резисторов, последовательно соединенных с диодом, включенным управляющим электродом силовых тиристоров и одно малогабаритное промежуточное реле, а защитный блок из теплового реле.

Устройство работает следующим образом: питание для управления получает от средней фазы 220В. Подача питания к двигателю начинается с подачи напряжений к реле KL1. Реле KL1 срабатывает и замыкает свои контакты. Подается ток к управляющим электродам тиристоров VS1-VS6. Открываются тиристоры, и напряжение подается к двигателю. Двигатель запускается в работу. Если в этот момент или при нормальном режиме возникает короткое замыкание в двигателе, то срабатывает тепловое реле КК и отключается реле KL1. Закрываются

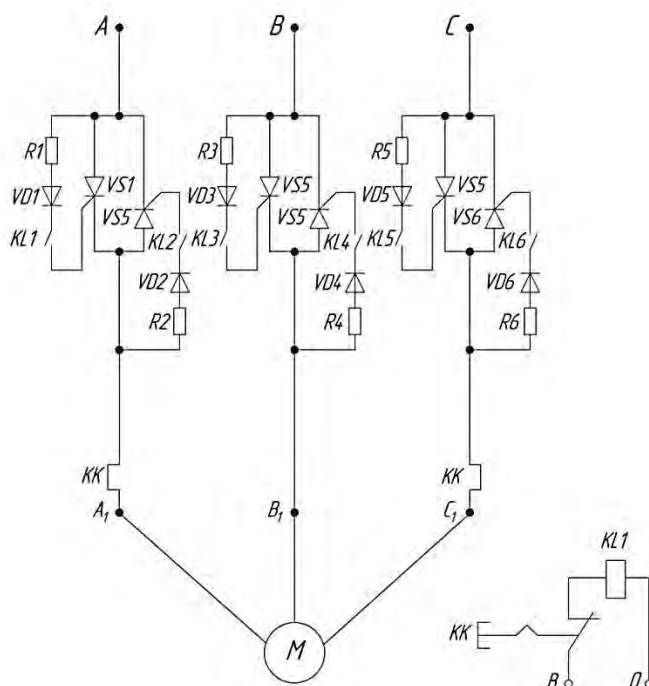


Рисунок 2 – Структурная схема пуска трехфазного электродвигателя

Исследованы режимы пуска с помощью реверсного пускателя электродвигателя и сняты кривые изменения тока и напряжения в фазе на входе и выходе реверсивного пускателя при пуске двигателя АИР 71В2 У3, которые приведены на рис. 3.

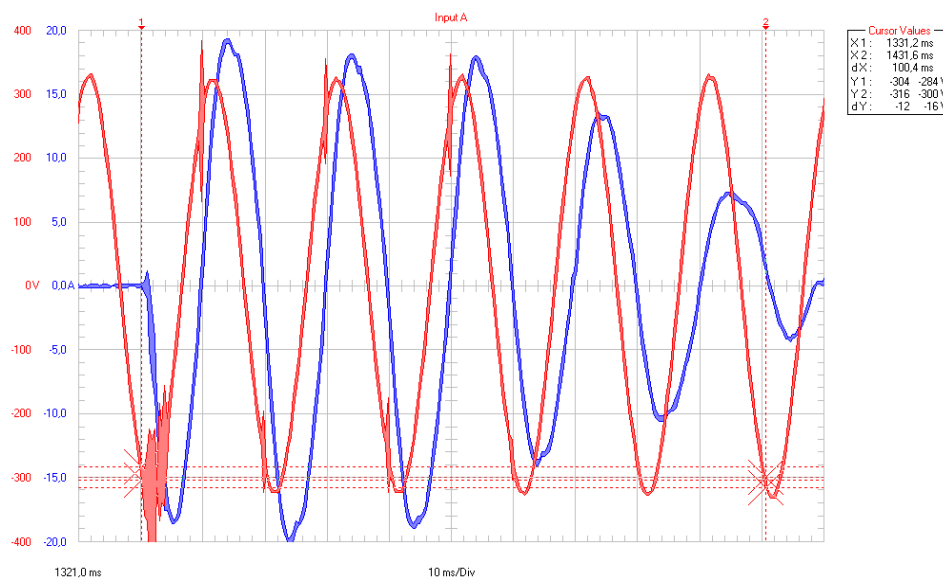


Рисунок 3 – Кривые изменения тока и напряжения в фазе В реверс на входе пускателя при пуске двигателя АИР 71В2 У3 ($I_n=80A$)

Результаты экспериментальных исследований новых бесконтактных устройств показали правильность выбранных технических решений и соответствие показателей к требуемым значениям и результатов математического моделирования процессам, протекающим в реальном устройстве [5].

Эксперименты показали, что бесконтактный пускатель для коммутации электродвигателей по конструкции прост, дешевле, схема управления простая и можно использовать данный пускатель в местных условиях на промышленных предприятиях.

Бесконтактный пускатель для коммутации электродвигателей будет очень необходимым для осуществления пуска и отключения от сети, а также реверса асинхронных двигателей, используемых в различных отраслях реального сектора экономики. Также имеется возможность их применения для коммутации двухскоростных двигателей с двумя отдельными обмотками или с одной полюс переключаемой обмоткой с двумя группами выводов для каждой полюсности соответственно. Двухскоростные двигатели используются на приводах таких механизмов, которые часто включаются и отключаются, например, двигатели на приводе лифтов и подъемных установок. Число включений в час таких двигателей достигают до 240, что создает большие потери электрической энергии из-за появления дуги и шума во время коммутации.

Таким образом, разработанный бесконтактный пускатель для коммутации электродвигателей по конструкции прост, дешевле, схема управления простая и можно использовать на промышленных предприятиях.

Библиографический список

1. Эшмуродов З. О., Каршибаев А. И, Тавбоев А. Н. Способы энергосбережения в электроприводах горных машин горнорудных предприятий. Горный вестник Узбекистана 2015. №4. с. 92-94.
2. Эшмуродов З.О. Исследование пусковых режимов электроприводов комплексов. Горный вестник Узбекистана. 2003. №2. с. 75-76
3. Шопен Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. -2-е изд., перераб. и доп.-М.: Энергоатомиздат, 1986. 568 с.
4. Сосков А.Г., Соскова И.А. Полупроводниковые аппараты: коммутация, управление, защита. Киев, Каравелла 2005. 344 с.

5. Бобожонов М. К., Саъдуллаев М., Эшмуродов З. О. Экспериментальные исследование работы маломощного тиристорного пускателя. Горный вестник Узбекистана. 2011. № 4. с. 64-66.

УДК 622.2

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ГЛАВНЫХ МЕХАНИЗМОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ ГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ

ФАЙЗУЛЛИН Р. М.¹

¹Уральский государственный горный университет

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы повышения надежности главных механизмов буровой установки, а также уменьшения энергозатрат в рабочих режимах буровой установки. Автор представляет детальный анализ преимущества частотно – регулируемого электропривода переменного тока с применением преобразователя частоты.

Ключевые слова: буровая установка, преобразователь частоты, электропривод, асинхронный двигатель, энергоэффективность.

INCREASING THE RELIABILITY OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF THE MAIN MECHANISMS DURING OPERATION OF A DEEP DRILLING RIG

FAJZULLIN R. M.¹

¹Ural State Mining University

Abstract. The article discusses the issues of increasing the reliability of the main mechanisms of the drilling rig, as well as reducing energy consumption in the operating modes of the drilling rig. The author presents a detailed analysis of the advantages of a frequency-controlled AC electric drive using a frequency Converter.

Keywords: drilling rig, frequency converter, electric drive, asynchronous motor, energy efficiency.

Основным элементом системы электропривода главных механизмов буровой установки является асинхронный электродвигатель АД с короткозамкнутым ротором, который должен обеспечивать устойчивую и длительную работу электроприводов в сложных условиях эксплуатации буровой установки [1]. Эффективный способ повышения энергетических показателей системы питания буровой установки глубокого бурения является замена регулируемого электропривода по системе ТП – Д (тиристорный преобразователь-двигатель) постоянного тока на частотно – регулируемый электропривод переменного тока с применением преобразователя частоты ПЧ с пассивным выпрямителем. Подобный выпрямитель обеспечивает практически синусоидальный сетевой ток, уменьшение падения напряжения на вводе электротехнического комплекса буровой установки и коэффициент мощности близкий единицы. Применение частотно – регулируемого электропривода с пассивным выпрямителем в сети питания буровой установки способствует исключению фильтрокомпенсирующего устройства, а так же с повышением энергетических показателей частотный – регулируемый электропривод способствует уменьшить массу и стоимость приводного электродвигателя. Двигатели должны иметь установочно-присоединительные размеры, позволяющие обеспечить замену двигателя постоянного тока, а также двигателей переменного тока импортного производства, который выполняется по американскому стандарту NEMA. Весьма вы-

сокой должна быть и надёжность асинхронного двигателя, поскольку отказ оборудования при бурении приводит к большим материальным потерям [1].

Оценить энергетические показатели системы питания электротехнического комплекса БУ с асинхронными частотно – регулируемыми приводами ее механизмов можно на примере буровой установки БУ 4200/250 ЭЧРК-БМ, предназначена для бурения газовых и нефтяных скважин с условной глубиной до 4200 м., работающих в условиях крайнего севера. Для главных механизмов бурения насосов, лебёдки и ротора буровой установки обоснованно применение асинхронных двигателей мощностью 1120 кВт. В настоящее время на буровых установках используются преобразователи частоты Sinamics S120, управление главными механизмами производится с помощью данного источника питания [2,3].

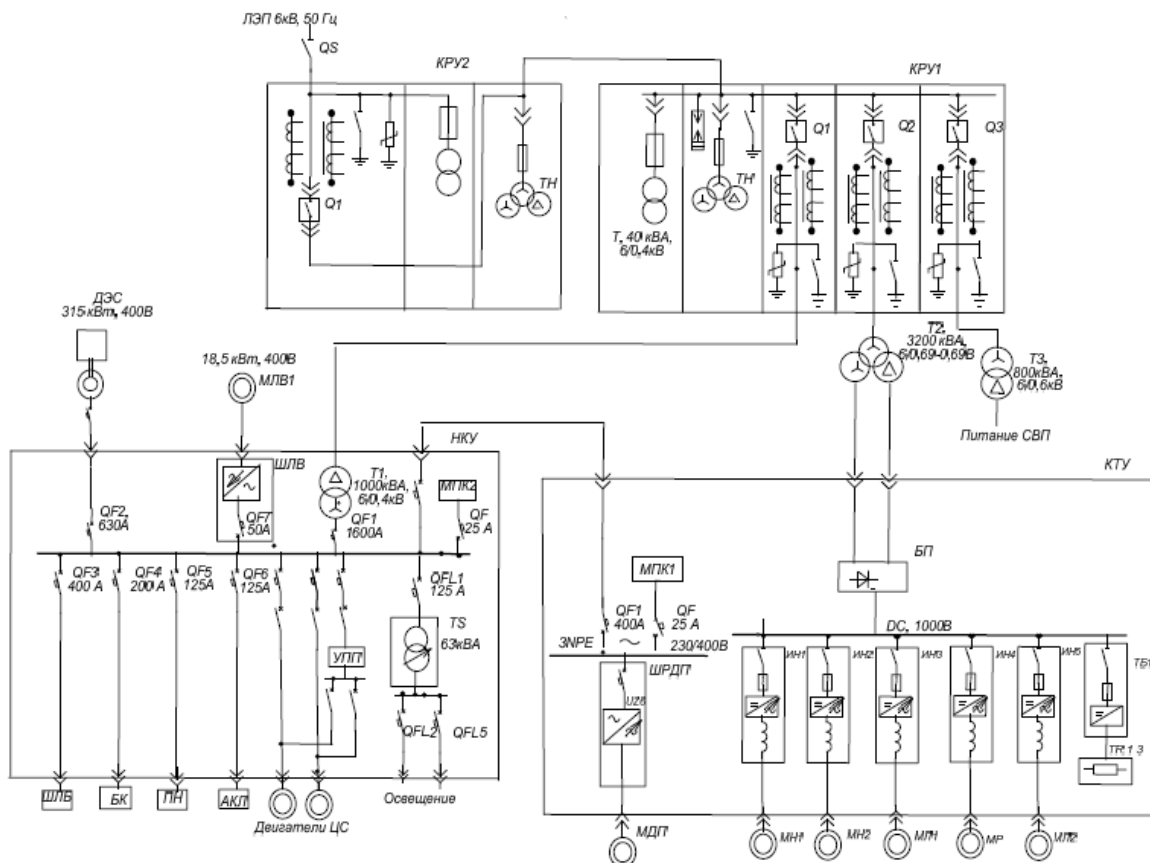


Рисунок 1 – Схема электрическая принципиальная

Для питания двигателя лебёдки на основании предварительных расчётов используются два параллельно включённых Инвертора частоты SINAMICS S120 на номинальный ток 910А. Необходимый для привода лебёдки режим работы инверторов представляет собой (по терминологии фирмы Siemens) режим "высокой перегрузки". Для такого режима введено понятие "базовый ток" и равный для одного инвертора 800 А. При параллельной работе двух инверторов их общий базовый ток следует определять как удвоенной ток одного Инвертора, умноженный на коэффициент 0,95, то есть как: $J_{\max} = 800 \cdot 2 \cdot 0,95 = 1520 \text{ А}$. По отношению именно к этому базовому току далее анализируются энергетические режимы работы привода лебёдки и указываются коэффициенты кратковременных перегрузок по току с указанием допустимого времени их действия. В таблице 1 представлены результаты расчётных токовых нагрузок автоном-

ных инверторов электропровода лебедки БУ 4200/250 ЭЧРК-БМ при различных её технологических режимах [5].

Таблица 1. Режимы токовых перегрузок инвертора привода лебедки

Технологические режимы	Максимальный требуемый ток $I_{\text{треб}}$, его длит.	Допустимый макс. Ток $I_{\text{доп}}$.	Допустимые длительные перегрузки	Соотношение $I_{\text{треб}}/I_{\text{доп}}$.
1 передача				
Максимальная грузоподъемность	1710 А 60 с	1670 А	60 с	~1
Подъем обсадной колонны	1550 А 70 с	1670 А	70 с	0,93
2 передача				
Подъем бурильной колонны номинального веса	1574 А До 50 с	1670 А	70 с	0,94
Начальный период пуска при подъеме колонны	1940 А 6-8 с	2130 А	6-8 с	0,91

Были произведены расчеты энергетических показателей буровой установки а также в соответствии с представленными нагрузками и режимами работы электроприводов главных механизмов БУ 4200/250 ЭЧРК-БМ [4].

Преимущества частотно – регулируемого электропривода переменного тока с применением преобразователя частоты ПЧ с пассивным выпрямителем перед аналоговым - более высокая точность поддержания скорости, возможность самонастройки, более высокая надежность, возможность использования современных средств управления (ПЛК), что позволяет создавать гибкие системы, параметры которых изменяются в зависимости от условий эксплуатации, высокая степень самодиагностики привода.

- благодаря высокому коэффициенту мощности уменьшение расчётной мощности питающего трансформатора;
- экономия электроэнергии благодаря высокому суммарному КПД системы;
- Минимальные затраты средств на техобслуживание и ремонт системы электропривода благодаря применению асинхронных короткозамкнутым электродвигатели закрытого исполнения (IP 55), что повышает надёжность работы крайне благоприятных условиях внешней среды эксплуатации буровой установки.

Библиографический список

1. Беркович М.Я. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 1969.
2. Моцохейн Б.И. Электропривод буровых лебедок / Б.И. Моцохейн, Б.М. Парфенов. – М.: Недра, 1978. – С. 304.
3. Проектирование электроприводов: Справочник / А.М. Вейнгер, В.В. Караман, Ю.С. Тартаковский, В.П. Чудновский; под ред. А.М. Вейнгера. – Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1980.
4. Радченко В.Н. Условия синхронного движения в переходных режимах элементов подъемной системы буровых установок (сборник научных трудов «Проектирование и испытание буровых установок»). – Свердловск: Уралмаш, 1989.

5. Файзуллин Р.М. Способы повышения эффективности бурового инструмента прорывные научные исследования: проблемы, закономерности, перспективы. – Пенза. – 2017. – 30 декабря. – С. 130–132.

6. Файзуллин Р.М. К вопросу о реализации функции автоматизированного восстановления сети. Лучшая научная статья 2017: Сборник статей XII Международного научно-практического конкурса. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2017. Файзуллин Р.М. Способы повышения эффективности бурового инструмента. Прорывные научные исследования: проблемы, закономерности, перспективы. Пенза, 30 декабря 2017 г.

7. Файзуллин Р.М. Современные преобразователи частоты для буровых установок: тенденции развития. VIII Международная научно-техническая конференция «ИННОВАЦИОННЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ» 4-5 апреля 2019 года, Екатеринбург 2019г.

8. Шевырев Ю.В. Математические модели электротехнических комплексов горных машин и буровых установок с тиристорным электроприводом постоянного тока//ПТЖ. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - М: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2004. #12.- с.20-27.

9. Siemens. Частотный преобразователь серии Siemens S120 (руководство по эксплуатации).

10. Файзуллин Р.М. Способы повышения эффективности бурового инструмента. Прорывные научные исследования: проблемы, закономерности, перспективы. Пенза, 30 декабря 2017 г.

УДК 622.2

ВЫБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В ЦЕЛЯХ УЛУЧШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГЛАВНЫХ АГРЕГАТОВ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

ФАЙЗУЛЛИН Р. М.¹

¹Уральский государственный горный университет

Аннотация. В статье рассматривается снижение энергозатрат и повышение эффективности работы буровой установки глубокого бурения, с помощью улучшения надёжности электропривода, исследование и сопоставление цифрового электропривода с электроприводом по системе тиристорный преобразователь-двигатель.

Ключевые слова: преобразователь частоты, электропривод, асинхронный двигатель, буровая установка, энергоэффективность.

THE CHOICE OF AN ELECTRIC DRIVE SYSTEM FOR MAIN UNITS OF THE DRILLING RIG

FAYZULLIN R. M.¹

¹Ural State Mining University

Abstract. The article deals with reducing energy consumption and improving the efficiency of a deep drilling rig by improving the reliability of the electric drive, research and comparison of a digital electric drive with an electric drive by the thyristor converter-motor system.

Keywords: frequency Converter, electric drive, asynchronous motor, drilling rig, energy efficiency.

На сегодняшний день крупные лидирующие производители на электротехническом рынке выпускают электропривод совместно комплектуя с системой автоматизации программируемых систем, которые можно применить в разных сферах деятельности предприятия и в том числе в буровых установках.

Область применения рассматриваемых типов электроприводов в большей степени определяются используемой базой силовых полупроводниковых энергетических преобразователей. В связи с большим спросом промышленности на управляемые силовые полупроводниковые приборы в модульных исполнениях: полевых транзисторов MOSFET, биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT), запираемых тиристоров с помощью интегрированного управления (IGCT) и запираемых тиристоров (GTO), разработчики изобрели полупроводниковый преобразователь, обеспечивающий плавное и экономичное установление скорости электродвигателя в широком диапазоне. На основе выпускаемых силовых полупроводниковых модулей производится регулируемый электропривод по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель, ПЧ – АД [1].

Если рабочая мощность электропривода до 1 МВт используют преобразователь частоты со встроенным модулем IGBT транзистором, если мощность двигателя превышает 1 МВт – используют встраиваемые модули GTO или IGCT.

Создание надежных преобразователей частоты для управления асинхронными электродвигателями с использованием средств микропроцессорной техники привело к массовому применению электроприводов по системе ПЧ – АД в разных промышленных отраслях.

Так же данный электропривод нашел применение в электроприводах главных механизмов буровых установок глубокого бурения. В современной промышленности имеет место тенденция к увеличению надёжности электропривода, которую в полной мере может обеспечить цифровой электропривод. Так же научные исследования показывают, что было выявлено и доказано преимущества использования электропривода (Simoreg 6RA7088–6KS22): (увеличение долговечности и надёжности; уменьшение пусконаладочных и ремонтных работ; уменьшение числа обслуживающего персонала; увеличение производительности, а также экономическая эффективность от установки двигателя постоянного тока с управляемым микропроцессорным преобразователем Simoreg 6RA7088–6KS22, по сравнению с двигателем постоянного тока [3,4,7,10].

Работа привода основана на принципе широтно-импульсной модуляции (ШИМ), для каждого привода используется индивидуальный инвертор. Инвертор построен по трехфазной мостовой схеме, которая состоит из шести полупроводниковых ключей.

Преимущества использования при применении электроприводов по системе ПЧ – АД переменного тока:

- благоприятная работа в оптимальных режимах для каждого интервала бурения, а также наилучшее использование установленной мощности.

- увеличение частоты вращения долота, средней мощности, подводимой к долоту

- возможность пуска главных механизмов под нагрузкой.

У каждого инвертора имеется своя индивидуальная микропроцессорная система управления. Для управления системой имеется контроллер прикладного программного обеспечения, с помощью которого можно в одно время управлять несколькими инверторами. Точность регулирования частоты вращения с обратной связью (ОС) от импульсного датчика:– 0,01 %, без обратной связи от 0,5 до 3 %.

В сравнение с электроприводом по системе тиристорный преобразователь-двигатель, частотно-регулируемый электропривод обладает следующими преимуществами:

1. Снижение габаритных размеров и массы электрооборудования;
2. Более высокая точность регулирования скорости;

3. С помощью прямого управления моментом реализуются требуемые показатели качества работы электропривода в динамическом режиме;

4. Снижение динамической нагрузки в передаточном механизме, поскольку момент инерции ротора асинхронного двигателя на много меньше момента инерции ротора двигателя постоянного тока;

5. Упрощенными средствами обеспечивается сопряжение системы автоматики с системы управления верхнего уровня [2];

6. Повышение долговечности и надежности, работающих в тяжелых климатических условиях эксплуатации;

7. С помощью встроенной системы диагностики уменьшаются затраты на обслуживание и простои технологического оборудования;

Блочные конструкции преобразователя частоты характеризуют высокий уровень эргономики и ремонтпригодности, а также малое время восстановительных работ, ремонт производится в основном путем замены блоков, что является весьма удобным и оперативным методом решения аварийных ситуаций, так как эксплуатация буровых установок производится вдали от ремонтных баз. Основным достоинством является также унификация схем электроприводов, конструкции элементов, функциональных узлов и блоков регулирования преобразователей.

Эффективность процесса бурения и качество строительства скважин во многом определяются возможностью оперативного управления режимом работы и ориентирования забойного оборудования с целью поддержания оптимальных параметров режима бурения и проводки скважины по заданной траектории. У буровой лебедки существуют 2 режима работы: СПО (спуско-подъемные операции) и РПД (регулятор подачи долота). И в то время как режим СПО изучен и оптимизирован, для РПД существуют различные варианты регулирования. Так же для обеспечения режима РПД, нужно поддерживать скорость подачи долота такой, чтобы одновременно учитывались несколько требований. Долото должно быть всегда в соприкосновении с грунтом с таким расчетом, чтобы происходил процесс бурения и в то же время, чтобы сам вес колонны труб не раздавил долото. Также надо следить за давлением промывочной жидкости, которая вымывает выработанную породу, иначе резко возросшее давление жидкости из-за провала долота в мягкий грунт выведет из строя насос.

Система автоматического регулирования электропривода регулятора подачи долота должна обеспечить следующие режимы работы:

- а) подъем и спуск талевого блока с грузом с заданной скоростью;
- б) поддержание заданной нагрузки на долото при бурении.
- в) поддержание заданного давления в манифольде с ограничением нагрузки на долото.

Кроме того, должен быть обеспечен специальный режим при монтаже буровой установки для подъема и опускания вышки и для аварийного подъема бурильных труб, в случае если основным приводом по какой-либо причине работать невозможно.

Наиболее целесообразным при бурении следует считать комбинированный двухконтурный способ управления режимом проводки скважин путем регулирования скорости подачи бурильной колонны и расхода бурового раствора. В этом случае возможна организация управления осевой нагрузкой в широком диапазоне и с необходимой точностью:

- «грубо» – регулированием подачи верхнего конца бурильной колонны;
- «точно» – регулированием расхода промывочной жидкости. Однако реализация этого способа представляется затруднительной вследствие разомкнутости указанных двух контуров управления, т.к. при этом не обеспечивается их согласованность. В

этой связи является перспективным создание систем согласованного управления основными агрегатами буровой установки [5].

Была разработана принципиальная схема, алгоритмы и модель автоматизированной системы управления режимом работы и ориентирования забойного оборудования при бурении скважин. АСУ обеспечивает в соответствии с разработанным алгоритмом согласованное регулирование скорости подачи колонны труб и расхода промышленной жидкости с целью поддержания заданных параметров режима бурения [4,6,3].

В современной промышленности имеет место тенденция к увеличению надёжности электропривода, которую в полной мере может обеспечить цифровой электропривод.

Использование асинхронного двигателя с фазным ротором уменьшает пусковой ток и увеличивает пусковой момент, с помощью использования пусковых реостатов в цепи ротора. Таким образом в связи с усложнением конструкции, и ценовой политики их применение ограничено. Основное применение – это механизмы с тяжелыми условиями пуска. Для уменьшения пускового тока асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором рекомендуют использовать преобразователь частоты или устройство плавного пуска.

Заключение.

На данный момент все большее активно распространяется использование частотно-регулируемого привода, выполненного на базе АД с короткозамкнутым ротором.

С помощью частотно-регулируемого электропривода выполняются следующие задачи: плавный пуск двигателя и уменьшение пусковых токов, экономия электроэнергии, увеличение срока срока эксплуатации электродвигателя.

В сравнении с электроприводом постоянного тока электропривод переменного тока имеет преимущества: простота исполнения, надёжность, , относительная доступная стоимость двигателя, который не требует постоянного обслуживания, что значительно снижает эксплуатационные затраты по двигателям, коэффициент мощности, приближенный к единице. Так же нет необходимости использования фильтрокомпенсирующего устройства, высокая энергоэффективность, не критичны к качеству питающей сети в режимах рекуперации электроэнергии, из этого следует стабильная работа и уменьшение аварийных случаев в работе. Возможны просадки напряжения питания без отключения электропривода. И соответственно цена преобразователя частоты – асинхронный двигатель сопоставима со стоимостью ТП-Д..

Библиографический список

1. Ковалев, Л. К. Синхронные электродвигатели с радиально-тангенциальными магнитами / Л. К. Ковалев, Ю. Ю. Кавун, Д. С. Дежин // *Электричество*. 2007. - № 11. - С. 16-23.
2. Алиев, И. И. Асинхронный энергосберегающий двигатель / И. И. Алиев *Электротехника*. 2001. № 11. С. 39-41.
3. Горожанкин, А.Н. Коммутационные потери в электроприводе с синхронным реактивным двигателем независимого возбуждения / А.Н. Горожанкин // *Вестник ЮУрГУ. Серия "Энергетика"*. 2009. - Выпуск 12. - №34 (167). - С. 56-59.
4. Файзуллин Р.М. О преимуществах цифрового электропривода simoreg 6ra7088-6ks22 буровой лебедки // *Образование и наука: современные тренды / Коллективная монография. Сер. "Научно-методическая библиотека "* гл. ред. О. Н. Широков. – Чебоксары, 2018. – С. 195-205.
5. Электронный ресурс: <https://www.szemo.ru/press-tsentr/article/kak-pravilno-podobrat-elektrodvigatel/>
6. Файзуллин Р.М. Современные преобразователи частоты для буровых установок: тенденции развития. VIII Международная научно-техническая конференция «Инновационные гео-

технологии при разработке рудных и нерудных месторождений» 4-5 апреля 2019 года, Екатеринбург 2019 г.

7. Файзуллин Р.М. Способы повышения эффективности бурового инструмента. Прорывные научные исследования: проблемы, закономерности, перспективы. Пенза, 30 декабря 2017 г.

8. Моцохейн Б.И. Электропривод буровых лебедок / Б.И. Моцохейн, Б.М. Парфенов. М.: Недра, 1978. С. 304.

9. Проектирование электроприводов: Справочник / А.М. Вейнгер, В.В. Караман, Ю.С. Тартаковский, В.П. Чудновский; под ред. А.М. Вейнгера. – Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1980.

10. Антропов Д.С., Петров Т.А. Автоматизация технологических процессов// Современные технологии автоматизации. 2003. №4. С. 24-29.

УДК 004.92:371.3

СТИЛИ ПРОМЫШЛЕННОГО ДИЗАЙНА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ДЕНИСОВА М. В.¹, ШАНГИНА Е. И.¹

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. Рассмотрение стилей промышленного дизайна инженерно-технических сооружений в машиностроении. Инструменты и этапы промышленного дизайна в машиностроении.

Ключевые слова: промышленный дизайн, техническая эстетика, стиль.

STYLE OF INDUSTRIAL DESIGN OF ENGINEERING STRUCTURES IN MECHANICAL ENGINEERING

DENISOVA M. V.¹, SHANGINA E. I.¹

¹FGBOU VO "Ural State Mining University"

Abstract. Consideration of industrial design styles of engineering structures in mechanical engineering. Tools and stages of industrial design in mechanical engineering.

Key words: industrial design, technical aesthetics, style.

Введение

Техническая эстетика: противоречие техники и искусства. Промышленный дизайн – область дизайна, целью которой является формообразование промышленно производимых изделий с учетом их технических и функциональных характеристик.

Важное место в деятельности промышленного дизайнера продукция машиностроения и средства транспорта. Каждый предмет, который мы используем, является примером промышленного дизайна. При разработке дизайна инженерно-технических сооружений важно, чтоб они были функционально эффективными, безопасными и экономически выгодными.

Инженерно–технические сооружения при введении в эксплуатацию должны иметь определенную заказчиком функциональную мощность. От нее напрямую зависят и безопасность использования объекта, и его экономическая эффективность.

Внешний вид имеет, на первый взгляд, только эстетическое значение. Но техническая эстетика при проектировании несет в себе более глубокий смысл и свое функциональное назначение.

Техническая эстетика, как теоретическая основа промышленного дизайна, отражает социально-культурные, технические и эстетические проблемы формирования гармоничной среды, окружающей человека и включает множество научных направлений, школ, концепций и методик, возникших в процессе её становления и развития.

В целях решения противоречия техники и искусства необходимо соединить в одном процессе разработку технических решений и творческий подход, отражающий техническую эстетику и культуру производства.

Успех конечного продукта во многом зависит от его дизайна. Для потребителя важны не только функциональные характеристики продукта, но и его эстетическое восприятие, выраженные в визуальных характеристиках продукта, а также применение различных стилей оформления.

Комплексное ожидание потребителя включает в себя удобство использования, удобство обслуживания, уменьшение затрат на производство оборудования.

Инструменты промышленного дизайна

Техническое задание, сочетающее определенную заказчиком функциональную мощность и потребительские характеристики оборудования.

Одним из главных, если не важнейшим инструментом промышленного дизайнера является правильно подготовленное частное техническое задание на дизайнерскую разработку или специальный раздел в общем ТЗ, определяющий конечные требования к результату. Очень важно предусмотреть возможность согласования всех этапов до начала конструкторской разработки.

Ведомственные нормативные документы, Санитарные нормы и правила, ГОСТ.

Правильное применение нормативных и руководящих документов позволяет повысить эффективность труда дизайнера и исключить ненужные итерации циклов проектирования. Ключевым инструментом является наличие необходимых компетенций, в данном случае машиностроительных. Вот некоторые из необходимых документов:

- СН 181-70 «Указания по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий».

- СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

- ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

- ГОСТ 12969-67 «Таблички для машин и приборов. Технические требования».

Автоматизация процесса проектирования

Автоматизация труда промышленного дизайнера позволяет полноценно встроиться в непрерывный цикл проектирования инженерно-технических сооружений в машиностроении и своевременно реагировать на запросы заказчика, внося качественные изменения в проектную документацию, непосредственно участвуя в коллективном процессе конструкторской разработки. Стандартом де-факто в данной отрасли являются продукты компании Autodesk.

Стили промышленного дизайна в машиностроении.

Стили в промышленном дизайне многообразны, но в рамках исследования дизайна инженерно-технических сооружений в машиностроении могут быть объединены в группы:

- Инженерный стиль
- Архитектурный стиль
- Инженерный китч

Инженерный стиль решает утилитарные и функциональные задачи создаваемых станков, механизмов и различных технических устройств. В простых, угловатых функциональных конструкциях определяется техническая красота простоты. Тем не менее именно инженерный стиль позволяет качественно проработать интерфейсы взаимодействия с человеком и при правильном использовании цветовых сочетаний формирует современный промышленный дизайн.

Архитектурный стиль применяется для крупных, не высокотехнологичных механизмов и транспортных средств. Он наследует формы первичной обработки корпусов механизмов, определяя грубые формы, подобные архитектурным элементам, таким как колонны, карнизы и полки. Этот стиль не всегда отвечает требованиям эксплуатации механических станков и транспорта.

Инженерный китч. С целью улучшения эстетических свойств выпускаемых изделий, стиль реализуется украшением и повторением известных или «красивых» элементов существующей внешней формы.

Правильный выбор стиля позволяет безошибочно найти идею и качественно проработать концепцию дизайн-проекта. Далее через эскизы происходит соединение ключевых технических характеристик и художественного замысла. Далее при помощи правильного цветового решения можно увеличить возможность изделия быть увиденным, улучшить его восприятие и повысить позитивное отношение к продукту.

Цвета предметов определяются на основании восприятия человеком.

Название цвета выражает:

- различные оттенки (по светлоте и яркости): темно-зеленый, светло-синий, темно-оранжевый, светло-оливковый, умеренный фиолетовый, тусклый серый;
- сходство с цветами минералов: серебро, опал, изумруд, аметист, платина, черная сталь;
- сходство с цветами растительного и животного мира: грушевый, вишневый, абрикосовый, васильковый, слоновой кости, синий цвета яиц странствующего дрозда, цвет шелковистых нитевидных пестиков початков неспелой кукурузы;
- сходство с цветом продуктов: малиновое вино, топленое молоко, ваниль, шоколад, сливки;
- состояние окружающего мира: ночное небо, зеленая долина, морская волна;
- эмоциональное состояние: цвет бедра испуганной нимфы, последний вздох Жако, цвет влюбленной жабы, цвет паука, замышляющего преступление;
- признаки различных ассоциаций: сумерки богов, античное золото, цвет маркизы Помпадур;

Цвет определяется не только зрительно, но психологически, поэтому природа цвета может изучаться с разных позиций. Необходимо использовать техническую эстетику воздействия цвета, используя знания в области физиологии и психологии цвета.

Круг Гёте (рис.1) служит для решения задач цветовой гармонии. При помощи него можно быстро найти сочетания цветов, увидеть, из каких составляющих образуется тот или иной цвет. [2]



Рисунок 1 – Круг Гёте

При дальнейшей проработке макета очень важно использовать автоматизацию процесса и создать трехмерную модель с целью получения качественной визуализации, что помогает легко передать проект в конструкторскую разработку и создание прототипа конечного продукта.

Заключение

По результатам сравнительного анализа дизайна продукции "Экспериментально-го завода" Пресс камнекольный "Антей-50" (рис.2) и "Steinex" (рис.3) предлагается обновить дизайн камнекольного прессы на основе вышерассмотренного материала.



Рисунок 2



Рисунок 3

Пресс камнекольный "Антей-50" не имеет устойчивой архитектурной формы, основание машины имеет выступающие части конструкции, что не безопасно для потребителя. Цветовое решение так же не отвечает требованиям безопасности, рабочая

поверхность сливается с режущим механизмом, нет акцентов на опасные детали конструкции.

Пресс камнекольный "Steinex", напротив, выглядит законченным, проработанным решением и имеет цельную архитектурную форму. Цветовое решение отвечает всем стандартам и нормам для работы с оборудованием такого класса.

Библиографический список

1. Цветовое оформление на железнодорожном транспорте/Т. Л. Соснова, Ю. В. Фрид, Е. Г. Соколова, Е. И. Лосева. - М.: Транспорт, 1984. - 200. с., УДК 635.6:656.2.
2. Промышленный дизайн: учебник / М.С. Кухта, В.И. Куманин, М.Л. Соколова, М.Г. Гольдшмидт; под ред. И.В. Голубятникова, М.С. Кухты; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013 – 312 с., УДК 658.512.23(075.8).
3. Курс промышленного дизайна/Александр Отт, Художественно-педагогическое издательство, 2005, УДК 658.512.23(084.1)(075)
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленный_дизайн

УДК 622.2

ТИПОВЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

ФАЙЗУЛЛИН Р. М.¹, КАРЯКИН А. Л.¹

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. В статье рассматриваются возможности повышения эффективности спуско-подъемного агрегата и снижению затрат на спуско-подъемные операции а так же повышение энергоэффективности главных механизмов буровой установки глубокого бурения.

Ключевые слова: электропривод, буровая установка, асинхронный двигатель, преобразователь частоты.

TYPICAL OPERATING MODES OF THE ELECTRIC DRIVE

FAYZULLIN R. M.¹, KARYAKIN A. L.¹

¹Ural State Mining University

Abstract: The article discusses the possibilities of increasing the efficiency of the down-lift unit and reducing the cost of down-lift operations, as well as increasing the energy efficiency of the main mechanisms of the deep drilling rig.

Keywords: electric drive, drilling rig, asynchronous motor, frequency converter.

Современная буровая установка – «это сложный комплекс различных по назначению машин, механизмов, сооружений, приборов, инструмента, с помощью которых осуществляются все процессы, связанные с бурением скважин» [1].

На сегодняшний день эффективный способ повышения энергетических показателей системы питания буровой установки глубокого бурения является замена регулируемого электропривода по системе ТП – Д (тиристорный преобразователь-двигатель) постоянного тока на частотно – регулируемый электропривод переменного тока с применением преобразователя частоты ПЧ с пассивным выпрямителем. Подобный выпрямитель обеспечивает практически синусоидальный сетевой ток, уменьшение падения напряжения на вводе электротехнического комплекса буровой установки и коэффициент мощности близкий единицы. Поэтому применение частотно – регулируемого элек-

тропровода с пассивным выпрямителем способствует исключению ФКУ в сети питания БУ. Наряду с повышением энергетических показателей частотный – регулируемый электропривод позволит сократить массу и стоимость приводного электродвигателя, решить при необходимости проблему взрывозащищенности приводного электродвигателя.

Оценить энергетические показатели системы питания электротехнического комплекса БУ с асинхронными частотно – регулируемыми приводами ее механизмов можно на примере буровой установки БУ 4200/250 ЭЧРК-БМ, предназначена для бурения газовых и нефтяных скважин с условной глубиной до 4200 м., работающих в условиях крайнего севера. Для главных механизмов бурения насосов, лебёдки и ротора буровой установки обоснованно применение асинхронных двигателей мощностью 1120 кВт и скоростью 1070/3000 об/мин. Управляемым источником их питания принято автономным инвертор напряжения типа Sinamics S120 на основе IGBT транзисторов с широтно–импульсной модуляции выходного напряжения [2]. Для питания двигателя лебёдки на основании предварительных расчётов используются два параллельно включённых Инвертора частоты SINAMICS S120 на номинальный ток 910А. Необходимый для привода лебёдки режим работы инверторов представляет собой (по терминологии фирмы Siemens) режим "высокой перегрузки". Для такого режима введено понятие "базовый ток" и равный для одного инвертора 800 А. При параллельной работе двух инверторов их общий базовый ток следует определять как удвоенной ток одного Инвертора, умноженный на коэффициент 0,95, то есть как: $I_{\max} = 800 \cdot 2 \cdot 0,95 = 1520 \text{ А}$. По отношению именно к этому базовому току далее анализируются энергетические режимы работы привода лебёдки и указываются коэффициенты кратковременных перегрузок по току с указанием допустимого времени их действия. В таблице 1 представлены результаты расчётных токовых нагрузок автономных инверторов электропровода лебёдки БУ 4200/250 ЭЧРК-БМ при различных её технологических режимах.

Таблица 1. Режимы токовых перегрузок инвертора привода лебедки

Технологические режимы	Максимальный требуемый ток $I_{\text{треб}}$, его длит.	Допустимый макс. ток $I_{\text{доп}}$	Допустимые длительные перегрузки	Соотношение $I_{\text{треб}}/I_{\text{доп}}$
1 передача				
Максимальная грузоподъемность	1710 А 60 с	1670 А	60 с	~1
Подъем обсадной колонны	1550 А 70 с	1670 А	70 с	0,93
2 передача				
Подъем бурильной колонны номинального веса	1574 А До 50 с	1670 А	70 с	0,94
Начальный период пуска при подъеме колонны	1940 А 6-8 с	2130 А	6-8 с	0,91

В соответствии с представленными нагрузками и режимами работы электроприводов главных механизмов БУ 4200/250 ЭЧРК-БМ на основе разработанной программы, единой для привода постоянного и переменного токов, были выполнены расчёты энергетических показателей всего электротехнического комплекса БУ [3].

Заключение. Учитывая что современные преобразователи частоты, оснащенные блоками рекуперации, обладают высокой технической надежностью, можно с уверенностью предположить о целесообразности их доминирующего применения в электроприводах буровой установки. Основными преимуществами данных систем в многодвигательных электроприводах буровой установки являются:

- отсутствие необходимости в компенсации реактивной мощности благодаря близкому к единице коэффициенту мощности ШИМ-инвертора (коэффициент мощности на основной гармонике достигает нуля $0,97 \div 0,99$; суммарный коэффициент мощности $-0,93 \div 0,95$);

- уменьшение расчётной мощности питающего трансформатора благодаря высокому коэффициенту мощности использованию принципа общей ширины постоянного тока;

- значительная экономия электроэнергии благодаря высокому суммарному КПД системы (на номинальной мощности до 98 %);

- минимальные затраты средств на техобслуживание и ремонт системы электропривода благодаря применению асинхронных короткозамкнутым электродвигатели закрытого исполнения (IP 55), что повышает надёжность работы крайне благоприятных условиях внешней среды эксплуатации буровой установки.

Библиографический список

1. Абрамов Б.И., Авдийский Е.И., Коган А.И., Кожиков О.И., Моцохейн Б.И., Парфенов Б.М. Современные и перспективные электрооборудование установок для бурения скважин глубиной до 3900 м. "Электротехника", 2001, № 1, с. 11-16.

2. Siemens. Частотный преобразователь серии Siemens S120 (руководство по эксплуатации).

3. Шевырев Ю. В. Математические модели электротехнических комплексов горных машин и буровых установок с тиристорным электроприводом постоянного тока//ПТЖ. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - М: ОАО "ВНИИОЭНГ", 2004. №12. с.20-27.

4. Файзуллин Р. М. Способы повышения эффективности бурового инструмента. Прорывные научные исследования: проблемы, закономерности, перспективы. Пенза, 30 декабря 2017 г.

УДК 622.83

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РАЗДЕЛКИ СОПРЯЖЕНИЯ ВЫРАБОТОК В ВЫСОКОМОДУЛЬНОМ МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД

ЕФРЕМОВ Е. Ю.¹

¹Институт горного дела УрО РАН

Аннотация. В статье рассмотрено использование маркшейдерских методов при геомеханическом сопровождении разделки сопряжения горизонтальных и вертикальных выработок. Исследования включали измерение конвергенции тубинговой крепи ствола и железобетонной крепи околоствольного двора. В качестве источника разгрузки крепи использовался демонтаж двух железобетонных перегородок, отделяющих сопряжения ствола от горизонтальных выработок. Статистический анализ замеров деформации крепи ствола и конвергенции стенок горизонтальных выработок, выполненный на основе *t* критерия Стьюдента, показал существенный прирост деформаций крепи и вмещающего массива в условиях 6-месячного отсутствия проходческих работ.

Ключевые слова: мониторинг, шахтный ствол, сопряжение, напряженно-деформированное состояние, конвергенция.

GEOMECHANICAL SUPPORT OF CUTTING COUPLING OF WORKINGS IN A HIGH MODULUS ROCK MASS

EFREMOV E. YU.¹

¹Institute of mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences

Abstract. The article considers the use of surveying methods for geomechanical support of cutting the interface of horizontal and vertical workings. The research included measuring the convergence of the tubing support of the trunk and the reinforced concrete support of the near-trunk yard. As a source of support unloading, the dismantling of two reinforced concrete partitions separating the shaft interfaces from horizontal workings was used. Statistical analysis of measurements of deformation of the trunk lining and convergence of the walls of the horizontal excavations made on the basis of the *t* of student test, showed a significant increase of the deformations of the lining and enclosing the array in a 6-month absence tunnelling works.

Keywords: monitoring, mine shaft, coupling, stress-strain state, convergence.

Маркшейдерские методы измерений – важный источник информации геомеханических исследований. С их помощью можно отслеживать практически любые (значимые для решения прикладных геомеханических задач) деформационные проявления в крепи и вмещающем породном массиве для любых типов горных выработок. Хорошие результаты дает комбинирование маркшейдерских измерений с численными методами моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) крепи и массива окружающих горных пород [1-6].

При проектировании подземных выработок в крепких породах [7,8] необходимо иметь качественные данные о напряженно-деформированном состоянии окружающего массива. Вместе с тем в массивах крепких и высокомодульных скальных горных пород,

где абсолютные величины деформационных проявлений сопоставимы с достижимым уровнем точности современных измерительных приборов, применение маркшейдерских методов сопряжено с существенными сложностями. Кроме применения высокоточных приборов возникает необходимость в совершенствовании техники измерений и статистической обработки получаемых данных. Проблема усугубляется при выполнении геомеханических исследований в породных массивах с повышенными горизонтальными напряжениями тектонической природы.

В статье представлены анализ точности и результаты применения маркшейдерских измерений при исследованиях НДС сопряжения вертикального шахтного ствола с горизонтальными выработками. Исследования выполнены в процессе строительства 2-й очереди шахты «10-летия независимости Казахстана» Донского ГОКа (г. Хромтау, Казахстан), расположенной в типичных условиях горно-складчатой области Южного Урала.

При разделке сопряжения на глубине 980 м (горизонта -560 м) ствола «Вентиляционный» шахты «10-летия независимости Казахстана» разрушились два тубинговых кольца № 22 и № 30. Кольцо № 30 лопнуло со стороны грузовой ветви, данное кольцо непосредственно примыкает к сопряжению, отметка низа кольца – 564.5 м. Произошел отрыв полки тубинга кольца № 22, отметка верха кольца – 551 м. В 2012 г по окончании проходки и крепления выработок сопряжения на горизонте -560 м, перед возобновлением углубки ствола обе выработки были перекрыты железобетонными перемычками толщиной около 0,5 м, выполненными в виде сплошных стен, на метр не достигающими кровли расщелин. Для армирования перемычек использовались швеллерные балки В 30, размещенные горизонтально через 1 м (по высоте), и арматурные стержни диаметром 16 мм, установленные в 2 ряда по сетке 25 × 25 см. Подобные аварийные ситуации, как правило, вызываются несоответствием крепи характеристикам массива.[9-11]

После окончания проходки ствола был произведен демонтаж перемычек, сопровождаемый данными исследованиями. Основными задачами маркшейдерских измерений являлись определение наличия или отсутствия деформаций камер сопряжения после ликвидации перемычек и выявление деформаций тубинговой крепи ствола на горизонте -560 м,

Методы исследования и результаты

Для решения поставленных задач был произведен комплекс натуральных измерений, состоящий из двух составляющих. Первая – определение горизонтальных размеров поперечного сечения грузовой и порожней камер до и после демонтажа железобетонных перегородок, а также спустя 6 месяцев после ликвидации перегородок. Измерения проводились по методу измерения конвергенции горизонтальных горных выработок [12-14], разработанному на основании способов определения деформаций на больших базах [15,16]. Для этого на расстоянии, не превышающем 0.5 м от перегородки, закладывалась группа деформационных марок, положение которых определялось со среднеквадратической ошибкой 0.35 мм. Смещения деформационных марок в плоскости поперечного сечения камер ассоциировались с конвергенцией железобетонной крепи, вызванной перераспределением напряжений в законтурном массиве в процессе демонтажа перегородки.

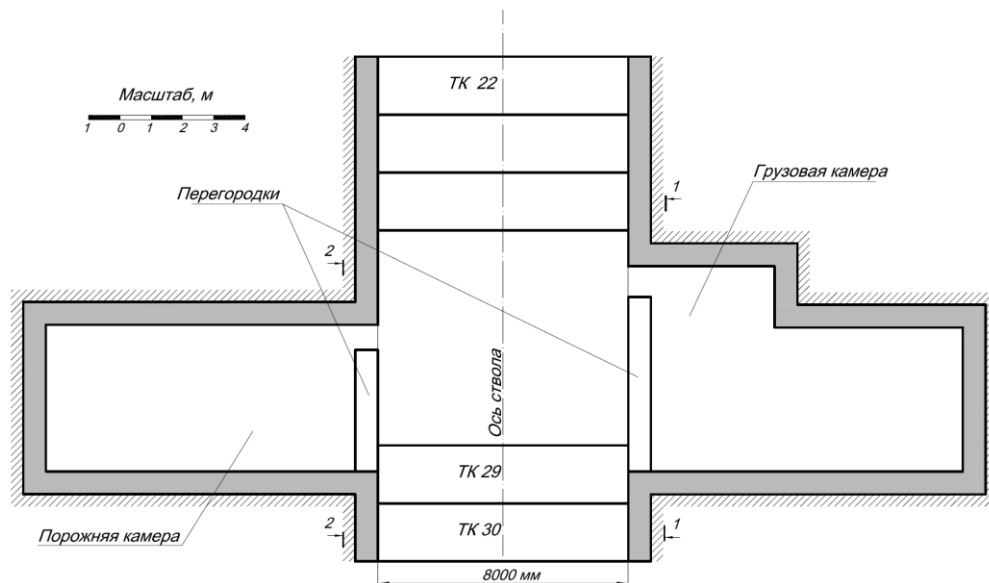


Рисунок 1 – Схема сопряжения ствола “Вентиляционный” с гор. -560 м

Среднеквадратическая ошибка определения положения марки величиной 0.35 мм означает, что относительная точность измерения поперечного размера камер составила около 0.0001. Измерения выполнялись с помощью электронного тахеометра Sokkia net 1200, применяемым в подобных исследованиях [17,18], с паспортной среднеквадратической ошибкой (СКО) измерения одна угловая секунда, двумя полными приемами. На рисунках 2, 3 сопоставлены СКО положения и абсолютной величины смещения для каждой деформационной марки, расположенной в обеих камерах.

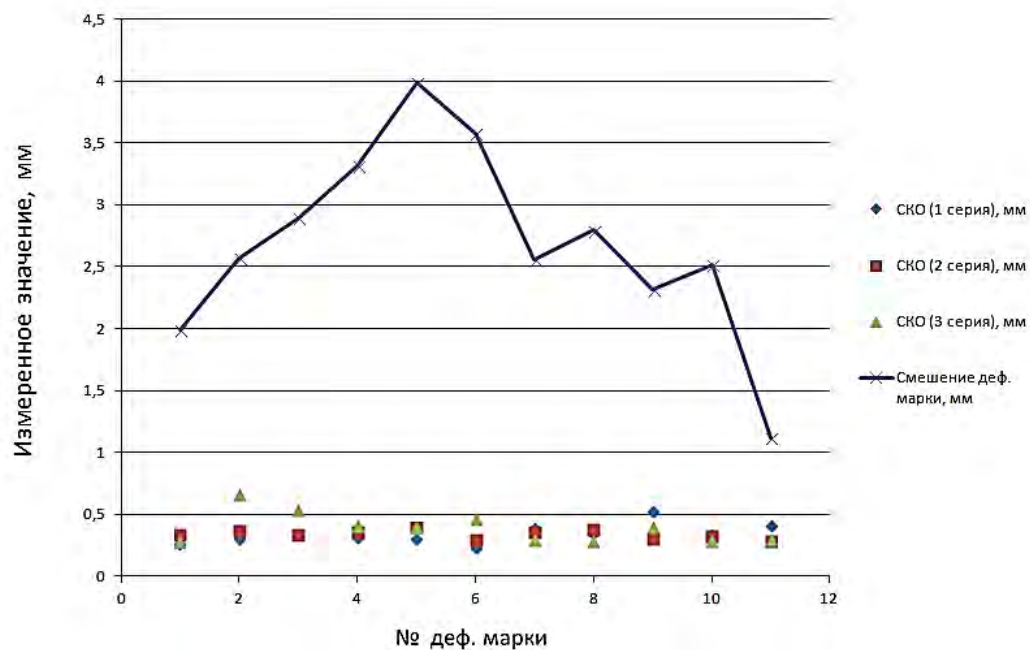


Рисунок 2 – Сопоставление среднеквадратической ошибки (СКО) положения и абсолютной величины смещения деформационных марок грузовой камеры

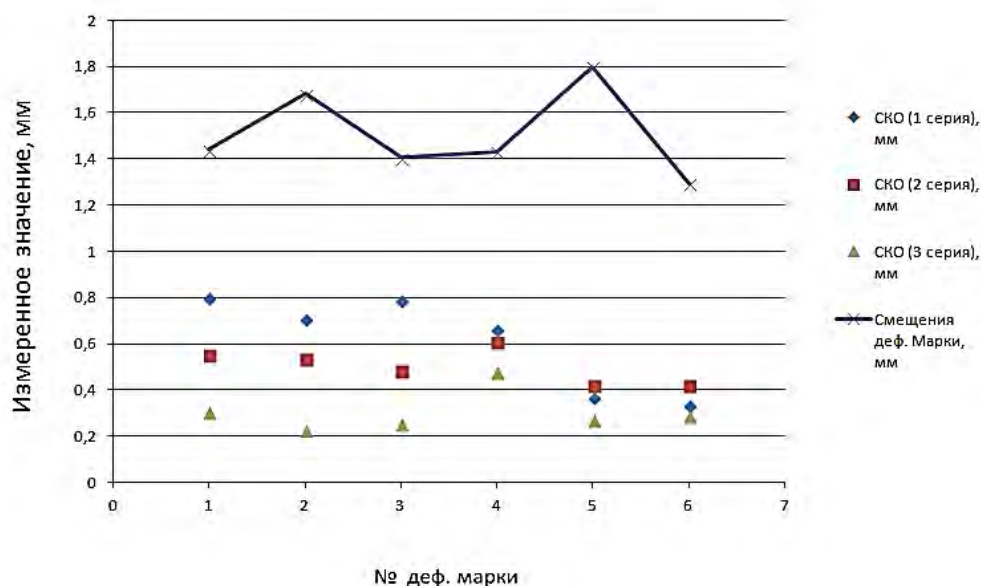


Рисунок 3 – Сопоставление среднеквадратической ошибки (СКО) положения и абсолютной величины смещения деформационных марок порожней камеры

Расчеты показали, что величины измеренных смещений превышают точность определения положения в 1,6 – 5 раз в порожней камере, и в 2 – 10 раз в грузовой камере.

Результаты измерений приведены в таблицах 1 – 2

Таблица 1

Смещения деформационных марок, грузовая камера, гор. -560 м

№№ реперов	Расстояние от репера до почвы выработки, мм	Смещения после демонтажа перегородки, мм	Смещения спустя 6 месяцев, мм
северная стенка			
1	419	1,6	2
2	884	2	2,6
3	1209	1,6	2,9
4	1674	1,5	3,4
5	2700	2,1	3,9
южная стенка			
11	419	0,4	2,2
10	1070	1,6	2,5
9	1209	1,1	2,3
8	1488	1,1	2,8
7	1674	1,8	2,6
6	2690	1,9	3,6
Среднеарифметическое по N = 11 реперам		1,5	2,8

Таблица 2

Смещения деформационных марок, порожняя камера, гор. -560 м

№№ реперов	Расстояние от репера до почвы выработки, мм	Смещения после демонтажа перегородки, мм	Смещения спустя 6 месяцев, мм
южная стенка			
1	467	0,8	1,3
2	1052	1,4	1,8
3	1519	0,9	1,4
северная стенка			
6	467	0,8	1,4
5	1052	1,3	1,7
4	1519	1,0	1,4
Среднеарифметическое по N = 6 реперам		1,0	1,5

Результаты измерений показывают, что для грузовой камеры, с увеличением расстояния от почвы выработки, смещения растут, максимальное смещение зафиксировано на деформационных марках, ближайших к середине выработки, Рисунки 4,5. Этот тренд менее выражен в порожней камере, кроме того порожняя камера, меньше габаритами, меньше база разгрузки, и соответственно меньше зафиксированные смещения деформационных марок.

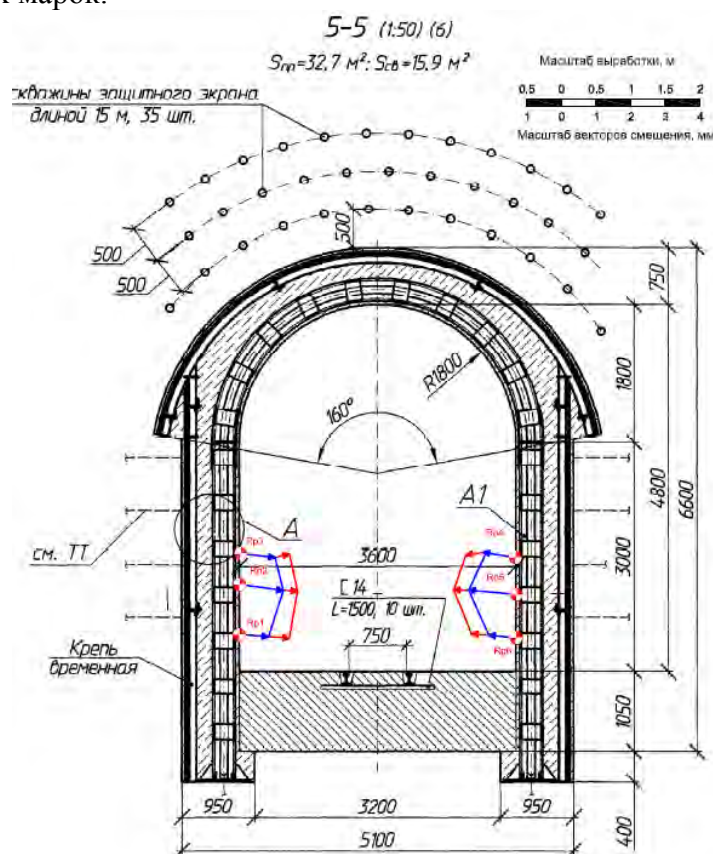


Рисунок 4 – Смещения деформационных марок, порожняя камера, гор. -560 м. Синим цветом показаны смещения после демонтажа перегородки, красным – спустя шесть месяцев

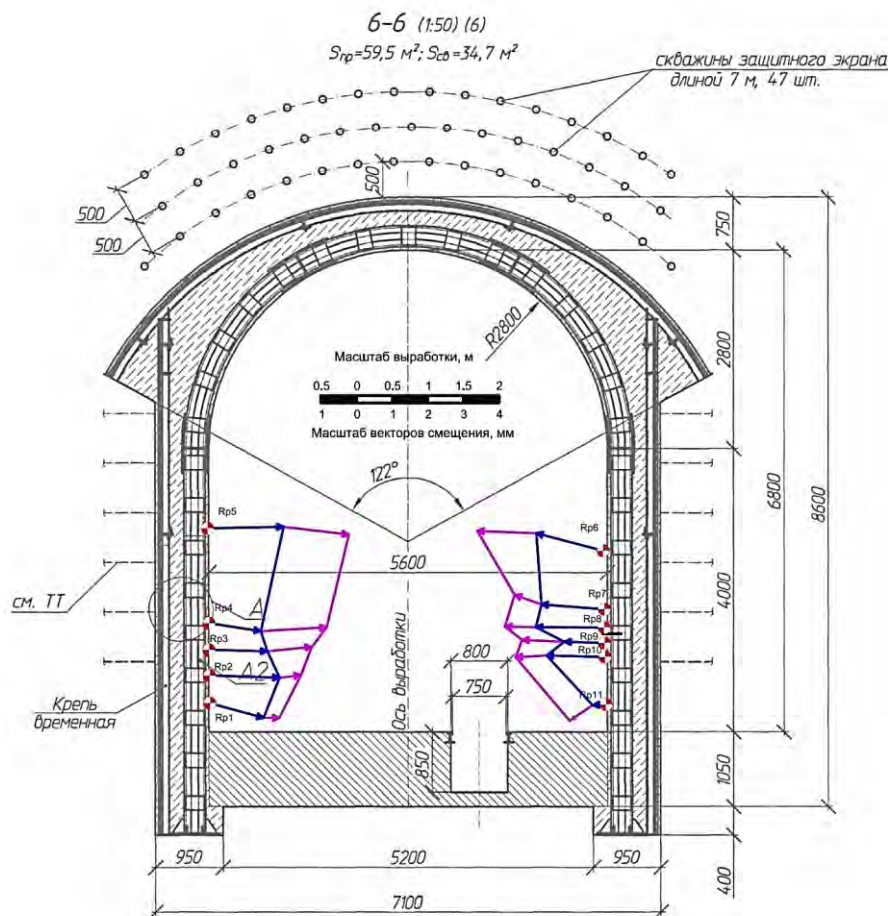


Рисунок 5 – Смещения деформационных марок, грузовая камера, гор. -560 м. Синим цветом показаны смещения после демонтажа перегородки, фиолетовым – спустя шесть месяцев

Вторая составляющая комплекса исследований включала определение деформации тубинговой крепи. Проводились измерения радиусов колец №30 и № 31 относительно центрального отвеса. Полученные величины сравнивались с проектными значениями и результатами предыдущих измерений, выполненных в 2012 г. Измерения осуществлялись с помощью рулетки, стандартной маркшейдерской техникой с натяжением рулетки 10 кгс. Расхождения между отчетами не превышали 2 мм.

Для обоснования статистической значимости произошедших изменений в эллипсоидности тубинговых колец 30 и 31 использован метод попарного сопоставления разностей показателей 2012 и 2016 гг по каждому тубингу в отдельности. Значимость замеренных изменений оценивается на основании сопоставления табличных коэффициентов Стьюдента t с расчетными, получаемыми из выражения:

$$t = \frac{\sum d}{\sqrt{\frac{N \sum d^2 - (\sum d)^2}{N - 1}}}$$

где d - разности попарных показателей 2016 и 2012 гг; N - количество сопоставляемых пар показателей 2016 и 2012 гг.

Проверяется, при каком уровне доверительной вероятности абсолютная величина расчетного коэффициента t окажется больше ее табличного значения (взятого при том же N), что будет свидетельствовать о не случайности замеренных изменений.

Исходные данные для статистической обработки результатов замеров представлены в таблице 3. Учитывая, что изменения эллипсоидности тубинговых колец могут происходить как с увеличением, так и с уменьшением радиуса, расчеты выполнены отдельно по секторам с увеличением замеряемых радиусов и с их уменьшением.

Таблица 3.

Отклонения радиусов (в миллиметрах) тубинговых колец №30 и №31 от проектного кругового сечения радиусом 400 мм

	азимуты радиусов, градусы															
	0	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360
Кольцо 30																
Измерения 2012 г	-59	-30	29	113	128	9	-	-	-	-	33	39	-6	-35	-59	-59
Измерения 2016 г	-64	-45	7	150	142	-18	89	62	33	17	58	35	13	-29	-67	-64
Разность показателей 2016 – 2012 d , мм	-5	-15	-22	37	14	-27	33	20	-8	-2	25	-4	-7	6	-8	-5
Направление изменения радиуса	уменьшение			увеличение			уменьшение				увеличение		уменьшение			
Кольцо 31																
Измерения 2012г	-43	-40	11	56	32	6	-	-	-	-8	-8	-4	-	-24	-45	-43
Измерения 2016	-58	-40	5	50	52	18	49	67	43	30	-6	18	-2	-30	-44	-58
Разность показателей 2016 – 2012 d , мм	-15	0	-6	-6	20	12	12	39	20	22	2	22	16	-6	1	-15
Направление изменения радиуса	уменьшение				увеличение		уменьшение				увеличение			уменьшение		

Результаты расчетов:

По секторам с возрастанием радиуса (т.е. для $N = 9$) $t = 2,07$.

Это значение коэффициента Стьюдента превышает табличное при доверительной вероятности 93 %.

По секторам с уменьшением радиуса (для $N = 9$) $t = -3,71$.

Это значение превышает табличное даже для доверительной вероятности 99 %, при которой $t = -2,82$.

На основании натуральных измерений рассчитаны усредненные отклонения радиусов ствола для колец №30 и №31, представленные на рисунке 6 в соответствии с азимутами поперечного сечения ствола. Аналогичным образом на рисунках 7 и 8 приведены данные этих же замеров, в форме круговой диаграммы для каждого кольца в отдельности.

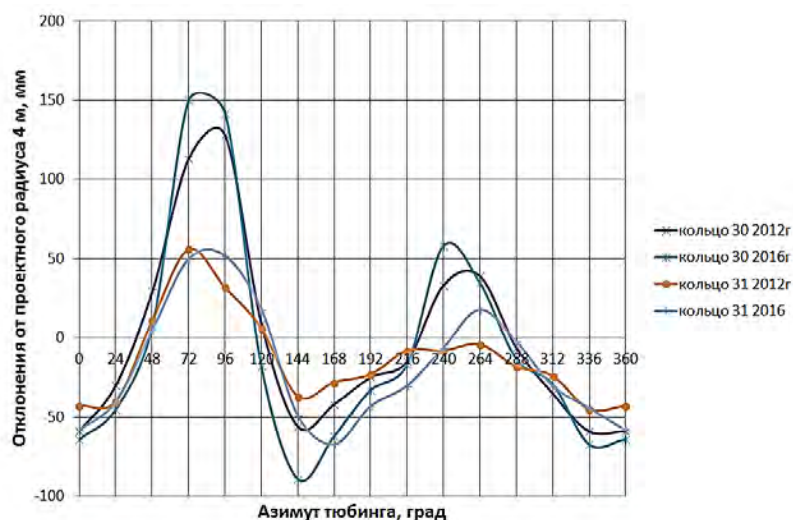


Рисунок 6 – Отклонения радиусов тубинговых колец №30 и №31 ствола «Вентиляционный» от проектного кругового сечения радиусом 400 мм

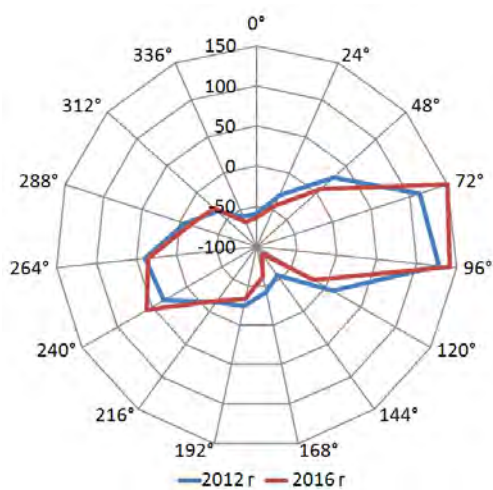


Рисунок 7 – Отклонения радиусов тубингового кольца №30 от проектного кругового сечения радиусом 400 мм (в миллиметрах)

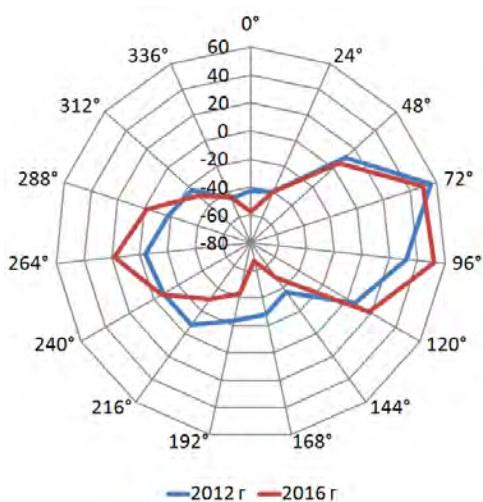


Рисунок 8 – Отклонения радиусов тубингового кольца №31 от проектного кругового сечения радиусом 400 мм (в миллиметрах)

Закключение.

1. Зафиксированные в период с 2012 по 2016 гг изменения эллипсоидности тьюбинговых колец: вытягивание в субширотном направлении, в среднем, на 16 мм и ортогональное ему сжатие на 12 мм, случайными не являются. Измерения с высокой степенью достоверности отражают реальные изменения НДС шахтной крепи и окружающего породного массива, произошедшие за это время. Направление главных действующих напряжений – субширотное, азимут σ_1 лежит в пределах 70° - 90° .

2. Сформировавшаяся на проблемном участке ствола «Клетевой» эллипсоидность тьюбинговых колец остается на порядки меньше обоснованных критических значений, при которых возможна потеря конструкционной устойчивости крепи. Однако существенен сам факт изменений эллипсоидности на 12 – 16 мм, произошедших в течение 4 лет последующей проходки ствола.

3. Анализ полученных результатов измерения конвергенции свидетельствует о незначительности влияния демонтажа перегородок на НДС крепи в обеих выработках сопряжения. Конвергенция стенок на 3 - 7 мм обуславливает относительную деформацию железобетона порядка 0,001 мм/м, что соответствует приращениям в нем сжимающих напряжений в пределах сотых долей МПа.

4. Заслуживает внимания факт приростов смещений стенок выработки, произошедших через 6 месяцев, в условиях отсутствия каких либо проходческих работ в стволе и прилегающих выработках. Статистический сопоставительный анализ 6-месячных приращений смещений показывает, что даже для конвергенции стенок порожней выработки, замеренной всего лишь по $N = 3$ реперным линиям, коэффициент Стьюдента $t = 7,8$. А это превышает табличное t при доверительной вероятности 93 – 98 %, что свидетельствует о существенности тех приростов смещений стенок выработки на 33 – 46 %, которые произошли с февраля по сентябрь 2016 г в отсутствие горных работ.

5. Проявляется корреляция (коэффициент $R > 70\%$) между удалением деформационной марки от почвы выработки и фиксируемым смещением стенок. Максимальные смещения происходят в средней части стенок: при максимальном удалении от почвы и кровли.

Библиографический список

1. Deformation and mechanical characteristics of tunnel lining in tunnel intersection between subway station tunnel and construction tunnel / Y. Li, X. Jin, Z. Lv, J. Dong, J. Guo // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2016. V. 56, P. 22–33.
2. Effects of above-crossing tunnelling on the existing shield tunnels / R. Liang, T. Xia, Y. Hong, F. Yu // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2016. V. 58. P. 159–176.
3. Simplified analytical method for evaluating the effects of adjacent excavation on shield tunnel considering the shearing effect / R. Liang, T. Xia, M. Huang, C. Lin // *Computers and Geotechnics*. 2017. V.81. P. 167–187
4. Influence of multi-layered soil formation on shield tunnel lining behavior / D. Zhang, H. Huang, Q. Hu, F. Jiang // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2015. V. 47. P. 123–135.
5. Molins, C., Arnau, O. Experimental and analytical study of the structural response of segmental tunnel linings based on an in situ loading test. Part 1: Test configuration and execution // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2011. V. 26 (6). P. 764–777.
6. Arnau, O., Molins, C. Experimental and analytical study of the structural response of segmental tunnel linings based on an in situ loading test. Part 2: Numerical simulation // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2011. V. 26 (6). P. 778–788
7. Соколов И.В., Смирнов А.А., Рожков А.А. Технология взрывной отбойки крепких ценных руд при веерном расположении скважин // *Записки Горного института*. 2019. Т. 237. С. 285-291.

8. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Никитин И.В. Методология выбора подземной геотехнологии освоения переходных зон при комбинированной разработке рудных месторождений // Горный журнал. 2018. № 1. С.22-26. DOI: 10.17580/gzh.2018.01.03
9. Тарасов В.В., Чагинов А.В. Обеспечение устойчивости крепи на сопряжении вертикального ствола с горизонтальными выработками в сложных горно-геологических условиях верхнекамского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 014. № 4. С. 81 – 85.
10. Плешко М.С., Наносов А.А., Пашкова О.В. Разработка технических решений по повышению устойчивости участков сопряжений вертикальных стволов // Интернет-журнал “Наукоеведение”. 2014. №5. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/08KO514.pdf> (дата обращения 04.05.2018)
11. Саммаль А.С., Сергеев С.В., Анциферов С.В., Деев П.В. Определение области применения бетонной крепи стволов в зонах тектонических нарушений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. № 4. С. 317-326.
12. Балек А. Е., Ефремов Е. Ю. Обоснование геомеханических условий подземной разработки алмазного месторождения “трубка Удачная” // Известия Вузов. Горный журнал. 2017. №5. С. 39 – 45.
13. Синкевич Н.И. Исследование деформаций контура горизонтальных выработок при их проходке на больших базах // Горный информационно аналитический бюллетень. 2005. № 5. С. 326 – 328
14. Ефремов Е. Ю. Погрешности измерения конвергенции поперечного сечения горных выработок // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2019. № 2. С. 70-78.
15. Зубков А.В. Геомеханика и геотехнология – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2001. 335 с.
16. Балек А.Е., Сашурин А.Д. Проблема оценки природного напряженно- деформированного состояния горного массива при освоении недр // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. №21. С. 9-23
17. Каткова Д. Ю. Исследование по применению высокоточного электронного тахеометра Sokkia net 1200 при съемке пространственного положения строительных конструкций зданий и сооружений // Вестник ЮУрГУ. 2011. № 35. С. 44 – 47
18. Селин К.В., Шмонин А. Б. Контроль смещений поверхности обделки строящейся станции “Торговый центр” Челябинского метрополитена методом тригонометрического нивелирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 7. С. 158 – 163.

УДК 622.1:528

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ УЧАСТКА ВТОРОЙ ОЧЕРЕДИ ШАХТЫ «ДЕСЯТИЛЕТИЯ НЕЗАВИСИМОСТИ КАЗАХСТАНА»

БАЛЕК А. Е.¹

¹Институт горного дела УрО РАН

Аннотация. Представлены результаты исследований напряженно - деформированного состояния (НДС) массива горных пород участка 2-й очереди шахты «Десятилетия независимости Казахстана» Донского ГОКа. Исследования выполнены с использованием комплекса деформационных методов по натурным замерам напряжений в бетонной и тюбинговой крепи пяти действующих шахтных стволов методом шелевой разгрузки, а также по замерам НДС вмещающего породного массива двух строящихся стволов методом частичной разгрузки за счет уходки забоя. При проведении замеров учитывалось иерархически-блочное структурное строение породного массива в масштабах шахтного поля. В качестве главного критерия выделения структурного блока рассматривалась способность формирующих его структур более мелко-

масштабных иерархий реагировать на внешнее силовое воздействие как единое целое. По результатам исследований разработана геомеханическая модель массива горных пород для участка 2-й очереди шахты, отражающая его тектоническое строение, НДС и современную геодинамическую активность.

Ключевые слова: шахта «Десятилетия независимости Казахстана», массив горных пород, натурные исследования, напряженно - деформированное состояние, структурное строение, иерархическая блочность, современные геодинамические движения, геомеханическое обеспечение.

GEOMECHANICAL SUPPORT FOR UNDERGROUND DEVELOPMENT OF THE SECOND STAGE OF THE MINE " DECADES OF INDEPENDENCE OF KAZAKHSTAN»

BALEK A. E. ¹

¹Institute of mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences

Annotation. The results of studies of the stress - strain state (SSS) of the rock mass portion 2 of the first stage of mine "Decade of Kazakhstan's independence" Donskoi GOK. The research was carried out using a complex of deformation methods for full-scale stress measurements in the concrete and tubing support of five operating mine shafts using the slotted discharge method, as well as for the VAT measurements of the host rock mass of two shafts under construction using the method of partial discharge due to face care. When making measurements, the hierarchical block structure of the rock mass on the scale of the mine field was taken into account. The main criterion for selecting a structural block was the ability of smaller-scale hierarchies that form it to respond to external forces as a whole. Based on the research results, a geomechanical model of the rock mass for the section of the 2nd stage of the mine was developed, reflecting its tectonic structure, VAT and modern geodynamic activity.

Keywords: mine "Decades of independence of Kazakhstan", rock mass, field studies, stress-strain state, structural structure, hierarchical blockage, modern geodynamic movements, geomechanical support.

Основная часть Донских хромитовых месторождений (г. Хромтау, Казахстан) разрабатывается подземным способом шахтой «Десятилетия независимости Казахстана» Донского ГОКа. Геологические условия отличает чрезвычайно низкая устойчивость массива серпентинизированных горных пород, обусловленная разбитостью многочисленными хаотичными трещинами и разноориентированными тектоническими нарушениями на структурные блоки различных масштабно иерархических уровней. Связи между блоками слабы, а при увлажнении, когда тальковидный милонитовый или серпофитовый заполнитель трещин становится мыльным на ощупь, падают практически до нуля. Кроме того, при обнажении серпентинизированные породы склонны к ускоренному выветриванию, вплоть до мелкоблочного состояния, с дилатационным увеличением объема.

Для выявления геомеханических свойств на новом участке 2-й очереди шахты, отстоящем от участка 1-й очереди на расстояние 3,5 км (рис. 1) и в настоящее время подготавливаемом к отработке, ИГД УрО РАН проведены сопоставительные натурные исследования с использованием комплекса деформационных методов, включающих:

- замеры напряжений в бетонной и тубинговой крепи шахтных стволов методами щелевой разгрузки и деформаций 300-миллиметровых реперных интервалов (в процессе нагружения спинок тубингов), с выходом на параметры НДС вмещающего породного массива;

- замеры НДС вмещающего породного массива строящихся шахтных стволов методом частичной разгрузки приконтурного массива за счет уходки забоя;

- замеры смещений реперных пунктов на земной поверхности методами спутниковой геодезии (*GPS / GLONASS*) с выходом на параметры изменений НДС породного массива на различных участках шахтного поля.

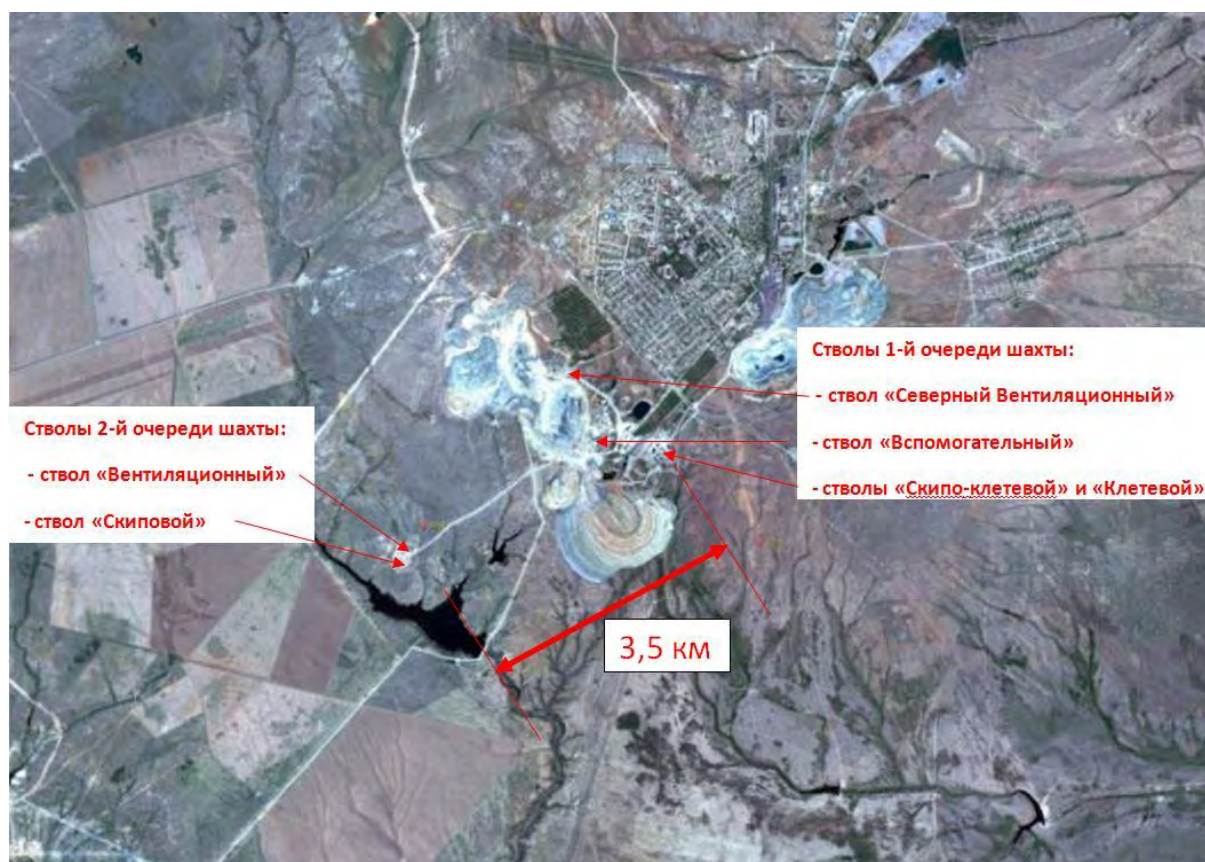


Рисунок 1 – Взаимное расположение вскрывающих стволов 1-й и 2-й очереди шахты «Десятилетие независимости Казахстана» на плане земной поверхности

Для оценки геодинамической активности породного массива на участке 2-й очереди были проанализированы результаты замеров смещений 40 реперных пунктов на поверхности всего шахтного поля и в его ближайших окрестностях, ранее полученные методами спутниковой геодезии с использованием двухсистемных (*GPS-ГЛОНАСС*) двухчастотных приемников геодезического класса *Sokkia GRX-1* (паспортная и фактическая точность 3-5 мм+1 ppm в плане и 5-7мм +1 ppm по высоте) [1]. Результирующие векторы горизонтальных смещений реперных точек земной поверхности на площади 7 × 8 км, произошедшие за 41-летний период с 1985 по 2016 г относительно региональных станций *CORS* и пунктов глобальной сети *ITRF*, представлены на рисунке 2.

Анализ векторов показывает, что в районе строительства выработок 2-й очереди замеренные смещения не превышают 10 мм, а в окрестностях стволов 1-й очереди они на порядок больше: достигают 500 - 700 мм. Это свидетельствует о более низкой геодинамической активности участка 2-й очереди, который, судя по направленности векторов, находится в центральной части крупномасштабного (с поперечными размерами более 7 - 8 км) геоблока, поворачивающегося по часовой стрелке вместе со всем породным массивом шахты.

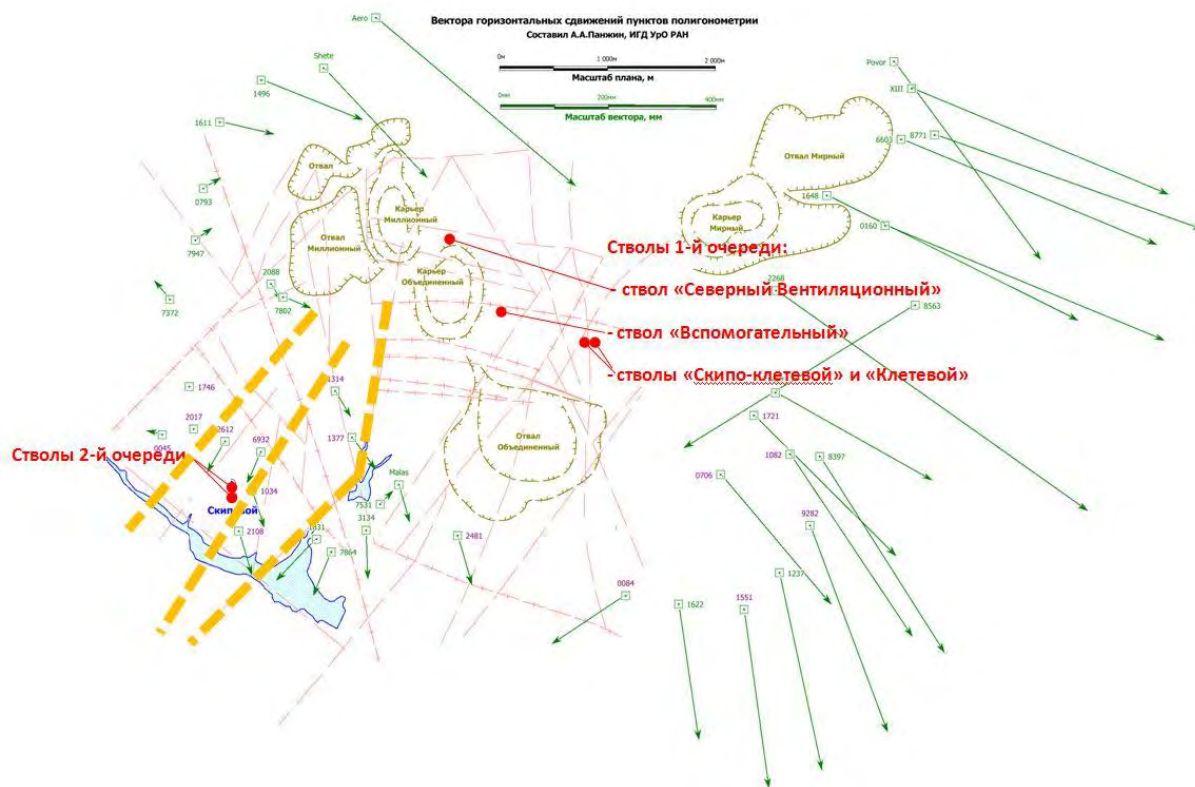


Рисунок 2 – Векторы горизонтальных смещений на плане поверхности поля шахты «Десятилетие независимости Казахстана» за период 1985 – 2016 гг, замеренные методами спутниковой геодезии (*GPS / GLONASS*) путем повторного координирования 40 реперных пунктов [1]. Пунктиром выделены границы участков с одинаковыми направлениями смещений

По результатам анализа горизонтальных смещений реперных точек было сделано заключение о существенных качественных и количественных различиях в напряженном состоянии рассматриваемых участков шахтного поля и, соответственно, о необходимости проведения сопоставительного анализа результатов натурных исследований их НДС.

Сопоставительный анализ выполнен по результатам следующего комплекса натурных исследований.

На участке 1-й очереди:

- замеры горизонтальных напряжений на внутреннем контуре бетонной крепи стволов Клетевой, Скипо-Клетевой, Вспомогательный и Северный Вентиляционный в интервале глубин 259 – 610 м, а также на внутреннем контуре спинок чугунных тубингов в стволе Клетевой на глубинах 886 – 954 м;

- замеры горизонтальных напряжений вмещающих пород при проходке ствола Вспомогательный на глубине 500 м (вмещающие породы – силнотрещиноватые серпентиниты; радиус ствола вчерне – 3,6 м; 5 реперных линий по 10 реперам на высоте 1,5 м от забоя; уходка забоя на 4 м)

На участке 2-й очереди:

- замеры горизонтальных напряжений на внутреннем контуре бетонной крепи ствола Вентиляционный в интервале глубин 388 – 902 м и горизонтальных напряжений на контуре полок тубингов ствола Вентиляционный в интервале глубин 920 – 1199 м;

- замеры горизонтальных напряжений вмещающих пород при проходке ствола Скиповой на глубине 638 м (вмещающие породы – среднетрещиноватые габбро-амфиболиты; радиус ствола вчерне – 5,4 м; 14 реперных линий по 8 реперам на высоте 1 м от забоя; уходка забоя на 6 м).

По результатам сопоставительного анализа выявлено, что изменение главных нормальных компонент тензора природных напряжений по глубине H происходит в соответствии со следующими зависимостями, в графическом виде представленными на рисунке 3:

вертикальные напряжения на обоих участках изменяются в соответствии с приращением γH , а горизонтальные напряжения определяются следующими зависимостями:

- на участке 1-й очереди: $\sigma_{\max} = \lambda \gamma H + 14$ МПа, $\sigma_{\min} = \lambda \gamma H + 7 \div 10$ МПа (азимут оси σ_{\max} около $50 \div 60^\circ$);

- на участке 2-й очереди: $\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = \gamma H$,

где $\gamma = 0,026$ МН / м³ - объемный вес породного массива; H - рассматриваемая глубина, м; $\lambda = 0,43$ - коэффициент бокового давления при коэффициенте Пуассона $\mu = 0,3$.

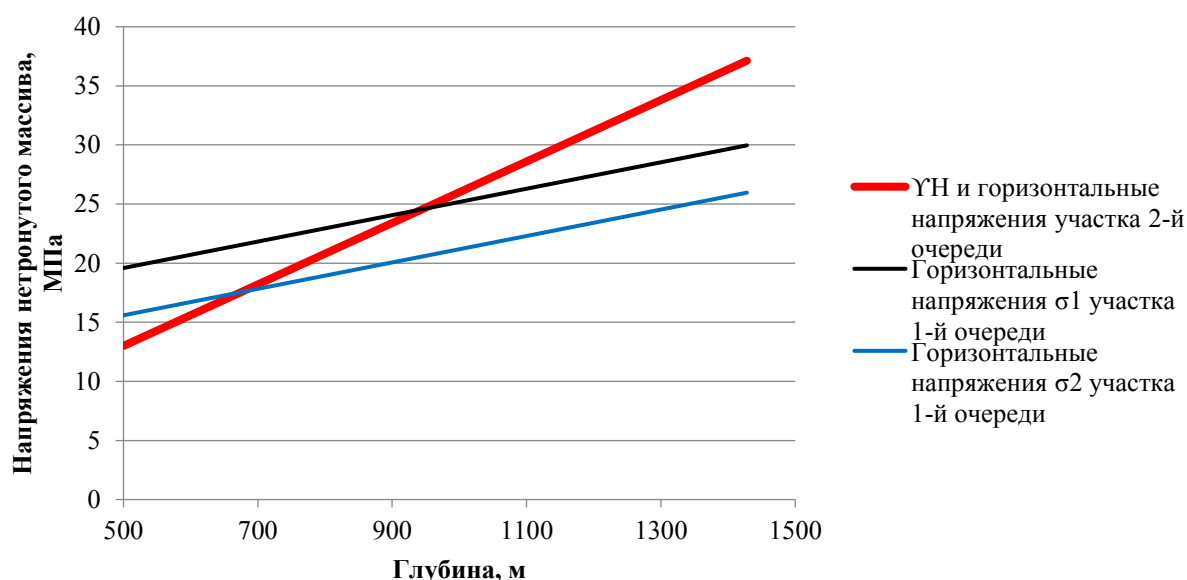


Рисунок 3 – Параметры природного поля напряжений горного массива участков 1-й и 2-й очереди шахты «Десятилетие независимости Казахстана», полученные на основании обобщения результатов натуральных замеров 1980 – 2019 гг

Работа выполнена в ходе реализации государственного задания по теме № 0405-2019-0007.

Библиографический список

1. Балек А. Е., Панжин А. А. Решение проблем геомеханического обеспечения подземных горных работ на хромитовых месторождениях Донского ГОКа / 6-я Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений», г. Екатеринбург, 18-19 апреля 2017 г: сборник докладов / Урал. гос. ун-т.-Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. с. 241-249.

ТЕОРИЯ И ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА КОНТАКТНОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ В ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ КАРТИРОВАНИИ ПУСТОТ И СПЛОШНОСТИ В ПОЛЕ СИГНАЛЬНОГО НАЛОЖЕНИЯ ГИДРАВЛИКИ КАРСТОВ

ТИМОХИН А. В.¹

¹ ФГБУН ИГД УрО РАН

Аннотация. Раскрываются аномальные параметры карстов в объемных моделях гидродинамики и электропроводности. Обоснованы прикладные сигналы для метода электрометрии. Обсуждаются 2 схемы использования для геоинформационных решений карстологической безопасности: 1. от параметров фильтрации → через поисковые признаки электрометрии → к измерениям геометрии пустот и сплошности, 2. от параметров, измеренных при резистивиметрии и термометрии в скважинах → через расчеты по модели фильтрации → к параметрам изменения геометрии пустот и сплошности.

Ключевые слова: карст, планирование мероприятий безопасности, информационные решения, обоснование способа картирования, геотехнология.

GEOMETRIC MAPPING OF VOIDS AND CONTINUITIES IN THE FIELD OF SIGNAL OVERLAY OF KARST HYDRAULICS USING THE METHOD OF CONTACT ELECTROMETRY

TIMOHIN A. V.¹

¹Institute of Mining of Ural Branch of RAS

Abstract. Anomalous parameters of karsts in volumetric models of hydrodynamics and electrical conductivity are revealed. Applied signals for the Electrometry method are justified. To ensure karstological safety, 2 schemes of geoinformation solutions are proposed: 1. from filtration parameters → through search features of Electrometry → to measurements of the geometry of voids and continuity, 2. from parameters measured using resistivity and thermometry in wells → through calculations using a filtration model → to fix the time-changed parameters of the geometry of voids and continuity.

Keywords: karst, planning of security measures, information solutions, justification of the mapping method, geotechnology

Введение.

Территории потенциально опасные по угрозе карстопроявлений на Урале обширны. Карбонатно-терригенные толщи западных и восточных предгорий сложены карстующимися породами, в силу природной растворимости известковых скелетов-суффозии или метаморфических, экзогенных изменений под действием растворов-подземных вод с уменьшением объема (литологический тип). Помимо природных форм отмечены еще более существенные по угрозе факторы- факторы техногенного карста, связанные с наличием подземных выработанных пространств на горных отводах действующих и ликвидированных, окончивших добычу предприятий. При выборе способов информационной поддержки мероприятий по безопасности обнаруживается, что имеют место естественная, геологическая природа и техногенная, по отдельности и, не редко, в сочетании.

В картировании предлагается способ измерений (электрометрия), использующий полезные сигналы идентификации, в силу наложенного поля собственных карстам, гидравлических параметров.

Модель фильтрации.

В модели одиночной выработки рассмотрен массив, как однородная фильтрующая среда с вложенной в ламинарный поток системой из двух цилиндров с общей осью (рис. 1).

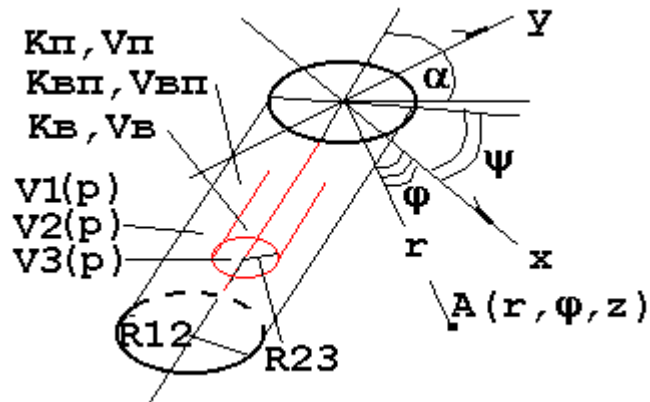


Рисунок 1 - Цилиндрическая модель фильтрации.

Цилиндр большого радиуса задается полым, а малый, внутренний - сплошным. Сечение выработки имеет, как правило, прямоугольную форму. Геометрией модели допущена аппроксимация сечения окружностью и эллипсом. Искажаемая допуском пространственная область, как показано ранее [1- 3], не велика, на целевое качество решений практически не влияет, но при этом существенно уменьшается объем вычислений. Имеется частный случай - модель Матвеева Б.К. [2] для вертикального полого цилиндра- скважины.

Размеры, пропорции, фильтрационные свойства и ориентировка: α - угол наклона единой оси цилиндров к горизонтальной плоскости, ϕ - угол между большой осью эллипсов (проекция системы на горизонтальную плоскость) и направлением фильтрации, $R(1-2)$ и $R(2-3)$ - радиусы, соответственно, большого и малого цилиндров, $Kп$, $Kв$, $Kвп$ - коэффициенты фильтрации, соответственно: вмещающей породы; породы, слагающей внутренний цилиндр; полости между цилиндрами (абсолютно проницаемой $Kвп \rightarrow \infty$).

По формуле закона Дарси имеем:

$$V = -K \frac{\partial H}{\partial X} \quad (1)$$

где V - скорость, K - коэффициент, $(-\partial H/\partial X)$ - гидравлический градиент (напор) потока.

Функция потенциала скорости принимает вид:

$$U = KH \quad (2)$$

при этом U - непрерывна и потенциальна, а значит удовлетворяет уравнению Лапласа в цилиндрических координатах:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 U}{\partial \phi^2} = 0 \quad (3)$$

Решения уравнения Лапласа для потенциалов скоростей стандартны:

$$\text{во вмещающей среде-} \quad U1 = Vn \cdot r \cdot \cos \phi + \frac{B1 \cdot \cos \phi}{r} \quad (4)$$

$$\text{в полости между цилиндрами-} \quad U2 = A2 \cdot r \cdot \cos \phi + \frac{B2 \cdot \cos \phi}{r} \quad (5)$$

в малом цилиндре:
$$U_3 = \frac{A_3 \cdot \cos \varphi}{r} + V_6 \cdot r \cdot \cos \varphi \quad (6)$$

где B_1, A_2, B_2, A_3 - постоянные коэффициенты, вычисляемые следующим образом.

На поверхностях цилиндров (эллипсах в горизонтальной проекции) выполняется:

для большого цилиндра
$$r = \frac{R(1-2)}{\sqrt{\cos^2(\varphi - \phi) \cdot \cos(90^\circ - \alpha) + \sin(\varphi + \phi)}} \quad (7)$$

для малого цилиндра
$$r = \frac{R(2-3)}{\sqrt{\cos^2(\varphi - \phi) \cdot \cos(90^\circ - \alpha) + \sin(\varphi + \phi)}} \quad (8)$$

Выражения (7, 8) удовлетворяют граничным условиям, равенству скоростей фильтрации и гидравлических напоров:

$$\frac{\partial U_1}{\partial r} = \frac{\partial U_2}{\partial r}, \quad \frac{\partial U_2}{\partial r} = \frac{\partial U_3}{\partial r} \quad (9)$$

$$\frac{1}{K_1} \cdot U_1 = \frac{1}{K_2} \cdot U_2, \quad \frac{1}{K_2} \cdot U_2 = \frac{1}{K_3} \cdot U_3 \quad (10)$$

где K_1, K_2, K_3 - функциональные выражения коэффициентов во взаимодействующем поле: 1- во вмещающей среде, 2- в полости между цилиндрами, 3- в малом цилиндре.

Решая (9, 10) для выражений (4-6) и граничных условий (7, 8) получены постоянные B_1, A_2, B_2, A_3 , подстановка которых в (4-6) дает выражения для вычисления потенциалов $U_1, 2, 3$, а с учетом (2) и (1) - скоростей $V_1, 2, 3$ ($r, \varphi, Z = const$).

Реальные объекты моделируются (отличаются) входными параметрами системы:

1. $K_6 \rightarrow \infty, R(2-3) = 0$, как условий полого цилиндра: карста, выработки, скважины;

2. $\frac{R(2-3)}{R(1-2)} = kR$, как условия пронизываемого цилиндра, заполненной подземной

выработки фильтрующим материалом, модели закладки песками, щебнем; закладки обрушением;

3. $K_6 = 0, \frac{R(2-3)}{R(1-2)} = kR$, как условия непроницаемого цилиндра, к расчету за-

полненной подземной выработки: в моделях закладки бетоном и тубинга метрополитена.

Полую область характеризует скорость ровно в 2 раза выше исходной, поправка для скважинных гидрогеологических опытов – цель расчетов Б.К. Матвеева (рис. 2).

Схема изменения линий потока и разрез [1], векторная схема [2, 3, 6]. «Vп» - породная область вне зоны влияния, «V1, V2» - область влияния выработки породная и поляя.

Модель шахтного поля во вмещающей среде, представляющей сплошные породные объемы с известной проницаемостью (конечные значения фильтрации), получается при направленном от фронта притока к области расхода, последовательном вложении выработок, как координированных цилиндров 3-х прототипов и при любом учитываемом их количестве. Сумма прототипов и достоверные входные, геометрические параметры – гарантия учета в моделях всех известных систем горных работ, принятых в подземном строительстве, как на месторождениях, так и в метрополитене, а послойным (сверху вниз), направленным расчетом достигается соответствие любой природной сложности строения реальных геологических сред.

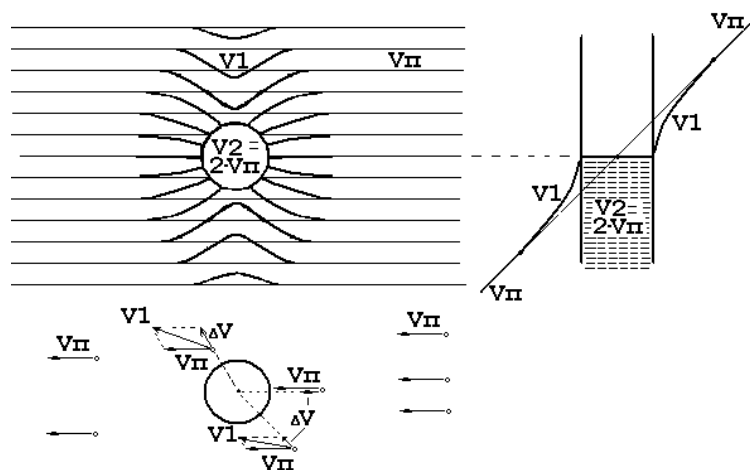


Рисунок 2 - Модель изменения скважиной исходного фильтрационного потока

Максимум «вызванной» скорости $V1-3/Vn \sim 6.5 \div 8.5$ и скорости потока $7.5 \div 9.5 \cdot Vn$ наблюдается в горизонтальной выработке околоствольной одной трети общей протяженности шахтного поля, отдельного выработанного горного объема

Влияние шахтных полей на исходный режим фильтрации значительно настолько, что если бы, например, карст был результатом горных работ, выполненных с применением минимизации водопритоков, для чего отдельно предложено применять часть полученных уравнений (смежное применение), выработки, которые, как принято считать, за прошедшие 60-150 лет должны бы быть заполнены водой (подтоплены), тем не менее остаются «сухими» и в области шурфа, и в припотолочной области близлежащих горизонтальных выработок [1, 3].

Термины и определения. Комментарий.

Физический смысл «вызванных» скоростей $V1, V2$, введенных в вычисления [1], никем ранее специально не рассматривался. В гидрогеологии недр определяет геометрическое сочетание пород различной (конечной) проницаемости. «Скорость фильтрации» характеризует действующий поток, в каждой точке его фронта она равна скорости в направлении своего максимального размера. «Коэффициент фильтрации» является удельной, абсолютной мерой проницаемости пород, грунтов, а по сути – это скорость при логическом условии наклона уровня грунтовых вод в 45° , т.е. при гидравлическом градиенте = 1.0. «Вызванная» скорость является мерой влияния на режим фильтрации выработок, как абсолютно проницаемых объектов ($K \rightarrow \infty$). Этим, в частности, обусловлено то, что к $V1$ и $V2$ понятие скорости в полной мере можно применить лишь в области сформировавшегося потока, поскольку выше по разрезу, как показывают расчеты, поток прерывается. «Вызванная» скорость является логической скоростью фильтрации (размерность скорости фильтрации, м/сутки, см/мин, см/с), которая «возникает как бы при мгновенном размещении на пути фильтрации отдельной выработки, шахтного поля в виде векторного слагаемого (приращения и в области притока, и в области расхода) к исходной скорости $Vп$ ».

Полые пространства, в которых скорость равна удвоенной скорости фронта притока, формируют в породной области « $V1$ » неоднородное векторное поле скоростей. Изменение исходного потока депрессионное (водопонижение). Признаками картирования выступают:

1. содержание воздуха в выработках верхней части массива вплоть до полного их «осушения»,
2. перераспределение скоростей у выработок в глубинной, обводненной части.

Модель поля электропроводности

Изучается поле двух источников (рис.3): А- в сплошном массиве с природной геометрией и сопротивлением пород (ток распространяется), Б- с пустотой, заполненной воздухом ($\rho \rightarrow \infty$, ток не распространяется). Пустоты находятся в изучаемой, градиентной области поля; источники над сплошным массивом.

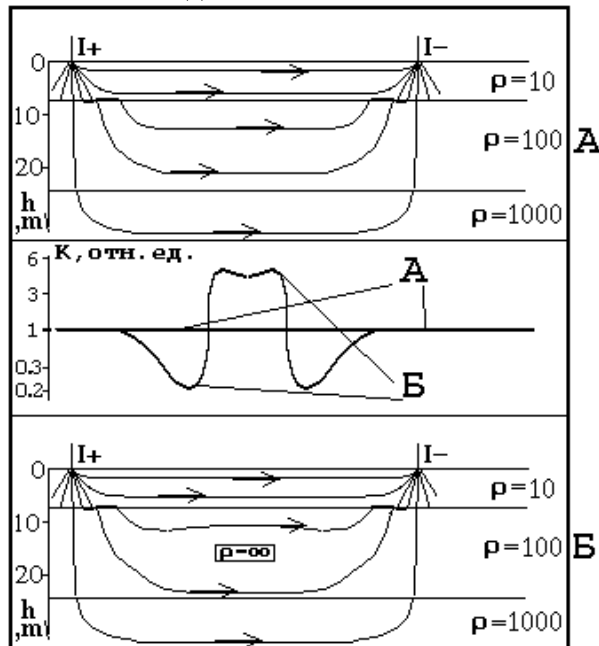


Рисунок 3 - Особенности электрического поля. А- в сплошном массиве горных пород, Б- в массиве с выработкой. ρ - удельные сопротивления слоев, Ом.м (модель); К- искажение плотности электрического тока, отн.ед.

Напряженность E и потенциал U электрического поля связаны уравнением:

$$E = -gradU \quad (11)$$

Потенциал удовлетворяет уравнению Лапласа:

$$\Delta U = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0 \quad (12)$$

Плотность тока j выражается через напряженность E и сопротивление ρ_1 , а кажущееся сопротивление ρ_k через j :

$$j = \frac{E}{\rho}, \rho_k = jMN \times \frac{\rho MN}{j_0} \quad (13)$$

где $jMN, \rho MN$ - плотность тока и сопротивление вблизи приемных электродов MN , j_0 - нормальная плотность в однородной среде.

Граничные условия – равенство потенциалов U и нормальных составляющих j :

$$U_1 = U_2, \frac{1}{\rho_1} \times \frac{\partial U_1}{\partial n} = \frac{1}{\rho_2} \times \frac{\partial U_2}{\partial n} \quad (14)$$

Силовые линии электрического поля в массиве с выработкой ($\rho \rightarrow \infty$) по сравнению со сплошным массивом перераспределены. За характеристику трансформации электрического поля, вызванной выработкой, принимается «искажение плотности тока» K :

$$K = \frac{j(\infty)}{jn} = \frac{\rho_k(\infty)}{\rho_{kn}} \quad (15)$$

где $j(\infty)$, jn - плотности тока, $\rho_k(\infty)$, ρ_{kn} - кажущиеся электрические сопротивления, с индексом (∞) над подработкой, с индексом « n » - над сплошным массивом.

Термины и определения. Комментарий.

В уравнении (15), как и в модели фильтрации (анализируется $V1-3/Vn$) применена подобная дробь. Сопротивление $\rho_k(\infty)$ обусловлено влиянием выработки и подобно скоростям $V1-3$ поставлено в числитель. Оно измеряется при профилировании или съемке по методике площадного срединного градиента (ПСГ)- перемещаемая приемная линия $MN(x, y)$ постоянной длины. Сопротивление ρ_{kn} характеризует сплошной массив, поэтому поставлено в знаменатель (15). Для его расчета необходимы вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) на удалении от выработок, что гарантируется соблюдением дистанции от участков высоких градиентов ПСГ. Решается «проекционная задача» по специальному алгоритму латеральной (линейной) и глубинной интерполяции, при котором каждой расстановке $MN(x, y)$ съемки ПСГ ставится в соответствие сопротивление по графикам 4-х ближайших к $MN(x, y)$ ВЭЗ.

Вычисляемое ρ_{kn} как на целиком сплошном массиве, так и на дистанции от выработок (в области « Vn ») равно измеряемому $\rho_k(\infty)$. Если приемная линия $MN(x, y)$ установки $AMNB$ располагается в зоне проекции на земную поверхность области влияния выработок: породной « $V1$ » и полый « $V2$ », фиксируется максимальное отличие этих сопротивлений.

Поля искажений $K(x, y)$ – потенциальны, отображают объемную геометрию карстов и сплошности, вычисления оправданы технологически – решают проблему унификации. Если массив сплошен, то наблюдается K около 1 и его монотонное изменение. Различные параметры подработки при всем разнообразии геологических условий распознаются в рисунках $K(x, y)$ по особенностям участков аномальных, абсолютных и дистанционных градиентов.

Выводы. Проблема карстовой угрозы застройке и жилым микрорайонам для сырьевых регионов типична и понятна. Повестка развития промышленности и городской среды шире- необходимы инженерные решения, решениям- информация. За период 1992 - 2019 гг. на Среднем и Южном Урале авторами изучено из числа карстоопасных землеотводов (по общим оценкам от 54 до 280 тыс. га.) более 600 га площадей. На территориях обеспечены картирование карстов, документирование их геометрии, меры безопасного бурения (подтверждения); на сплошных массивах, включая ранее отнесенные к подработанным (147 га) без должных оснований, так и «подозрительных» (более 200 га), сняты запреты. Объекты построены, освоены или находятся в различных стадиях строительства.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (грант № 11-05-00159) и в рамках Государственного задания 007-00293-18-00, тема № 0405-2018-0015.

Библиографический список

1. Тимохин А.В. Гидродинамическое поле массивов горных пород в зоне непластового (нелинейного) сочленения систем с различными фильтрационными свойствами // Экологическая безопасность ТЭК: проблемы, пути, решения: Тез. докл. Науч.-техн. Конф./.- Пермь. 1994. С.178-181.
2. Матвеев Б.К. Геофизические методы изучения движения подземных вод. – М.: Госгеолтехиздат, 1963.- 133 с.
3. Решение проблемы карстологической безопасности Урала с применением измерительных средств картирования и геометризации геолого-техногенных сред / А.В. Тимохин //

М.: Золотодобывающая промышленность, 2010.- № 2. С. 26-29, № 3. С. 26– 29 (продолжение),- № 4.- (окончание).

4. Геофизические разведочные работы на восточном фланге Степного участка Саткинского месторождения магнетитов методом площадной и глубинной электротометрии: Отчет/ИГД УрО РАН. Екатеринбург, 2006. 36 с.

5. Соколов Д.С. Основные условия развития карста. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 322 с.

УДК 622.1.528.022.6

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ АЭРОФОТОСЪЁМКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БПЛА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

ГОЛУБКО Б. П.¹, БАБКИНА Е. А.¹

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. Рассмотрены современные технологии аэрофотосъёмки с применением беспилотных летательных аппаратов, которые позволяют получать актуальные цифровые данные и вести горно-графическую документацию, необходимую для решения ряда инженерно-технических задач.

Ключевые слова: горные выработки, беспилотник, аэрофотосъёмка, цифровая модель местности.

ANALYSIS OF TECHNOLOGIES OF AERIAL PHOTOGRAPHY WITH APPLICATION OF A UAV WHEN DEVELOPING DEPOSITS BY OPEN METHOD

GOLUBKO BORIS PAVLOVICH¹, BABKINA ELENA ALEXANDROVNA¹

¹Ural state mining University

Abstract. Modern technologies of aerial photography with the use of unmanned aerial vehicles are considered, which allow to obtain up-to-date digital data, to maintain mining and graphic documentation necessary for solving a number of engineering and technical tasks.

Keywords: mine workings, drone, aerial photography, digital terrain model

В настоящее время востребованным становится выполнение маркшейдерской съёмки при помощи беспилотных летательных аппаратов при разработке открытым способом. Беспилотный летательный аппарат (БПЛА, также «беспилотник» или «дрон») — летательный аппарат без экипажа на борту [1]. Их разновидностей по конструкционному строению великое множество это - БПЛА самолетного типа с фиксированным крылом, которые обладают преимуществом в дальности и скорости полета; вертолетного типа, их совокупность даёт такое название как конвертопланы, представляющие собой модель, способная взлетать «по-вертолетному», а уже в полете используются крылья, подобно самолёту; мультикоптеры, имеющие пропеллеры от 2-ух до 8-ми, в связи с чем распространены названия, такие как: квадрокоптеры, гексакоптеры и др. Такая разновидность дронов как планеры или глайдеры служат для разведочных операций. В производстве маркшейдерских съёмок преобладающим типом являются мультикоптеры.

Аэрофотосъёмка при помощи БПЛА - выполняется тремя основными методами для получения высокоточных результатов графического материала:

1) с применением технологии Real Time Kinematics (RTK), разработанной в начале 1990-х годов, предназначенной для коррекции искажений сигналов спутника, обусловленных атмосферными неоднородностями, помехами от стационарных и подвижных объектов, а также эффектами переотражения и многолучевости. Эта техноло-

гия позволяет получать сантиметровую точность позиционирования в режиме реального времени. Суть метода RTK заключается в том, что в качестве опорной системы применен дополнительный GNSS-приемник базовой станции (base station), который размещен стационарно в пункте с предельно точно известными координатами. Второй GNSS-приемник, получивший название «ровер» (rover), устанавливается на объекте, координаты которого необходимо измерить [2]. Ровером в случае аэрофотосъемки с применением БПЛА является сам беспилотник;

2) с использованием опорных точек: для получения координат центров фотографирования используется GPS самого БПЛА или приёмника внутри камеры. Определение местоположения во время получения кадра производится путём трилатерации спутников и несколькими измерениями расстояний [3];

3) с использованием технологии лазерного сканирования LIDAR (Light Detection And Ranging) – это съёмочная система, измеряющая с высокой скоростью расстояния от прибора до точек объекта и регистрирующая соответствующие горизонтальные и вертикальные углы с последующим формированием трёхмерного изображения (скана) в виде облака точек [4].

На сегодняшний день при открытой разработке месторождений существуют традиционные способы съёмок – это тахеометрическая, GPS-способы, наземное и мобильное лазерные сканирования. Аэрофотосъемка в сравнении с традиционными способами имеет следующие показатели: например, в производимой съёмке БПЛА на рудном складе карьера “Юбилейный”, рудника “Айхал”, хвостохранилища фабрики №8 для оценки возможности строительства технологической дороги, промплощадки карьера «Юбилейный» средняя квадратическая ошибка определения координат облака точек не превышала 50 мм [5], при использовании дрона в “Распадской угольной компании” в Кузбассе разница при использовании замеров с помощью ГНСС оборудования – классического метода, и облака точек дрона составила всего лишь 0,3% [6]. А там, где объём добычи измеряется уже миллионами тонн погрешность маркшейдерского замера и скорость этого замера становятся более значимыми. Инженеры Luftera проводили тестовые испытания, работали параллельно с маркшейдерами, осуществляя замер эталонной насыпи площадью 3000 м². Вручную получилось 250 точек, а с помощью беспилотника – 6 млн. точек. Погрешность составила – 600 кубов [7].

Составляющие части БПЛА (Рис.1):

1) центральная часть (программируемая микросхема) – блок управления (автопилот) отвечает он не только за поддержание нужной скорости и высоты полёта, но и управляет другими системами;

2) система прямого геопозиционирования - комплекс элементов, отвечающих за определение местоположение аппарата. Они в реальном времени поставляют навигационную информацию для блока автопилота [8].

3) широтно-импульсная модуляция (ШИМ) блока управления связана с приёмником пульта дистанционного управления, который получает сигналы с земли с пульта;

4) блок питания – поставляет энергию всем системам;

5) полезная нагрузка - фотокамера, лазерный сканер, вспышка, ИК-подсветка.

От высоты, с которой были произведены фотографии, зависит степень детализации модели (размер одного пикселя). Высота, как правило, составляет 100-500 м. Для измерения объёмов с точностью, равной традиционным методам, достаточно добиться разрешения 7-8 см/пиксель.

Добиться данной точности можно в результате установления полезной нагрузки на БПЛА.



Рисунок 1 – Конфигурация автопилота

Непосредственно технические характеристики камеры позволяют добиться соответствующей точности. Вес фотоаппарата не должен превышать 400–450 г., так как масса самого БПЛА варьируется в пределах до 5-5.5 кг. В эту весовую категорию попадает класс компактных камер и новый класс компактных камер со сменными объективами [9], (Табл. 1.)

Представленные из перечня полнокадровые матрицы камер позволяют работать при плохом свете (в пасмурную погоду, в темное время суток), а количество мегапикселей влияет на детализацию изображения. Выдержка зависит от скорости и устойчивости носителя, так как смещение фотоаппарата (линейное и угловое) приводит к сдвигу (смазу) изображения [9].

Касаемо светосилы при $f/2$ через объектив проходит в два раза больший световой поток, чем при $f/2.8$, что помогает в пасмурную погоду, в темное время суток.

Таблица 1
Технические характеристики цифровых камер, используемые на современных БПЛА при маркшейдерской съёмке

Цифровая камера	Угол обзора, град.	Тип матрицы	Размер матрицы, мм.	Фокусное расстояние, мм.	Эффект. количество пикселей, млн.	Диапазоны выдержки, с.	Светосила объектива
Sony Exmor R	94	CMOS	6,3 x 4,7 (полнокадровая)	35	12,0	от 8 до 1/8000	$f/2.8$
Sony DSC-RX1	63	CMOS	35,8 x 23,9 (полнокадровая)	35	24,0	1/2000	$f/2$
Sony DSC-RX1-II	63	CMOS	35,9 x 24,0 (полнокадровая)	35	42,4	1/2000	$f/2$
Zenmuse x4s	84	CMOS	25,4	35	20	Механический затвор: 8 – 1/2000 Электронный затвор: 1/2000 – 1/8000	$f/2$

Также одной из важных деталей является подвес, который стабилизирует камеру. К примеру, в полёте, когда действует сильный ветер дрон наклоняется, то подвес отклоняет камеру в нужное положение в зависимости от того какую выполняют съёмку. Если это плановая, то подвес стабилизирует камеру строго в нади́р. Уменьшение углового сдвига путём использования систем стабилизации или лётных платформ с более высокой удельной нагрузкой на крыло позволит увеличить экспозицию изображения до 6 раз [9].

Целью аэрофотосъёмки является получение ортофотоплана, топоплана, трехмерной точечной модели (аналог облака точек, как при лазерном сканировании), трехмерной модели поверхности. Получаются они посредством фотограмметрической обработки, которая подразумевает собой вычисления реальных пространственных координат объектов при наличии одной и той же точки на двух и более фотоснимках. Так, при восстановлении большого количества пространственных координат, можно получить реальную качественную модель местности. Для этого современные фотограмметрические алгоритмы уделяют огромное внимание тождественно равным точкам на парах фотоснимков [9].

Организация аэрофотосъёмки начинается с определений границ и заранее построенного плана снимаемого участка, который снимается с одинаковой высоты. Для того, чтобы в дальнейшем можно было выполнить полноценную обработку аэрофотосъёмки, необходимо указать будущие координаты центра и направления каждого снимка [8]. Также учитываются: рельеф местности и максимальную разницу высот, масштаб, который необходим, фокусное расстояние и угол обзора камеры, степень перекрытия фотографий 60-90% - для поперечного, не менее 30 % для продольного.

Обработка снимков выполняется в таких программах как ПО Photoscan Pro, разработчик – компания Agisoft, программа Pix4Dmapper, разработчик – компания Skymec, Photomod, разработчик компания Ракурс и др. Для программирования маршрутов используются программы: ПО компании DJI – Ground Station Pro, ПО UgCS (Photogrammetry tool for land surveying), DroneDeploy, MapPilot, Atizure и др. Результат в виде облака точек импортируются в другие программы, такие как: Micromine, Carlson Precosion 3D, WinMod, AutoDesk, Lenta.

Для повышения точности получения координат выполняется аэросъёмка: с использованием технологии RTK, с использованием опорных точек и с применением технологий лазерного сканирования LIDAR. Планово-высотная подготовка – определение координат опознаков производится от государственных геодезических сетей.

При работе в режиме RTK, беспилотник обменивается данными с базовой станцией или виртуальной опорной станцией с помощью ноутбука, контролирующего полёт дрона. Обмен данными происходит через Wi-Fi или GSM канал связи. Положение камеры рассчитывается в режиме реального времени, получая поправки от наземной станции. Её координаты должны быть заранее максимально точно определены. Средняя ошибка определения позиции для кадра при таком методе по всем трём координатам с GNSS платой получилась точность порядка 1 пикселя (2.5 см) [3]. Также в данном методе используются координаты наземных опорных точек непосредственно для контроля (Рис. 2).

По окончании съёмки данные GNSS-измерений скачиваются по Wi-Fi отдельно после завершения полёта, они хранятся на дроне (на SD-карте) и не транслируются на землю в реальном времени [10].

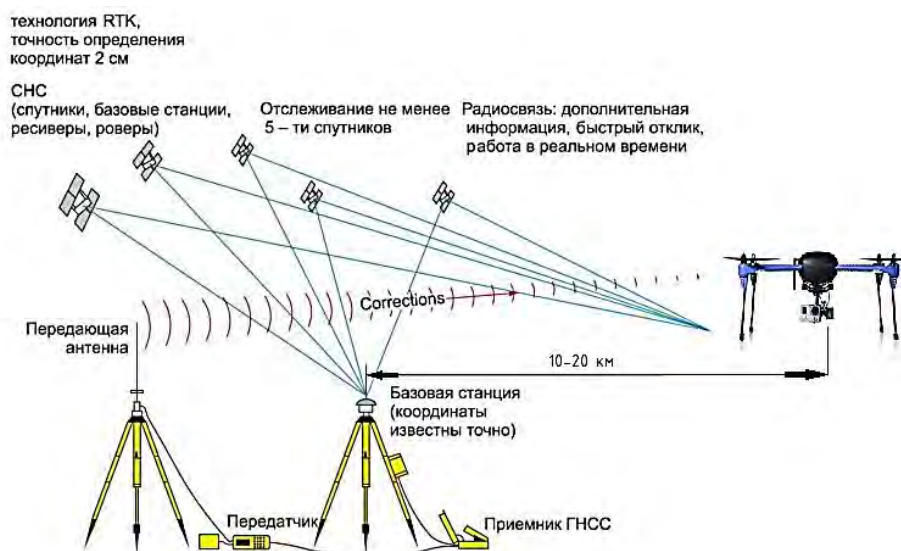


Рисунок 2 – Технология RTK

Одним из современных методов сбора и обработки данных о местоположении объектов и рельефе местности, а также их качественных и количественных характеристиках, является комбинированный метод на основе лазерной локации и цифровой аэрофотосъёмки. Метод позволяет на сегодняшний день моделировать объекты с воздуха с точностью до трёх сантиметров. Бортовой лазерный 3D-сканер устанавливается на БПЛА. Этот прибор излучает порядка 16 лазерных лучей на один квадратный метр, а встроенный в систему датчик исчисляет время, необходимое для того, чтобы лазерный импульс оттолкнулся от поверхности и вернулся обратно. Принцип работы лазерного сканера похож на радиолокацию. Миллионы субнаносекундных по длительности импульсов позволяют воссоздать точнейшую картину местности. Сегодня ни один другой метод дистанционного зондирования не позволяет получать одновременно и видимую поверхность, и истинную поверхность рельефа [11].

При применении лазерного сканера АГМ-МС2 с носителем DJI Matrice 600 плотность точек лазерных отражение достигает нескольких сотен на квадратный метр (в зависимости от высоты полета). Сканер АГМ-МС3: частота сканирования у базовой модели составляет 300 000 импульсов в секунду, у модели повышенной дальности — 600 000 [12].

По окончании работ все полученные данные преобразовываются в трехмерное облако точек, которые позволяют воссоздать точную цифровую копию рельефа всего снимаемого объекта.

До настоящего времени лазерное сканирование в России проводилось в основном с использованием пилотируемой авиации или наземных средств, что достаточно неудобно. Бесспорным преимуществом воздушного лазерного сканирования (ВЛС) с беспилотника является большая скорость получения данных, высокая точность и меньшая стоимость [11]. По сравнению с аэрофотосъёмкой с дрона в лазерном сканировании исключаются ошибки, создаваемые падающими тенями и отсутствием видимой земли из-за крон деревьев и другого.

Скорость лазерного сканирования превышает миллион измерений в секунду, а точность сравнима с точностью наземной геодезии и гораздо выше точности аэрофотосъёмки. Программное обеспечение для обработки данных воздушного лазерного сканирования: RiPROCESS, GrafNav, AEROoffice, а также программа Terrasolid и GEOVIA Surpac для дальнейшей обработки и анализа точек лазерных отражений.

Таким образом, анализируя три способа съёмки с БПЛА можно установить, что не всегда есть возможность расставить наземные точки на местности и произвести измерения координат. Поводу этому может служить особенности ландшафта, труднодоступные места на открытой разработке месторождения. Также планирование расстановки и выполнение измерений опорных может отнимать часы работы при каждой съёмки, тогда как обработка измерений координат, полученных с геодезических приёмников, занимает около 10-20 минут. Опорные точки – это затраты, которые необходимо вкладывать в каждый проект, в отличие от одноразовой покупки GNSS оборудования [3]. Уникальностью лазерного сканирования является то, что ни растительность, ни ночное время не мешают вести работы. Сложность рельефа также не имеет значения. Теперь к производительности. За один 20-минутный вылет на БПЛА коптерного типа со 100-метровым дальномером можно закрыть 70-100 га с фактической плотностью от 200 точек на 1 кв.м. То есть за день можно получить цифровую модель рельефа всего объекта. При этом точность будет равномерная: вне зависимости от освещённости, возвышенностей, наличия растительности. При этом стоимость съёмки и моделирования объектов при лазерном сканировании ниже, чем при использовании обычной геодезии и аэрофотосъёмки примерно в три раза [11].

Аэросъёмка с БПЛА является организованным процессом сбора данным. Она позволяет получить высокую точность, а также сэкономить бюджет и время съёмки. Большинство БПЛА не требуют дополнительной доработки, оптимизируют процесс маркшейдерских работ и геодезических съёмок, создают безопасные условия для работников. Каждый производитель данной технологии предлагает «новое решение». Это решение упрощает поставленные задачи за счёт повышения производительности съёмки, минимизируют затраты и повышают точность.

В нашем современном мире для действующих горных предприятий главная цель - необходимость эффективной и быстрой обработки съёмки горных выработок, обеспечение максимально точного оперативного подсчета и учета объемов горной массы.

Библиографический список

1. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспилотный_летательный_аппарат
2. URL: <https://wireless-e.ru/gps/zed-f9p/>
3. URL: <https://russiandrone.ru/publications/kakoy-metod-aerofotosyemki-dayet-rezultat-tochnee-s-opornymi-tochkami-ili-geodezicheskimi-priyemnika/>
4. URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/tekhnologii/141787-nazemnoe-lazernoe-skanirovanie-nls/>
5. URL: <http://www.up-pro.ru/companies/news/alrosa-vnedrila-sistemu-nabludeniya.html>
6. URL: <https://dprom.online/mtindustry/skymec-pix4dmapper/>
7. URL: <https://dprom.online/unsolution/kartirovanie-mestorozhdenij-s-pomoshhyu-bpla/>
8. URL: <https://www.coursera.org/learn/fotogrammetricheskaya-obrabotka-bpla/home/welcome>
9. Раков Д.Н., Никитин В.Н. Выбор цифрового неметрического фотоаппарата для беспилотного аэрофотосъёмочного комплекса. Новосибирск, 2012.
10. URL: https://russiandrone.ru/news/primenenie_perepilennykh_grazhdanskikh_dronov_dlya_professionalnoy_geodezicheskoy_aerofotosyemki_mes/
11. URL: <https://rostec.ru/news/bespilotnik-s-lazerom-na-bortu/>
12. URL: <https://dprom.online/unsolution/kartirovanie-mestorozhdenij-s-pomoshhyu-bpla/>

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

ПАНЖИН А. А.¹

¹Институт горного дела Уральского отделения РАН

Аннотация. Рассматриваются вопросы моделирования геоинформационными методами природных, техногенных, и экологических систем. Приведена методика визуализации геодинамических движений по результатам цикловых геодезических измерений, которая позволяет обоснованно выделять активные геологические структуры, блоки, тектонические разломы. Показано, что в качестве ключевого источника информации о геодинамических движениях, проводимых на больших пространственно-временных базах, целесообразно использовать не абсолютные значения величин векторов сдвижений наблюдательных пунктов, а их скорости, приведенные к годовому циклу. Обозначено, что важной характеристикой векторного поля геодинамических движений является дивергенция, которая характеризует степень сходимости или расходимости векторного потока.

Ключевые слова: геодинамические движения, деформации, мониторинг, визуализация, геоинформационные методы.

IDENTIFICATION AND VISUALIZATION OF GEODYNAMIC MOVEMENTS BY RESULTS OF MONITORING MEASUREMENTS

PANZHIN ANDREY ALEXEEVICH¹

¹Institute of Mining of Ural Branch RAS

Abstract. The issues of modeling geoinformation methods of natural, man-made, and ecological systems are considered. The technique of visualization of geodynamic movements based on the results of cyclic geodetic measurements is presented, which allows you to reasonably identify active geological structures, blocks, tectonic faults. It is shown that as a key source of information on geodynamic movements carried out at large spatio-temporal bases, it is advisable to use not the absolute values of the displacement vectors of the observation points, but their velocities reduced to the annual cycle. It is indicated that an important characteristic of the vector field of geodynamic motions is divergence, which characterizes the degree of convergence or divergence of the vector flow.

Keywords: geodynamic movements, deformations, monitoring, visualization, geoinformation methods.

Моделирование геоинформационными методами природных, техногенных, и экологических систем позволяет выявить многие необходимые для их анализа свойства и характеристики, в том числе скрытые закономерности их пространственно-временного распределения. При этом многое зависит от исследования, адекватного объекту и его компонентам: идентификации и визуализации как количественной, так и качественной пространственно-временной информации [1].

Также визуализация геодинамических движений по результатам цикловых геодезических измерений позволяет более обоснованно выделять активные геологические структуры, блоки, тектонические разломы, что необходимо для прогнозирования мест возможных сейсмических событий и принятия профилактических мер для обеспечения безопасности населения, промышленных объектов и др.

Исследования современных геодинамических движений в представленной работе осуществлялись на Воронежском кристаллическом массиве (ВКМ) с использованием данных деформационного мониторинга, проводимых постоянно действующими стан-

циями GNSS на территории региона (рис. 1). Чтобы иметь возможность проследить и оценить вероятную связь современных геодинамических движений с тектоническим строением региона, на рис.1 совмещено размещение пунктов GNSS с основными разломами региона, отмечаемыми фондовыми геологическими материалами.

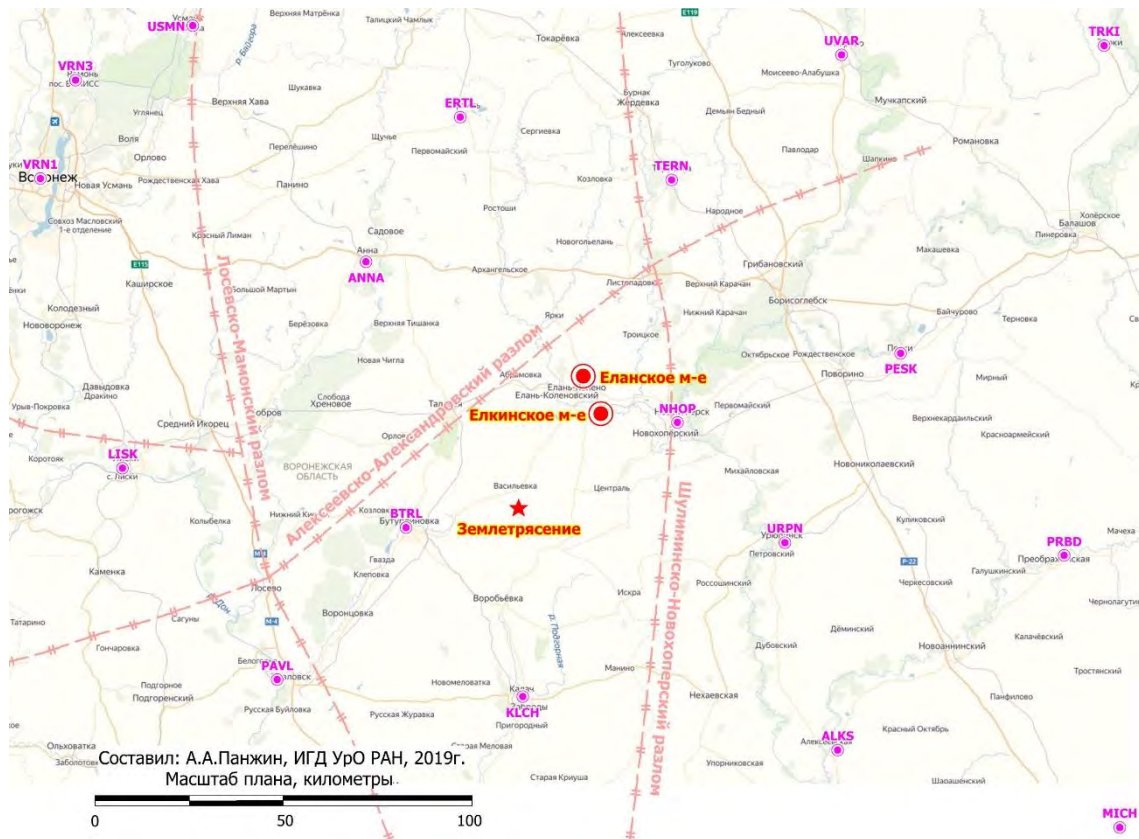


Рисунок 1 – Ситуационная карта расположения станций GNSS, по которым определялись современные геодинамические движения

Также на исследуемом участке зафиксирован что эпицентр сейсмического события, отнесенного к природным землетрясениям. Магнитуда землетрясения, произошедшего 31.03.2000, составила 3,9, глубина очага 10 километров. По последствиям землетрясения такой магнитуды не представляют серьезной опасности, но они, являясь динамической реализацией предшествующих деформационных процессов, в определенной мере характеризуют современную геодинамическую активность района.

Всего на исследуемой территории, на площади размерами 200x300 км расположено 18 пунктов GNSS, которые производят накопление данных, что позволяет выполнить их высокоточную геодезическую привязку к общемировой сети IGS в режиме цикловых мониторинговых измерений. Вопрос возможности исследования современных геодинамических движений с использованием данных деформационного мониторинга, проводимых, постоянно действующими станциями Global Navigation Satellite System (GNSS), неоднократно рассматривался в связи с исследованием современной геодинамики Уральского региона, вызванной как естественными, так и техногенными факторами [2, 3].

В работе [4] показано, в качестве ключевого источника информации о геодинамических движениях по результатам мониторинговых измерений, проводимых на больших пространственно-временных базах, целесообразно использовать не абсолютные значения величин векторов сдвижений пунктов GNSS и реперов наблюдательных стан-

ций, а их скорости, приведенные к годовому циклу. Приведение скоростей к годовому циклу необходимо при проведении мониторинговых измерений по нерегулярным по времени цикловым измерениям для приведения результатов к общей пространственно-временной базе.

Определение цикловых пространственных координат пунктов постоянно действующих станций осуществлялось, методами Precise Point Positioning (PPP) [5] и классическими методами Double Difference (DD). Также методы PPP и DD могут использоваться в комбинации, при этом методами DD производится расчет и уравнивание геодезической сети, а методом PPP – привязка локальных и региональных геодезических построений к международной сети IGS.

Годовые скорости векторов трендовых движений пунктов были определены на основе анализа изменений их пространственных приращений координат ΔX , ΔY , ΔZ , происшедших в промежутках между повторными циклами измерений (табл. 1), и представлены на рис 2. Направления и величины векторов достаточно однородны, что отражает общее преимущественно восточное трендовое направление литосферной плиты, включающей ВКМ.

Таблица 1

Геодинамические движения пунктов GNSS за период наблюдений
20.03.2019-09.10.2019 (203 суток)

Станция GNSS	Координаты станции		Геодинамические движения, мм/год				
	B (широта)	L (долгота)	ΔB	ΔL	ΔH	2D	3D
PESK	51°15'13"	42°27'25"	11.3	27.8	21.0	30.0	36.6
NHOP	51°05'28"	41°36'24"	3.7	39.0	23.9	39.2	45.9
TERN	51°41'07"	41°35'34"	6.8	34.1	4.9	34.8	35.1
MIHA	50°04'49"	43°13'53"	8.3	30.0	4.2	31.1	31.4
PAVL	50°27'39"	40°05'55"	4.1	34.6	5.4	34.9	35.3
VRN3	51°55'07"	39°17'45"	6.5	37.8	-1.2	38.3	38.3
ALKS	50°17'06"	42°11'21"	7.4	38.7	12.5	39.4	41.3
ANNA	51°29'07"	40°25'21"	14.1	32.2	15.0	35.1	38.2
BTRL	50°50'09"	40°34'41"	14.8	42.2	5.4	44.8	45.1
ERTL	51°50'24"	40°46'53"	5.2	34.8	3.6	35.2	35.4
KLCH	50°25'22"	41°01'00"	9.3	35.0	5.4	36.2	36.6
LISK	50°58'21"	39°30'22"	7.8	35.8	-2.4	36.6	36.7
PRBD	50°44'56"	43°03'21"	6.3	40.9	0.6	41.4	41.4
TRKI	51°59'33"	43°16'19"	5.6	41.2	6.0	41.5	42.0
URPN	50°47'42"	42°00'22"	6.1	29.9	hurr	30.5	hurr
USMN	52°03'29"	39°44'43"	7.8	35.8	3.0	36.6	36.7
UVAR	51°59'10"	42°15'22"	6.5	36.7	13.3	37.2	39.5
VRN1	51°40'36"	39°10'13"	8.7	39.5	7.8	40.5	41.2

Как видно из таблицы 1, на исследуемом участке, на фоне трендовой составляющей также отмечается неоднородность скоростей геодинамических движений в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

В качестве ключевого источника информации о геодинамических движениях по результатам мониторинговых измерений, проводимых на больших пространственно-временных базах, целесообразно использовать не абсолютные значения величин векторов сдвижений пунктов GNSS и реперов наблюдательных станций, а их скорости, приведенные к годовому циклу. Это необходимо при проведении мониторинговых измерений по нерегулярным по времени цикловым измерениям для приведения результатов к общей пространственно-временной базе.



Рисунок 2 – Векторы трендовых горизонтальных современных геодинамических движений

Также анализ скоростей геодинамических движений, а не их абсолютных значений, целесообразно использовать при исследовании процесса сдвигения при подземной и открытой разработках месторождений полезных ископаемых, поскольку в условиях действующего горнодобывающего предприятия возникает проблема утраты реперов наблюдательной станции. Это приводит к частичной ротации реперов вследствие восстановления уничтоженных и добавления новых в геодезические построения. При этом сопоставление абсолютных величин сдвижений и деформаций, полученных в различные периоды времени будет некорректным при использовании традиционных алгоритмов оценки и анализа деформационного состояния массива.

В результате, для каждой серии цикловых измерений определяются изменения пространственных приращений координат ΔX , ΔY , ΔZ пунктов, которые, для случая ВКМ, имеют преимущественно восточное направление за счет трендовой составляющей. При этом векторное поле деформаций визуализируется практически однородным, что не позволяет качественно идентифицировать пространственно-временную информацию о геодинамических движениях. Для числовой фильтрации трендовой составляющей применялся метод наименьших квадратов, с наложением условия математического минимума квадратов векторов сдвижений по каждой оси координат X , Y , Z .

$$\sum \delta x \delta x \rightarrow \min; \sum \delta y \delta y \rightarrow \min; \sum \delta z \delta z \rightarrow \min.$$

В результате определено и графически построено освобожденное от трендовой составляющей поле векторов геодинамических движений исследуемой территории ВКМ, в котором визуально определяются вихревые сдвигения (рис. 3). Важность визуализации вихревых (ротационных) геодинамических движений объясняется тем, что границы вихрей формируются по границам крупных подвижных структурных нарушений, что позволяет их идентифицировать активные тектонические структуры района [6, 7].

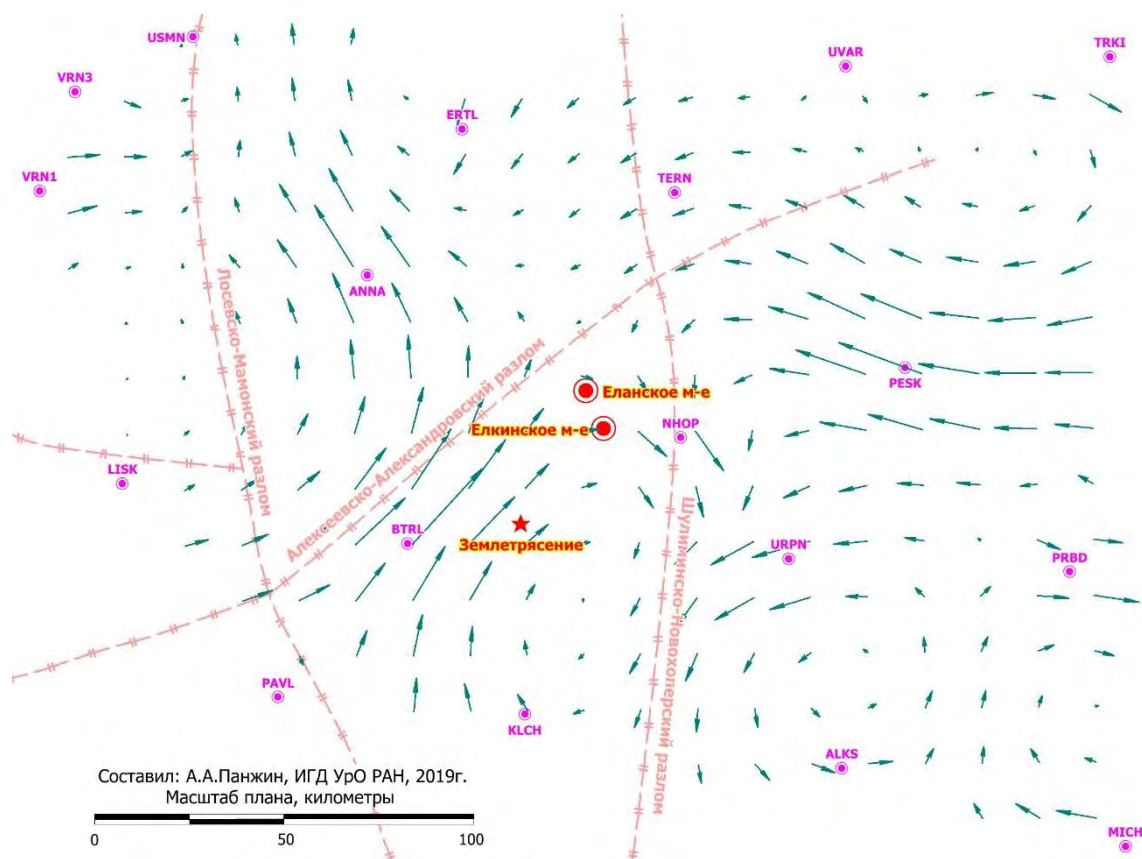


Рисунок 3 – Вихревые движения на исследуемой территории

Полученные в результате измерений геодинамические движения, с использованием математического аппарата механики сплошной среды преобразуются также в векторное и тензорное представление деформационного поля с выделением главных компонентов тензора деформаций (рис. 4). Это позволяет выделить и идентифицировать зоны с максимальными значениями главных деформаций как растяжения, так и сжатия, а также зон с повышенными значениями сдвиговых деформаций, приводящих к разрушениям объектов инфраструктуры.

Другой важной характеристикой векторного поля геодинамических движений является дивергенция, которая характеризует степень сходимости или расходимости векторного потока, знание закономерностей распределения ее характеристик позволяет идентифицировать источники формирования и стока деформационных процессов, и определить их пространственное положение. Разработан и алгоритмически реализуется математический аппарат [8, 9], позволяющий определять дивергенцию по результатам исходных данных, представленных как в виде равномерной Крайгинг-модели, так и в виде данных, представленных в вершинах единичных элементов триангуляции Делоне.

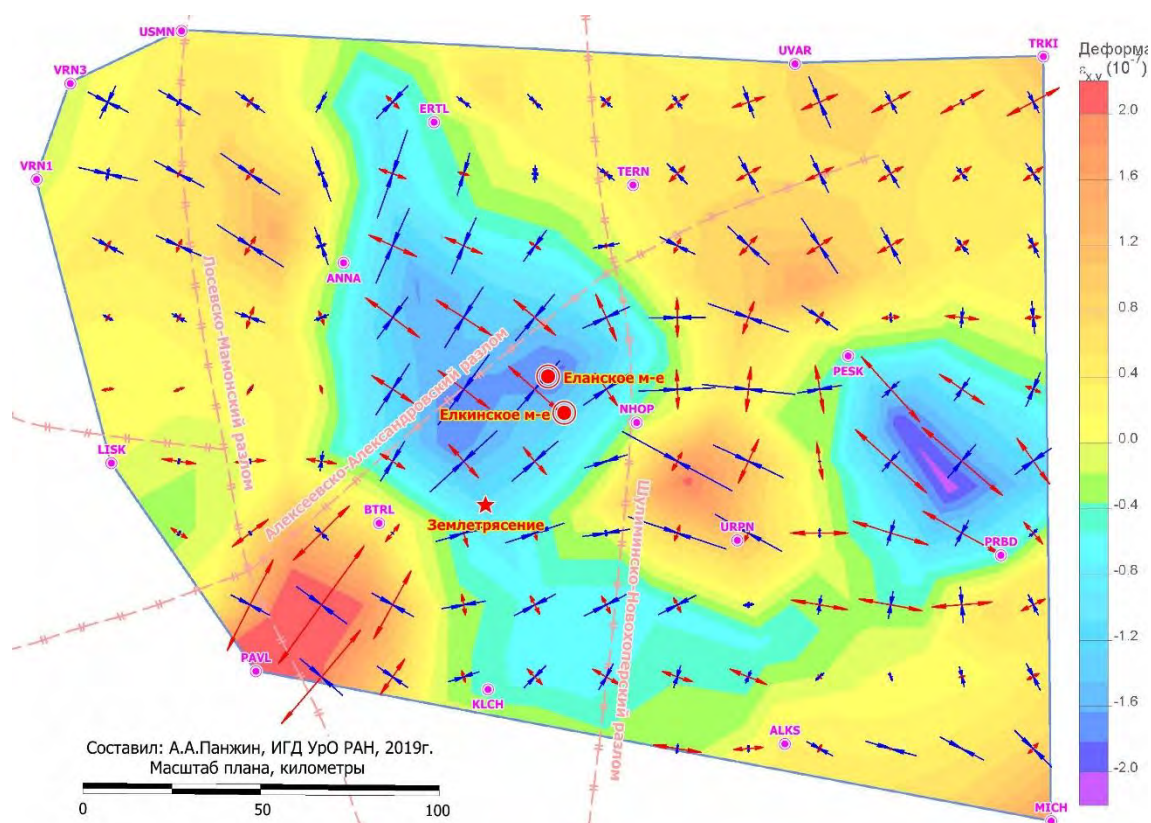


Рисунок 4 – Вихревые движения на исследуемой территории

Другими вопросами идентификации и визуализации геодинамических движений по результатам мониторинговых измерений, требующими дальнейшей проработки, но не затронутыми на данном этапе, являются:

- Окончательная реализация в виде компьютерной программы разработанного математического аппарата оценки дивергенции векторных полей, что позволит определять дивергенцию по результатам исходных геодезических данных.

- Решение вопроса о возможности повышения оперативности получения результатов геодинамических исследований за счет использования в расчетах точных эфемерид разного класса (Rapid vs Final). В настоящее время проведено две серии эксперимента, показавших противоречивые данные, готовится к проведению третья серия.

- Решение вопроса о выборе минимально возможного интервала между цикловыми сериями инструментальных измерений, при котором погрешности единичных измерений будут оказывать минимальное влияние на результат определения скоростей современных геодинамических движений.

Библиографический список

1. Мазуров Б.Т., Панжин А.А., Силаева А.А. Структурное моделирование полученных по геодезическим данным сдвижений путем визуализации // Геодезия и картография. 2016. № 3. С. 35-40.

2. Уткин В.И., Белоусова А.А., Тягунов Д.С., Баландин Д.В. Исследование геодинамики Северного и Среднего Урала по данным GPS // Доклады Академии наук. - 2010. - Т. 431. - № 2. - С. 246-251.

3. Панжин А.А. Исследование геодинамических движений CORS для обоснования методики контроля процесса сдвижения на месторождениях Уральского региона // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2015. - № 1 (49). - С. 22-26.

4. Панжин А.А., Панжина Н.А. Оценка стабильности опорных пунктов как основы для геодинамического мониторинга // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. - 2019. - № 6. - С. 31-40.
5. J. F. Zumberge, M. B. Hefflin, D. C. Jefferson, M. M. Watkins et al. Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks // Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012). – 1997. – Т. 102. – № В3. – Р. 5005–5017.
6. Мазуров Б.Т. Математическое моделирование при исследовании геодинамики. – Новосибирск: СГУГиТ. - 2019. – 360 с.
7. Викулин А.В. Ротационные волны в блоковых вращающихся средах (на примере геологической среды) // Процессы в геосредах. - 2016. - № 7. - С. 194-206.
8. Колмогоров В.Г., Мазуров Б.Т., Панжин А.А. Алгоритм оценки дивергенции векторных полей движений земной поверхности по геодезическим данным // Геодезия и картография. - 2018. - Т. 79. - № 10. - С. 46-53.
9. Мазуров Б.Т., Мустафин М.Г., Панжин А.А. Метод оценки дивергенции векторных полей деформаций земной поверхности при разработке месторождений полезных ископаемых // Записки Горного института. - 2019. - Т. 238. - № 4. - С. 376-382.

УДК 620.684

ПОИСК РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КАРЬЕРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ЖУРАВЛЕВ А. Г.¹

¹Институт горного дела УрО РАН

Аннотация. Изложены методические подходы к поиску рациональных параметров карьерного технологического транспорта в условиях современных и перспективных возможностей, предоставляемых цифровыми технологиями. Приведены примеры решения отдельных задач как на моделях, так и на реальных геотехнических объектах.

Ключевые слова: транспортная система карьера, оптимизация, цифровые технологии, параметры карьера, компьютерное моделирование

SEARCH FOR RATIONAL PARAMETERS OF OPTN-PIT TRANSPORT SYSTEMS USING DIGITAL TECHNOLOGIES

ZHURAVLEV A. G.¹

¹Institute of Mining UB RAS

Abstract. There are described methodological approaches to the search for rational parameters of career technological transport in the conditions of modern and promising opportunities provided by digital technologies are Examples of solving individual problems both on models and on real geotechnical objects are given.

Keywords: open pit transport system, optimization, digital technology, quarry options, computer simulation

Современные экономические условия диктуют все ужесточающиеся требования к срокам, достоверности, точности прогнозов и учета рисков, более детальной проработки этапов работы карьера при проектировании горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки. Это же относится и к проектированию транспортных систем карьеров.

Сложности, возникающие при обосновании параметров транспортных систем карьеров на современном этапе:

1. Сложность математического описания зависимостей параметров и показателей транспортной системы от параметров карьера (взаимное влияние, многофакторность и др.).
2. Каждое месторождение уникально. Следовательно, в определенной степени уникальная и транспортная система.
3. Постоянное развитие техники требует актуализации проектных, технологических и стоимостных показателей.
4. Внедрение новых технологий требует прогнозирования параметров транспорта в новых условиях (крутонаклонные съезды, роботизированные машины и т.д.)
5. Необходимо совершенствование экономических критериев выбора оптимальных вариантов ТСК.
6. Используемый ранее подход в виде таблиц предпочтительных условий применения (областей применения) по видам транспорта уже не отвечает широчайшему диапазону условий, высокой динамике развития параметров видов транспорта и горно-технических условий эксплуатации. Необходимы гибкие, но не громоздкие методики для

практического применения. Поэтому требуют разработки экспресс-методики и неэкономические критерии отбора вариантов транспортных систем для последующей детальной проработки.

7. Нужны методики обоснования параметров транспортных средств под конкретные горно-технические условия. От уровня выбора модели автосамосвала до обоснования параметров специальных видов транспорта.

8. Необходимы методики учета прогноза развития техники и технологий при долгосрочном планировании 20-50 лет.

9. Требуется актуализации нормативно-техническая база (правила проектирования).

10. Требуется создание комплексной методики обоснования параметров транспортных систем карьеров.

Высокая динамика изменчивости, особенно в условиях рыночной экономики, постоянно возрастающие требования к точности и надежности прогнозов, а также широкие возможности, открывающиеся благодаря развитию автоматизации сбора данных на действующих горнодобывающих предприятиях, уже сегодня требуют разработки методических подходов к обоснованию параметров горнотехнических систем в целом (ГОК, карьер и т.п.) и их отдельных элементов (например, горнотранспортная система) на новом уровне. Основой решения таких задач в области ТСК может быть ее динамическая модель, которая в общем виде изложена в [1]. В будущем она может быть реализована как полноценная интерактивная модель с постоянно развиваемым вычислительным ядром, но, скорее всего, ее функционирование будет возможно на уровне суперкомпьютеров.

На сегодняшнем уровне развития вычислительных возможностей для решения прикладных задач целесообразно это возможно на нижнем уровне принятия решений (оперативное управление и оперативное планирование на уровне суток-недели). Для принятия же стратегических решений и среднесрочном планировании целесообразно формирование квазидинамических моделей, в которых динамичность реализуется за счет набора условно статических состояний ТСК (на выбранный момент времени – сутки, месяц, год), следующих в хронологической последовательности. Выбор моментов времени осуществляется по точкам принятия решений об изменении параметров ТСК (точкам бифуркации).

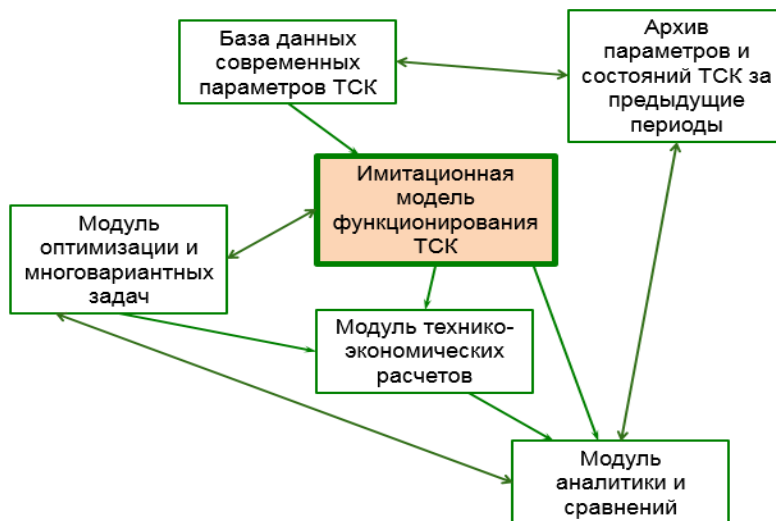


Рисунок 1 – Структура программной реализации цифровых систем для оптимизации параметров транспортной системы карьера

Структура программной (ПО) реализации такой модели приведен на рисунке 1. Ее ядром является имитационная модель ТСК с высоким коэффициентом подобия (например, [2]). Оптимизация параметров ТСК на уровне краткосрочного прогноза выполняется путем

перебора вариантов с применением известных алгоритмов «крутого спуска» и т.п. (за это отвечает Модуль оптимизации и многовариантных задач). Для средне и долгосрочного прогноза используется алгоритм верхнего уровня (Модуль аналитики и сравнений), оценивающий варианты траекторий развития системы и показатели эффективности ее функционирования. Он как раз и реализует хронологическую последовательность состояний системы, формируя квазидинамическую модель ТСК на всем жизненном цикле.

Научно-методической парадигмой для разработки вышеуказанных методик и алгоритмов являются базовые принципы формирования и развития ТСК [3], методической основой – вся палитра современных методик и инструментария для расчета и оптимизации параметров карьерного транспорта и систем в целом.



Рисунок 2 – Иллюстрация источников автоматизированного сбора данных для имитационного моделирования и оптимизации ТСК

Сбор данных о функционировании отдельных машин и комплексов в целом, их эксплуатационных показателях уже сегодня во многом осуществляется с помощью автоматизированных систем (рис. 2), а при необходимости могут собираться в рамках мониторинговых замеров на эксплуатируемых машинах [4]. С развитием цифровизации сформируются единые комплексные базы данных, в которых на каждом уровне расчета будет доступна информация разного масштаба (см. «База данных современных параметров ТСК» на рис. 1), что даст новые возможности для оптимизации.

Очевидно, что в отличие от ряда других сфер применения промышленного транспорта, карьерный транспорт тесно связан по своим параметрам с параметрами горных выработок. Поэтому в ИГД УрО РАН разрабатываются прикладные методики, учитывающие влияние транспортных коммуникаций на форму карьера. Принципиальная схема такого методического подхода приведена на рисунке 4. Его суть в итерационной совместной оптимизации ТСК и горной выработки: по оптимизированным на каждом шаге параметрам ТСК определяются параметры карьера и оптимизируются, на основе уточненных данных о форме карьера рассчитываются требования к транспорту и цикл повторяется. итерационный цикл выполняется до достижения желаемых значений либо по горнотехническим (минимизация объемов вскрыши, дальности транспортирования и т.д.), либо по технологическим (обеспечение максимальной производственной мощности карьера и т.п.), либо по технико-экономическим (минимум затрат, максимум прибыли) критериям.

Важно использовать полностью возможности компьютерных технологий и реализовать методы совместной оптимизации уже на уровне определения формы карьера. Для этого необходимо совершенствовать известные методы Лерча-Гроссмана и С.Д. Коробова для определения границ карьера по геологическим данным и их стоимостным оценкам, дополнив алгоритмами учета транспортной составляющей и ее влияния на форму вскрывающих выработок. Необходимость решения этой проблемы и поиск принципиальных подходов уточнения существующих методик описывается рядом авторов, в частности [5].

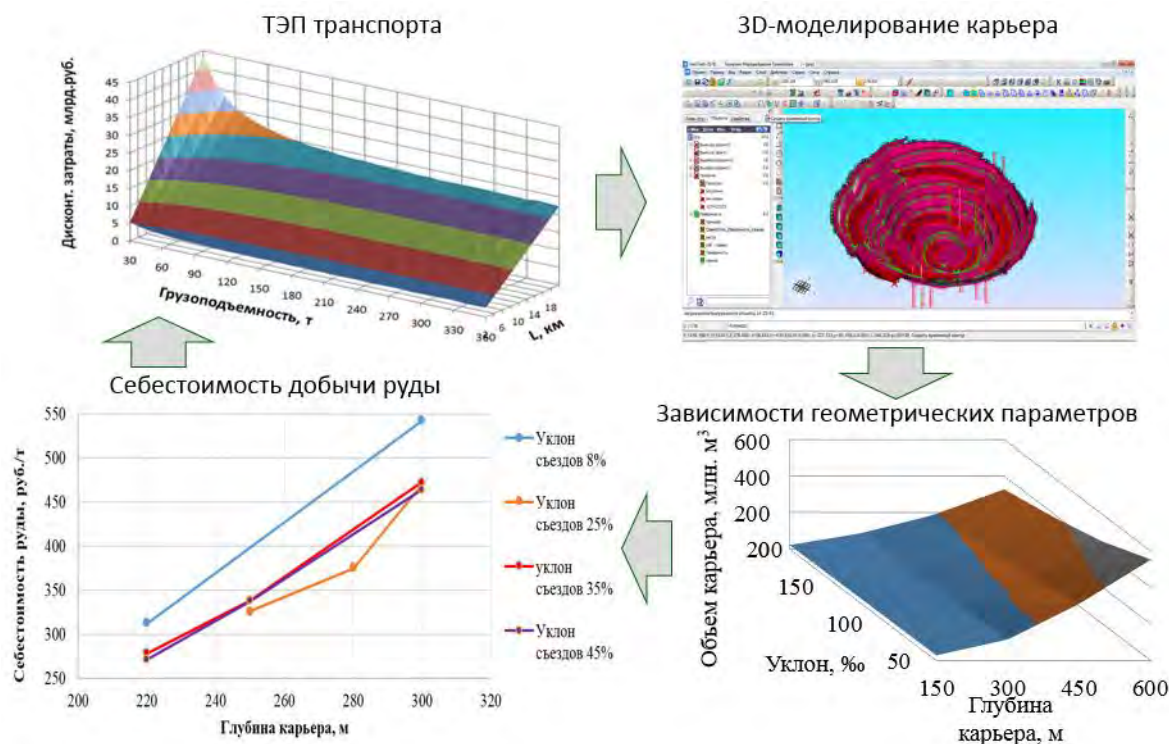


Рисунок 3 – Принципиальная схема методического подхода к совместной оптимизации параметров транспортной системы и карьера

Описанные выше подходы позволяют по-новому решать задачи определения параметров ТСК при проектировании разработки месторождений полезных ископаемых. Определять структуру транспортной системы необходимо руководствуясь не только общепринятыми областями применения различных видов транспорта, но и устанавливая предпочтительные условия и зоны применения по видам транспорта для каждого конкретного месторождения. Примером реализации автоматизированных расчетов по указанной методике служит алгоритм, приведенный на рисунке 4.

Суть алгоритма заключается в итерационном расчете параметров для множества вариантов транспортной системы для конкретных горно-геологических условий. Увязка ТСК с параметрами карьера осуществляется аналогично вышеописанному методическому подходу (рис. 3). По каждому варианту ТСК рассчитываются технико-экономические показатели и выполняется их сравнение между вариантами. Сравнение выполняется по затратам. На пересечении поверхностей, отражающих затраты разных вариантов, формируются границы предпочтительного применения того или иного вида транспорта или варианта комбинированного транспорта.

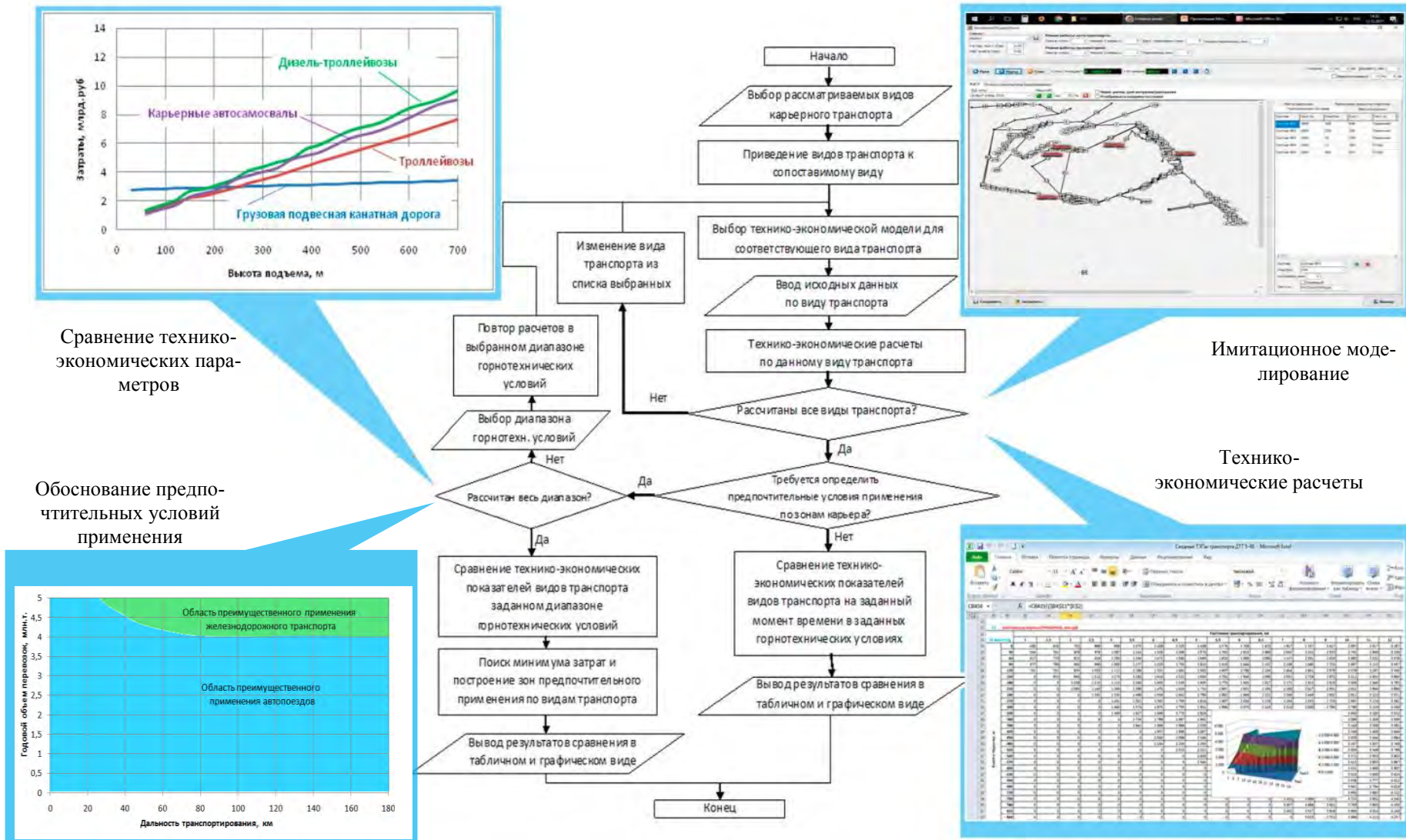


Рисунок 4 – Структура методики технико-экономического сравнения современных и перспективных видов карьерного транспорта и обоснования предпочтительных условий их применения

Расчетные и имитационные модели точнее детерминированных расчетов, однако и они характеризуются коэффициентом подобия, который всегда меньше 1. Следовательно, полученные данные имеют некий разброс (отклонения) и для нахождения достоверных значений требуются особые методы обработки данных. Пример такого решения для автомобильно-конвейерного транспорта приведен в работе [6]. Методика позволяет, оценив погрешность расчетных данных, установить не только границы наиболее вероятных значений, но и области с гарантированным выполнением заданных критериев, например, уровень затрат меньше допустимой величины.

Цифровые технологии могут применяться не только для планирования, но и для непосредственного управления работой транспортных систем карьеров. Большим потенциалом обладает имитационное моделирование в плане создания оптимизирующих систем диспетчеризации, а в будущем и автоматического управления горнотранспортными комплексами. Например, в работе [7] рассмотрен вопрос планирования сменной производительности карьерного железнодорожного транспорта на основе имитационного моделирования. Необходимо развитие методов и алгоритмов предсказательной аналитики, которая позволит создавать интерактивные оптимизирующие системы «реального времени».

Отличительная особенность – возможность с высокой вероятностью предсказывать развитие событий и оптимизировать распределение машин в карьере с учетом выбранных целевых функций (максимум производительности, минимум расходов и т.п.).

Сотрудниками ИММ УрО РАН и ИГД УрО РАН в [8] показано, что для реализации указанной системы рационально использовать мультиагентный подход. Реализация тестовой компьютерной модели простой транспортной системы на базе мультиагентного подхода подтвердила его возможности, в том числе решение задач распределения самосвалов на основе набора относительно простых условий и ограничений, а также широкие возможности добавления или изменения условий и ограничений, в том числе в процессе функционирования модели.

В заключение необходимо отметить, что представленные выше подходы справедливы не только для традиционных видов транспорта (автомобильного, железнодорожного, конвейерного), а также их комбинаций. Аналогичным образом могут быть определены рациональные параметры машин и оптимизированы технологические параметры транспортных систем со специальными видами транспорта и схемами вскрытия. Например, в работах [9, 10] приводятся концепции комплекса моделей, которые могут быть использованы для их оптимизации.

Выводы:

1. Активное развитие цифровых технологий в ближайшем будущем откроет новые возможности для стратегической и оперативной оптимизации процессов добычи полезных ископаемых, в частности технологического транспорта. В том числе благодаря автоматизированному сбору данных и доступности больших объемов детальной информации о параметрах процессов, состоянии и показателях функционирования горных и транспортных машин.

2. Представленный комплекс методик и подходов к решению задач оптимизации транспортных систем карьеров позволяет решать прикладные задачи и может являться базисом для создания перспективных цифровых систем.

Библиографический список

1. Журавлев А.Г. Вопросы оптимизации параметров транспортных систем карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – №3-2.
2. Журавлев А.Г. Моделирование параметров транспортных систем карьеров // Черная металлургия. – 2015. – №12. – С. 22-26.

3. Яковлев В.Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. – 240 с.
4. Журавлев А.Г. Экспериментальные исследования работы карьерных автосамосвалов в условиях эксплуатации / А.Г. Журавлев, М.В. Исаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – №3-2.
5. Лукичѳв С.В. Сравнение методов формирования экономической модели месторождения при определении границ карьера / С. В. Лукичѳв, А. Л. Билин, Д. А. Торопов // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2016. – №1-1. Том 19. – С. 5-12.
6. Семенкин А.В. Исследование экономического показателя затрат при циклично-поточной технологии на рудных карьерах / А.В. Семенкин, В.А. Антонов // Известия Вузов. Горный журнал. – 2019. – №1. – С. 103-111.
7. Бахтурин Ю.А. Планирование сменной производительности карьерного железнодорожного транспорта на основе имитационного моделирования // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». – 2018. – № 2 (1418). – С. 77-85.
8. Журавлев А.Г. Возможности автоматизированной оптимизации работы транспортных систем карьеров на основе мультиагентного подхода / А.Г. Журавлев, П.А. Ченцов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. - №11 (СЦ 37). – С.141-150. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-141-150
9. Чендырев М.А. Комплексная модель для обоснования параметров автомобильного карьерного подъемника // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. - №11 (СЦ 37). – С.282-289.
10. Черепанов В.А. Концепция создания комплексной модели для оптимизации параметров открыто-подземной технологии доработки прибортовых и подкарьерных запасов / В.А. Черепанов, И.А. Глебов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. - №11 (СЦ 37). – С.290-299.

УДК 622:504.61

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПОДМОСКОВНОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА

ПРОХОРОВ Д. О.¹

¹ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Аннотация. Рассмотрена последовательность получения основной составляющей материалов инвентаризации техногенных образований на примере создание цифровой модели террикона угольной шахты.

Ключевые слова: цифровая модель, техногенное образование, отвал, террикон

INVENTORY OF TECHNOGENIC FORMATION MOSCOW COAL BASIN

PROKHOROV D. O.¹

¹Tula State University

Annotation. The sequence of obtaining the main component of the inventory materials of technogenic formations is considered on the example of creating a digital model of a coal mine heaps.

Keywords: digital model, technogenic formation, dump, heap.

Промышленная добыча угля в Тульской области велась с 1855 года. Масштабная добыча бурого угля началась в 1920-х годах в рамках реализации идеи использования местных топливных ресурсов и необходимости во время Гражданской войны обеспечить топливом Центральный регион. В 1941 году из-за активных военных действий на

территории Тульской области многие шахты были взорваны и затоплены. Однако, вследствие оккупации Донбасса, необходимость в подмосковном угле исключительно возросла, и после освобождения территории области немедленно возобновились работы в угольной промышленности. После войны добыча угля в Подмосковном бассейне на 90% сосредоточилась в Тульской области. На 1 января 1959 г. шахтный фонд бассейна состоял из 155 шахт и одного угольного разреза, суммарной производственной мощностью 45068 тыс.т. С 1960-х годов, из-за появления более дешевых видов топлива, произошло постепенное снижение добычи. Из-за низкого качества угля и относительно высокой стоимости его добычи в 1980—1990-х годах практически все добывающие предприятия были закрыты. В 2009 году закрыта последняя шахта - «Подмосковная». За время эксплуатации месторождений добыто свыше 1,2 млрд тонн угля.

На сегодняшний день в Тульской области под породными отвалами угольных шахт Подмосковного бассейна занято более 500 га плодородных земель (таблица 1).

Таблица 1. Укрупненная площадь земель, занимаемая под породными отвалами угольных шахт в Тульской области

№	Район Тульской области	Трест	Количество шахт	Укрупненная площадь земель, занимаемая под терриконами, га
1	Щекинский	«Щекиноуголь»	20	70
2	Киреевский	«Красноармейск-уголь»	26	126
3	Узловский	«Узовскуголь»	14	72
4	Донской (городской округ)	«Донскойуголь»	16	46
5	Новомосковский	«Новомосковск-уголь»	14	64
6	Кимовский	«Красногвардейск-уголь»	13	62
7	Богородицкий	«Богородицкуголь»	22	81
8	Суворовский	«Черепетьуголь»	4	19

Кроме отчуждения огромных площадей земельных угодий техногенные образования угольных шахт являются экологически опасными объектами, т.к. под влиянием ветровой и водной эрозии негативно воздействуют на окружающую среду, прежде всего на почву, воздушный и водный бассейны. Изменение и преобразование природных ландшафтов - это еще одна проблема, возникающая из-за складирования пустых пород угольных шахт на дневной поверхности.

Помимо экологии, проблемы техногенные образования угольных шахт занимают особое место в таких сферах как: землеустройство и кадастр (определение границ терриконов и нарушенных вокруг них земель, контроль изменений этих границ), горная промышленность (в качестве потенциальных техногенных месторождений, использование пород техногенных образований в качестве закладочного материала для выработанного пространства карьеров при их рекультивации).

Особая важность вопрос учета и мониторинга состояния техногенных образований связана с тем, что угольные шахты закрыты, а рекультивационные или консервационные мероприятия на отвалах не проведены. Рано или поздно в каждом конкретном случае будет необходимо определять методы борьбы с негативным влиянием терриконов на окружающую среду (полная разборка, рекультивация или консервация террико-

на) или выбирать технологию разборки террикона, направления рекультивации или способ консервации.

В настоящее время учет породных отвалов угольных шахт ведется без определенной системы, разными ведомствами данные о терриконах хранятся и предоставляются неодинаково. Инвентаризация техногенных образований Тульской области позволит не только систематизировать данные о терриконах, но и будет содержать в себе широкий спектр их характеристик, позволяющих определять технические условия для проектов разработки техногенных месторождений, рекультивации (разборки, консервации), землеустроительных проектов.

Инвентаризацию породных отвалов Подмосковского угольного бассейна необходимо производить опираясь на данные ЕГРН, реестра объектов размещения отходов и все возможных публичных источников, таких как - публичная кадастровая карта, картографические веб-сервисы и т.п.

Одними из самых важных характеристик породных отвалов являются геометрические, но на границах и площадях останавливаться в современных условиях нельзя, необходимо создавать цифровые модели терриконов и включать их в материалы инвентаризации.

Решение таких задач традиционными геодезическими методами потребует значительных финансовых затрат и займет длительное время.

Создание цифровой модели породного отвала можно разделить на несколько стадий [1].

Подготовительные работы состоят из рекогносцировки на местности, определении маршрутов облетов, выявлении характерных точек для последующей привязки объекта в местной системе координат. Важнейшей составляющей в работе с беспилотным летательным аппаратом для создания цифровой модели местности является выбор времени для полета. Основные условия: отсутствие сильного ветра; отсутствие дождя, а также важно выбрать время с достаточным для такой съемки освещением. Съемку лучше всего производить в пасмурный день около полудня, т.к. в это время самые короткие тени. Лучшие сезоны для съемки - осень (от опадания листвы с деревьев до выпадения снега) и начало весны (после того, как снег стаял и до появления листьев).

Съемка.

Для создания 3D модели породного отвала, который представляет собой земляное сооружение с достаточно крутыми боковыми поверхностями, необходимо разбить съемку на несколько этапов:

1. Облет террикона с захватом изображений, снятых непосредственно сверху вниз. Для создания плана полета в данном случае использовалось бесплатное приложение DroneDeploy, в котором описывается область, по которой желаем произвести облет на карте базового слоя. Дрон после команды автоматически взлетает, пролетает по автоматизированной траектории полета, захватывая изображения, а затем приземляется.

2. Облет террикона с захватом изображений, снятых под углом 45° , производится с той же высоты. Для этого в ручном режиме фиксирует наклон камеры под углом 45 градусов, и облетает вокруг объекта по намеченному радиусу на той же высоте.

3. Облет террикона с захватом изображений, снятых под углом 90° , производится с той же высоты, уменьшенной примерно в 2 раза. Для этого в ручном режиме фиксирует наклон камеры под углом 80 градусов.

4. В некоторых случаях, когда структура объекта более сложная можно произвести еще один или несколько облетов с изменением высоты и угла камеры (рис. 1).

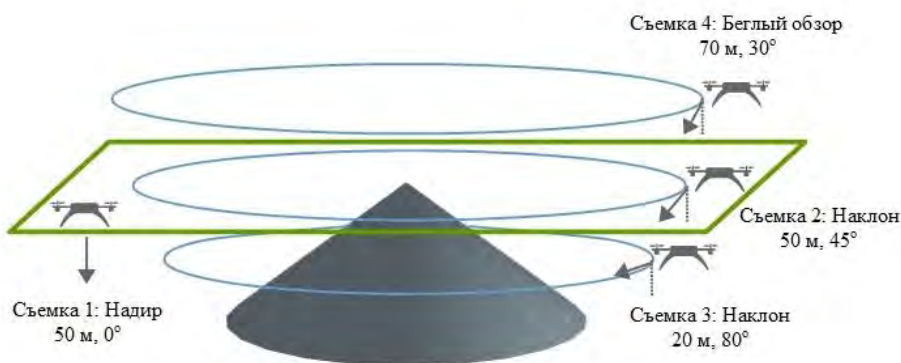


Рисунок 1 – Этапы съемки породного отвала

При захвате изображений снятых под углом важно избегать попадания в кадр горизонта, для этого ряд снимков необходимо делать в ручном режиме или настраивать срабатывание затвора камеры в автоматическом режиме с определенным замедлением.

Обработка материалов съемки для создания цифровой модели.

После завершения полетов материалы, отснятые с помощью дрона во всех рейсах, отправляются на сайт DroneDeploy, где через несколько часов обработки данных на основе облачных вычислений создается файл с расширением obj для формирования цифровой модели породного отвала. Файл obj содержит координаты и высоты точек объекта, и связывает их с координатами изображений для наложения текстуры.

Привязка объекта в местной системе координат.

С применением комплекса - БПЛА + мобильная станция RTK привязка объекта в местной системе координат значительно упрощается, а точность данных увеличивается. Станция RTK используется как опорная станция непрерывного действия, которая обеспечивает получение высокоточных данных позиционирования в диапазоне охвата базовой станции.

Создание цифровой модели породного отвала.

По имеющимся координатам и высотам точек объекта создать цифровую модель можно в любом программном продукте для 3D моделирования, позволяющим работать с файлом obj. В данной работе файл obj преобразован в txt, и цифровая модель сформирована в программе Surfer (рис. 2).

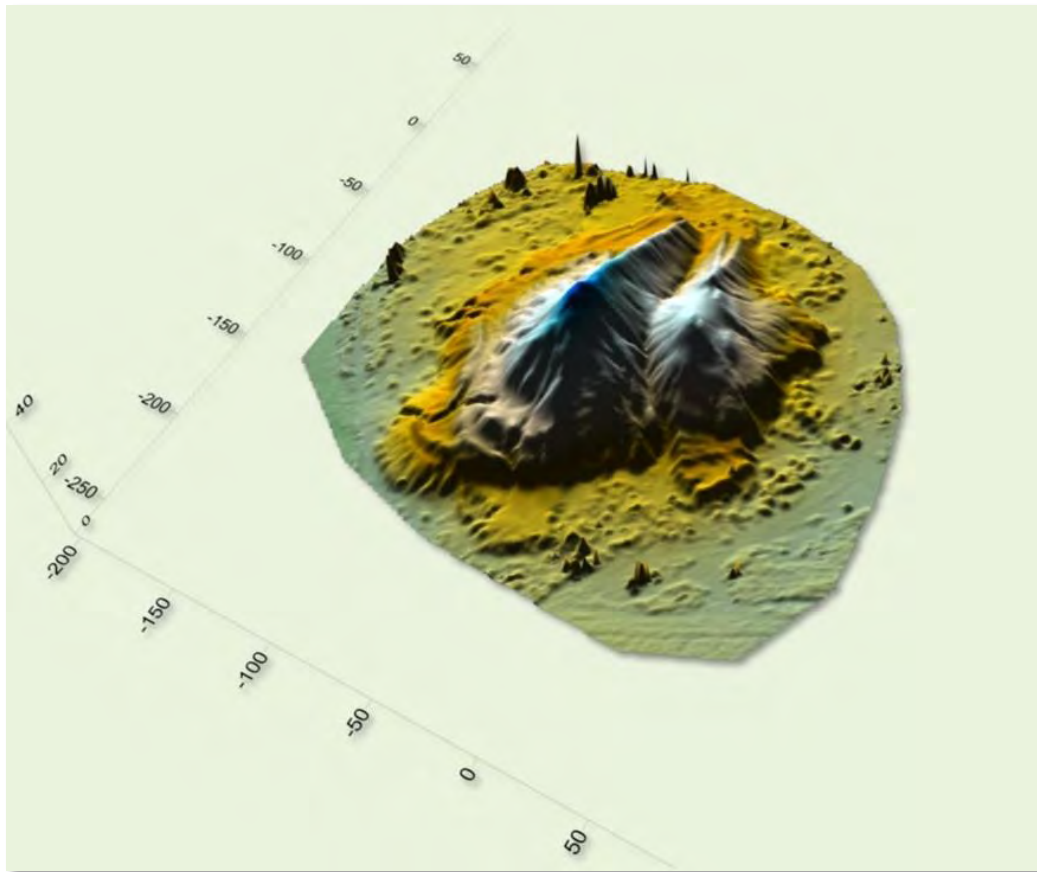


Рисунок 2 – Цифровая модель породного отвала шахты Западно-Щекинская 17-бис

Total Volumes by:

Trapezoidal Rule:	116783.73017398
Simpson's Rule:	116794.83677173
Simpson's 3/8 Rule:	116813.69186713

Cut & Fill Volumes

Positive Volume [Cut]:	173957.39674886
Negative Volume [Fill]:	57173.824430276
Net Volume [Cut-Fill]:	116783.57231859

Areas

Planar Areas

Positive Planar Area [Cut]:	22542.652459687
Negative Planar Area [Fill]:	25536.011103125
Blanked Planar Area:	79389.221579792
Total Planar Area:	127467.8851426

Surface Areas

Positive Surface Area [Cut]:	26306.284699248
------------------------------	-----------------

Рисунок 3 – Фрагмент отчета о вычислении площадей и объема террикона

Исследование цифровой модели породного отвала

По цифровой модели можно простроить карты, разрезы и профили поверхности, получить информацию обо всех геометрических параметрах отвала - занимаемая площадь, площадь поверхности, объем и т.д.

В данном случае, т.к. местность вокруг объекта достаточно пологая, для определения площадей и объема террикона в качестве нижней границы использовалась горизонталь наиболее близко расположенная к его подножию. Т.е. интересующие нас данные в отчете представлены с идентификатором «Positive» (рис. 3).

Такой подход позволяет получить данные для инвентаризации породных отвалов угольных шахт в короткие сроки с минимумом затрат и привлечения ресурсов.

Библиографический список

1. Прохоров Д. О. Создание цифровой модели породного отвала угольной шахты на основе съёмки беспилотным летательным аппаратом// Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. Вып. 1. С. 64-72.

УДК 62-503.57

СИНТЕЗ ИНТЕРВАЛЬНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ В АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ С ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛЬЮ

БОТИРОВ Т. В.¹, ЛАТИПОВ Ш.¹, БАРАКАЕВ А. М.¹, НАМОЗОВ Н.¹

¹Навоийский государственный горный институт

Аннотация: В статье формируется проблема управления в адаптивных системах управления с неопределенностью интервального параметра и достигаются условия для ее решения. С использованием аппарата интервального анализа предложены эталонные модели с упрощенными моделями управления процессами, а также алгоритмы настройки интервалов для много-связных адаптивных управляющих устройств.

Ключевые слова: адаптивное управление, эталонная модель, алгоритм, интервальной адаптивной регулятор.

SYNTHESIS OF INTERVAL CONTROL DEVICES IN ADAPTIVE CONTROL SYSTEMS WITH A REFERENCE MODEL

BOTIROV T. V.¹, LATIPOV SH.¹, BARAKAEV A. M.¹, NAMAZOV N.¹

¹Navoi state mining Institute

Abstract: the article forms the control problem in adaptive control systems with the uncertainty of the interval parameter and provides conditions for its solution. Using the interval analysis apparatus, reference models with simplified process control models are proposed, as well as algorithms for setting intervals for multi-connected adaptive control devices.

Keywords: adaptive control, reference model, algorithm, interval adaptive control.

Особое значение придается внедрению систем и средств автоматического и автоматизированного управления в горных производствах. Основными процессами обогащения горных пород являются дробление, измельчение, сепарация, флотация и обезвоживание продуктов [1].

Предварительный анализ показывает, что представленные процессы являются нестационарными, нелинейными, многомерными, со многими внутренними обратными связями, которые практически не имеют предварительной информации о форме и степени взаимосвязи между переменными в динамике в реальных условиях. Это значительно затрудняет получение адекватного математического описания технологических процессов и синтез адаптивных систем управления [1,2].

Понятие адаптивности регулятора для заданного нестационарного динамического объекта, управляемого адаптивным регулятором, как понятие управляемости и наблюдаемости динамического объекта, относится к понятию достижимости некоторой точки в пространстве состояний нелинейной управляемой системы.

В статье предложен метод решения задачи синтеза управляющих устройств адаптивного управления с эталонными моделями сложных технологических процессов обогащения руды в условиях неопределенности интервальных параметров. Этот метод будет распространен на синтез адаптивных устройств управления (например, адаптив-

ного аperiodического регулятора) в том случае, когда вместо канонического представления многомерных систем в пространстве состояний используется появление многомерной системы в пространстве передаточных функций [2,3].

Межцикловые колебания, которые иногда возникают при использовании систем с параметрически оптимизированными регуляторами, обычно устраняются путем задания конечного времени установления как управляющих, так и контролируемых переменных. Аperiodические регуляторы (АР), удовлетворяющие этим требованиям, также используются в синтезе систем высокого порядка. Рассмотрим возможность использования АР с интервальной неопределенностью параметров для адаптивных систем управления с эталонной моделью [2].

Пусть ОУ задается передаточной функцией вида:

$$W_0(z) = \frac{\sum_{i=1}^n b_i z^{-i}}{a_0 + \sum_{i=1}^m a_i z^{-i}} = \frac{B(z)}{A(z)} \quad (1)$$

тогда обычный аperiodический регулятор принимает вид:

$$W_{Ap}(z) = \frac{Q(z)}{\hat{P}(z)},$$

где

$$Q(z) = \sum_{i=0}^m q_i z^{-i}, \quad \hat{P}(z) = (-1) \sum_{j=1}^n p_j z^{-j} = \sum_{j=1}^n \hat{p}_j z^{-j}, \quad \hat{p}_0 = 1, \\ q_0 = \left(\sum_{i=1}^n b_i \right)^{-1}, \quad q_i = a_i q_0, \quad p_j = b_j q_0, \quad \hat{p}_j = -p_j, \quad (2)$$

$$\forall i \in (\overline{1, m}), \quad j \in (\overline{1, n})$$

$$Q(z) \in \mathbf{Q}(Z, \tilde{\mathbf{Q}}), \quad \hat{P}(z) \in \hat{\mathbf{P}}(Z, \tilde{\mathbf{P}}),$$

$$\tilde{\mathbf{Q}} = (\mathbf{q}_i), \quad \mathbf{q}_i = [\underline{q}_i, \overline{q}_i], \quad i = \overline{1, m}, \quad \tilde{\mathbf{P}} = (\mathbf{p}_i), \quad \mathbf{p}_i = [\underline{p}_i, \overline{p}_i], \quad i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

С учетом (3) отметим, что $\mathbf{Q}(Z, \tilde{\mathbf{Q}})$, $\hat{\mathbf{P}}(Z, \tilde{\mathbf{P}})$ - интервально-значные полиномы.

В дальнейшем будем предполагать, что функция \mathbf{F} (\mathbf{Q} или $\hat{\mathbf{P}}$) есть функция вещественного аргумента z , но постоянные, входящие в \mathbf{F} - интервалы: $\mathbf{F} = \mathbf{F}(z, \mathbf{B})$.

Таким образом, имеем

$$\mathbf{Q}(z, \tilde{\mathbf{Q}}) = [\underline{q}_0, \overline{q}_0] + [\underline{q}_1, \overline{q}_1] z^{-1} + [\underline{q}_2, \overline{q}_2] z^{-2} + \dots + [\underline{q}_m, \overline{q}_m] z^{-m}, \\ \hat{\mathbf{P}}(z, \tilde{\mathbf{P}}) = [\underline{\hat{p}}_0, \overline{\hat{p}}_0] + [\underline{\hat{p}}_1, \overline{\hat{p}}_1] z^{-1} + [\underline{\hat{p}}_2, \overline{\hat{p}}_2] z^{-2} + \dots + [\underline{\hat{p}}_n, \overline{\hat{p}}_n] z^{-n}.$$

Воспользуемся результатами работы [4], где показано, что всякая однозначно-определенная интервальная функция может быть представлена граничными функциями, т.е. для нашего случая

$$\mathbf{Q}(Z, \tilde{\mathbf{Q}}) = [\min q(z, \tilde{q}), \max q(z, \tilde{q})], \quad \hat{\mathbf{P}}(Z, \tilde{\mathbf{P}}) = [\min p(z, \tilde{p}), \max p(z, \tilde{p})], \quad (4)$$

где $\underline{z} < z < \overline{z}$.

Возможность представления интервальнозначных полиномов двумя вещественными полиномами позволяет упростить программную реализацию интервальных алгоритмов настройки на основе использования стандартного математического обеспечения ЭВМ.

Если к синтезируемой системе адаптивного управления предъявлено требование обеспечения конечного времени установления регулируемой переменной, то для целей настройки можно непосредственно пользоваться формулами (2). В случае, когда к адаптивной системе предъявляется требование обеспечить отслеживание регулируемой переменной некоторой желаемой эталонной траектории, то цель непрямого адаптивного управления для замкнутой системы с АР с использованием неявной эталонной модели с учетом интервального расширения примет вид тождеств:

$$\mathbf{Q}(z)\widehat{\mathbf{V}}(z) \equiv \mathbf{Q}_M(z)\mathbf{V}_M(z) \equiv \widehat{\mathbf{V}}_M(z), \quad (5)$$

$$\widehat{\mathbf{P}}(z)\mathbf{A}(z) + \mathbf{Q}(z)\widehat{\mathbf{V}}(z) \equiv \widehat{\mathbf{P}}_M(z)\mathbf{A}_M(z) + \mathbf{Q}_M(z)\mathbf{V}_M(z) \equiv \widehat{\mathbf{A}}_M(z), \quad (6)$$

где полиномы $\widehat{\mathbf{A}}_M(z)$, $\widehat{\mathbf{V}}_M(z)$ имеют следующий вид:

$$\widehat{\mathbf{V}}_M(z) = \sum_{i=0}^m \left\{ \prod_{i=0}^m \mathbf{q}_i \sum_{j=1}^n \mathbf{b}_j z^{-j} \right\}, \quad \widehat{\mathbf{A}}_M(z) = \sum_{i=0}^n \left\{ \prod_{i=0}^n \widehat{\mathbf{p}}_i \sum_{j=1}^m \mathbf{a}_j z^{-j} \right\} + \sum_{i=0}^m \left\{ \prod_{i=0}^m \mathbf{q}_i \sum_{j=1}^n \mathbf{b}_j z^{-j} \right\}.$$

Полиномы $\widehat{\mathbf{V}}(z)$, $\widehat{\mathbf{A}}(z)$ определяют идентифицированные значения параметров объекта управления.

Введем матрицы адаптируемости $\widehat{\mathbf{L}}_q$, $\widehat{\mathbf{L}}_p$ вида:

$$\mathbf{L}_{q(ij)} = \sum_{\rho=0}^{m+n} \widehat{\mathbf{b}}_{(i)\rho} \cdot \widehat{\mathbf{V}}_{(ij)l-\rho+\mu-\eta}, \quad \mathbf{L}_{p(ij)} = \sum_{\rho=0}^{m+n} \widehat{\mathbf{a}}_{(i)\rho} \cdot \varphi_{(ij)l-\rho+\mu-\eta},$$

где из определений объединенного расширения вещественной функции и сужения интервально-значной функции \mathbf{F} , а также представления интервально-значных функций с вещественными функциями [4] определим интервальные векторы $\widetilde{\mathbf{n}}_{(ic)}$, $\widetilde{\mathbf{h}}_{(ic)}$:

$$\widetilde{\mathbf{n}}_{(ic)} = \sum_{j=1}^m \mathbf{L}_{M(ij)} \mathbf{G}_{M(jc)r}, \quad \widetilde{\mathbf{h}}_{(ic)} = \sum_{j=1}^m \overline{\mathbf{L}}_{(ij)} \mathbf{G}_{M(jc)r},$$

где $\mathbf{G}_{(jc)r} = \left[\underline{\mathbf{G}}_{(jc)r}, \overline{\mathbf{G}}_{(jc)r} \right]$, $r = \overline{1,3}$, $c = \overline{1, m+n}$.

Тождества (5)-(6) можно представить в виде матричного алгебраического уравнения:

$$\widehat{\mathbf{L}}_{Ap} \widehat{\mathbf{G}}_{Ap} = \widehat{\mathbf{n}}_{Ap}, \quad (7)$$

где

$$\widehat{\mathbf{L}}_{Ap} = \left[\widehat{\mathbf{L}}_q : \widehat{\mathbf{L}}_p \right], \quad \widehat{\mathbf{G}}_{Ap}^T = \left[\widehat{\mathbf{G}}_q^T : \widehat{\mathbf{G}}_p^T \right], \quad \widehat{\mathbf{n}}_{Ap} = \left[\widehat{\mathbf{V}}_M^T : \widehat{\mathbf{A}}_M^T - \widehat{\mathbf{V}}_M^T \right],$$

$$\widehat{\mathbf{L}}_q = \begin{bmatrix} \widehat{\mathbf{b}}_1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \widehat{\mathbf{b}}_2 & \widehat{\mathbf{b}}_1 & \dots & \dots & \mathbf{O} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \widehat{\mathbf{b}}_n & \widehat{\mathbf{b}}_{n-1} & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{O} & \widehat{\mathbf{b}}_n & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{O} & \dots & \dots & \dots & \widehat{\mathbf{b}}_n \end{bmatrix}, \quad \widehat{\mathbf{L}}_p = \begin{bmatrix} \widehat{\mathbf{a}}_0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \widehat{\mathbf{a}}_1 & \widehat{\mathbf{a}}_0 & \dots & \dots & \mathbf{O} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \widehat{\mathbf{a}}_m & \widehat{\mathbf{a}}_{m-1} & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{O} & \widehat{\mathbf{a}}_m & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{O} & \dots & \dots & \dots & \widehat{\mathbf{a}}_m \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\widetilde{\mathbf{G}}_q^T = \left[\mathbf{q}_0, \mathbf{q}_1, \dots, \mathbf{q}_m \right], \quad \widetilde{\mathbf{G}}_p^T = \left[\widehat{\mathbf{p}}_0, \widehat{\mathbf{p}}_1, \dots, \widehat{\mathbf{p}}_n \right],$$

а искомые алгоритмы настройки параметров аperiodического регулятора будут вычисляться с помощью уравнения:

$$\widehat{\mathbf{G}}_{Ap} = \left(\widehat{\mathbf{L}}_{Ap} \right)^+ \widehat{\mathbf{n}}_{Ap}$$

И так, с использованием аппарата интервального анализа предложены интервальные адаптивные алгоритмы с полной моделью с упрощенными моделями управля-

емых процессов, а также интервальные алгоритмы настройки многосвязных адаптивных регуляторов [6,7].

Получены условия, при которых обеспечивается требуемый интервальный вектор допустимых значений координат адаптивных параметров регулятора. Показано, что при определенных условиях пространственные координаты обеспечат частичную адаптивность основного контура системы управления. На основе устройства интервального анализа разработаны алгоритмы синтеза интервальных адаптивных регуляторов для систем с эталонной моделью.

Библиографический список

1. Авдохин В. М. Основы обогащения полезных ископаемых: учеб. для вузов: 2 т. / В.М.Авдохин. – М.: Изд-во МГГУ, 2006. – Т. 1. Обогащительные процессы. – 417 с.
2. Турсинбоева З. У., Абдуллаева Д. А. Синтез адаптивно-интервальных систем управления технологическими объектами // Молодой ученый. - 2018. - №25. -С. 140-142.
3. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. –М., Наука, 2003. – 278 с.
4. Шарый С. П. Конечномерный интервальный анализ.- Новосибирск: Изд.: «XYZ» СО РАН.-2018. [Электрон. ресурс]. URL: <http://interval.ict.nsc.ru/Library/InteBooks/SharyBook.pdf>
5. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. - М.: Мир.-1987.-262 с.
6. Турсунов Б.Ж., Ботиров Т.В., Ташпулатов Д.К., Хайруллаев Б.И. Перспектива применения оптимального процесса рудоотделения в карьере мурунтау. Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений Сборник докладов VII Международной научно-технической конференции в рамках Уральской горнопромышленной декады. 2018. С. 160-164.
7. Ботиров Т.В., Исмоилов Э.У., Рахмонова Х.З. Формализация задач синтеза систем управления технологическими процессами в условиях интервально-параметрической неопределенности. Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации сборник статей V Международной научно-практической конференции. 2019. С. 38-41.

УДК 622.235:539.3

КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА ЗАРЯДОВ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

ВИКТОРОВ С. Д.¹, ЗАКАЛИНСКИЙ В. М.¹, ШИПОВСКИЙ И. Е.¹, МИНГАЗОВ Р. Я.¹

¹ФГБУН Институт проблем комплексного освоения недр им. Академика Н.В. Мельникова Российской академии наук

Аннотация. Известно, что каждый исторический период знаменуется новыми средствами и приемами, суть которых в организации определенной последовательности взрывания зарядов различного предназначения для решения, с помощью взрывных работ, различных инженерно-технических задач военного или гражданского предназначения. В этом плане особый интерес представляет проблема возможного использования одинарных зарядов для образования (формирования) взрывной волны формы, отличной от традиционной или классической круглой формы, свойственной взрыву обычного скважинного заряда, обусловленной способом его получения, т.е. бурением. Данный подход характеризует новое научное направление во взрывном разрушении горных пород, так как совместно с решением вопросов области его применения обозначает концептуально иные возможности управления распределением энергии в разрушаемом массиве. При этом вопросы инициирования скважинных зарядов имеют ключевое значение, так как непосредственно связаны с техническими возможностями и способами их одновременного взрывания и вытекающими отсюда конструктивными особенностями зарядов с образованием отличной от круговой формы взрывной волны.

В результате компьютерного экспериментального исследования установлен факт отклонения в одних и тех же точках и в одно и то же время величин параметров напряженно деформированного состояния (НДС), создаваемого наведенным действием пучка зарядов (с его неравномерным фронтом), и одинарного заряда (с равномерно распространяющейся круговой формой взрывной волны). Наличие разницы в показаниях свидетельствует о возможности физического воздействия на определенные конструктивные элементы систем разработки методами управляемого взрывного воздействия в зависимости от существующих *in situ* тектонических напряжений и динамических явлений в массивах горных пород. Показано направление применения взрыва зарядов самостоятельно направленного действия в ситуации взаимовлияния конструктивных особенностей систем подземной разработки и напряженно деформированное состояние массива горных пород. Формой контроля являются сравнительные технико-экономические показатели работы испытываемой системы разработки.

Ключевые слова: взрывчатое вещество, скважинный заряд, форма взрывной волны, короткозамедленное взрывание, массив, метод сглаженных частиц, напряженно деформированное состояние (НДС).

COMPUTER STUDY OF ACTION OF EXPLOSION OF CHARGES OF VARIOUS FORMS

VIKTOROV SERGEY DMITRIYEVICH¹, ZAKALINSKY VLADIMIR MATVEYEVICH¹,
ZAKALINSKY VLADIMIR MATVEYEVICH¹, MINGAZOV RAFAEL YAKUBOVICH¹

¹Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences

Abstract. It is known that each historical period is marked by new means and techniques, the essence of which is to organize a certain sequence of exploding charges for various purposes to solve, with the help of explosive work, various engineering and technical tasks of military or civil purpose. In this regard, of particular interest is the problem of possible use of single charges for the formation (formation) of an explosive wave of a form different from the traditional or classical round shape inherent in the explosion of an ordinary borehole charge, due to the method of its production, i.e. drilling. This approach characterizes a new scientific direction in the explosive destruction of rocks, since together with the solution of questions of its application, it indicates conceptually different possibilities for controlling the distribution of energy in the destroyed array. At the same time, the issues of initiation of borehole charges are of key importance, since they are directly related to the technical capabilities and methods of their multi-time explosion and the resulting design features of charges with the formation of a different from the circular shape of the blast wave.

As a result of computer experimental research, the fact of deviation at the same points and at the same time of the values of the parameters of the stress-strain state created by the induced action of a charge beam (with its uneven front) and a single charge (with a uniformly propagating circular shape of the explosive wave) was established. The presence of a difference in readings indicates the possibility of physical impact on certain structural elements of development systems by controlled explosive impact methods, depending on the existing *in situ* tectonic stresses and dynamic phenomena in rock masses. The direction of application of self-directed charge explosion in the situation of mutual influence of design features of underground mining systems and the stress-strain state (VAT) of the rock mass is shown. The form of control is a comparative technical and economic performance of the tested development system.

Key words: explosive, borehole charge, blast wave shape, short-time explosion, array, smoothed particle method, stress-strain state (VAT).

Введение. Как известно, каждый исторический период ознаменован новыми средствами и приемами, суть которых в организации определенной последовательности взрывания зарядов различного предназначения для решения, с помощью взрывных работ, различных инженерно-технических задач военного или гражданского предназначения. В этом плане особое место интерес представляет проблема возможного использования одинарных зарядов для образования или формирования при взрывании взрыв-

ной волны формы, отличной от традиционно-классической круглой формы обычного скважинного заряда, обусловленную способом его получения, т.е. бурением [1]. Данный подход обуславливает новое научное направление во взрывном разрушении горных пород, так как совместно с решением вопросов области его применения обозначает концептуально иные возможности управления распределением энергии в разрушаемом массиве. При этом вопросы инициирования скважинных зарядов имеют ключевое значение, так как непосредственно связаны с техническими возможностями и способами частей их одновременного взрыва и вытекающими отсюда конструктивными особенностями скважинных зарядов с образованием отличной от круговой формы взрывной волны.

Вопросы инициирования скважинных зарядов непосредственно связаны с техническими возможностями и способами их одновременного взрыва. Каждый исторический период был ознаменован своими средствами и приемами, суть которых представляла одну и ту же идею: организовать некоторую последовательность взрыва зарядов различного предназначения для решения, с помощью взрывных работ, той или иной инженерно-технической задачи военного или гражданского предназначения. В техническом плане обнаруживалась одна и та же тенденция: время условного замедления между подрывами зарядов постепенно сокращалось по мере развития соответствующих технических средств и достижения эффективности взрывных работ. Таким образом дело дошло до широкого использования в горных работах так называемого короткозамедленного взрыва, которое в современном аспекте трактуется как взрывание серии зарядов с интервалами во времени, исчисляемыми тысячными долями секунды (миллисекундами). Взрывание каждого последующего заряда происходит в момент, когда часть горной массы уже частично нарушена взрывом предыдущего заряда, но действие напряжений в массиве еще продолжается. Короткозамедленное взрывание существенно влияет на грансостав горной массы и снижает сейсмическое действие взрывов, которые по сути являются его основными определяющими [2].

Основная часть. За основу из всего разнообразия конструкций скважинных зарядов и способов взрывных работ был выбран известный способ взрывной отбойки пучками параллельно сближенных скважинных зарядов, наиболее подходящий для реализации данной идеи [1, 3]. Дело в том, что пучок параллельно сближенных (4 диаметра между зарядами) скважинных зарядов при их взрыве тождественен взрыву одного скважинного заряда одинаковой массы ВВ. Принципиальное различие только в образовании формы взрывной волны. Поэтому заряд пучка и эквивалентного ему по энергии одного скважинного заряда соответственно увеличенного диаметра условно будем одинаково называть «одинарными». Взрыв пучка, таким образом, в принципе, предоставляет реальную возможность изменять форму взрывной волны, впервые уходя от ее традиционной формы, связанной со способом ее получения, т.е. с бурением скважины. При этом исключительным от других конкурентных возможностей является присущая ему технологичность, которая одинакова в обоих случаях, так как пучок образуется бурение обычных скважин только меньшего диаметра. Анализ практики достаточно широкого применения пучкового взрыва показал, в частности, наличие неиспользованных резервов в части реализации возможностей направленного взрыва [4]. С этой целью было выполнено компьютерное экспериментальное исследование, специальная программа которого позволила оперировать с параметрами сравнительного взрыва, пока практически недоступные в современных полигонных и тем более производственных условиях.

Целью компьютерного исследования было обнаружение, на основании количественных результатов факта отклонения в одних и тех же точках и в одно и то же время

величин параметров напряженно деформированного состояния (НДС), создаваемого наведенным действием одинарного «взрыва» пучка зарядов (с его неравномерным фронтом), и одинарного эквивалентного заряда (с равномерно распространяющейся круговой формой взрывной волны). Наличие разницы в показаниях будет свидетельствовать о возможности физического влияния методами управляемого взрывного воздействия на определенные конструктивные элементы систем разработки в зависимости от существующих *in situ* тектонических напряжений и динамических явлений в массивах горных пород.

В настоящее время имеется целый арсенал средств автоматизированного воспроизводства различных интервалов времени замедления и практически все научно-технические задачи горного производства сводятся к достижению максимального эффекта вышеуказанных результатов.

Методология компьютерного программирования включала решение основной задачи о сравнительных формах взрывной волны различных конфигураций одинарных скважинных зарядов исследованием автоматизированного воспроизводства различных интервалов времени короткозамедленного взывания.

В данном случае речь о задаче другого свойства – использовать короткозамедленное взрывание с целями:

- образования и применения в определенных пределах различных некруговых в сечении (нецилиндрических) форм взрывных волн, формирующихся от взрыва обычных скважинных зарядов круговой (круглой) в сечении формы и имитирующих, таким образом, технологию получения в массовом порядке удлиненными зарядами ВВ взрывных волн практически любой формы;

- отождествления неравномерности некоторых форм взрывной волны с неравномерностью и направленностью ее энергии (перераспределение), например, по принципу кумулятивного эффекта;

- выбора конструктивных элементов систем разработки с учетом эффективного использования направленного взрывания в условиях тектонических напряжений и динамических явлений в массивах горных пород [2].

Таким образом, для решения задачи и анализа ее аспектов, с одной стороны, из всего разнообразия современных приемов и способов производства был выбран, наиболее подходящий известный способ взрывных работ, с другой - использовался метод сглаженных частиц (SPH) и соответствующая методика компьютерного моделирования подобных задач [5, 6, 7]. Конечный результат исследований направлен на применение взрыва одинарных зарядов направленного действия в ситуациях взаимовлияния конструктивных особенностей систем подземной разработки и напряженно деформированное состояния массива горных пород. Формой контроля являются сравнительные технико-экономические показатели работы испытываемой системы разработки.

Способ взрывных работ представлен конструкцией пучка сближенных скважинных зарядов. В данном эксперименте был выбран двухрядный пучок параболической формы. По методике производились порядные и одновременный «взрывы» пучка в сравнении с одинарным эквивалентным «скважинным зарядом». Результаты компьютерного эксперимента в виде физических величин (параметров волны напряжения) - массовой скорости и давления на фронте волны фиксировались в пяти противоположных точках контура «взрывания» (№№ 1, 2, 3, 4, 5), что показано на рисунках 1, 2 и в таблице 1.

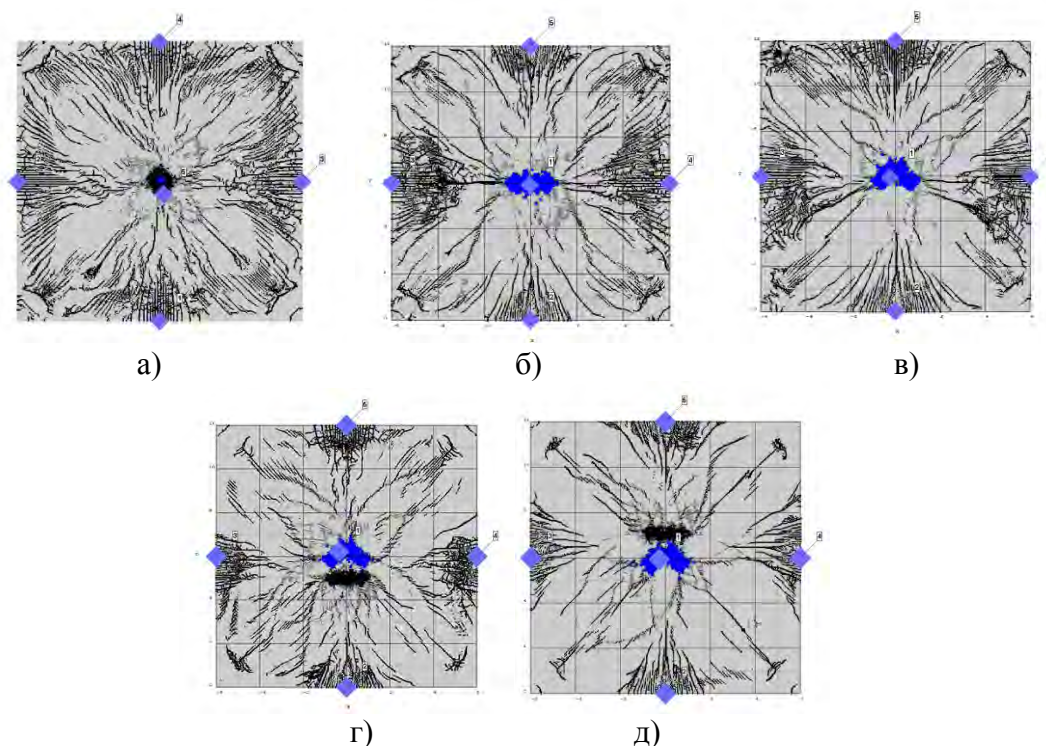


Рисунок 1 – Характер процесса взрыва и конфигурация некоторых одинарных зарядов различной конфигурации: а- одинарный заряд, эквивалентный по энергии пучку; б- конфигурация линейного пучка; в- конфигурация пучка параболической формы выпуклостью вверх; г- конфигурация двухрядного пучка одинаковой общей суммарной энергии с направлением параболического ряда зарядов вверх; д- конфигурация двухрядного пучка одинаковой общей суммарной энергии с другим направлением зарядов

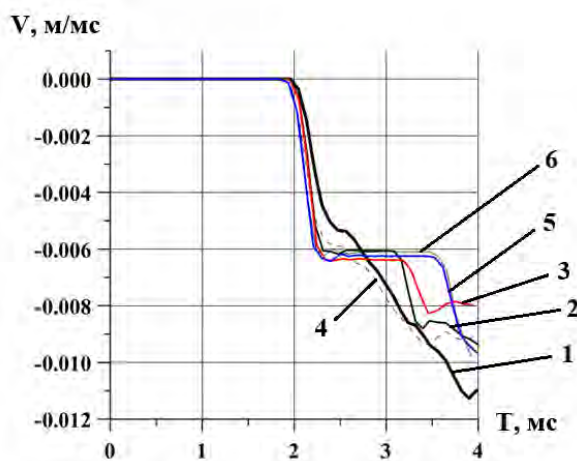


Рисунок 2 – Сводный график изменение скорости смещения в зависимости от общего времени действия взрыва для одиночного заряда и некоторых пучковых конфигураций в одной из характерных точек наблюдения (№2, расположение аналога сейсмодатчика): 1- черная жирная линия (одинарный заряд), 2- синяя линия (пучок, где два заряда верхнего ряда с задержкой 50 мкс, а два с одновременной детонации нижних зарядов), 3- средней толщины линия (ряд линейных зарядов), 4- пунктирная линия (выпуклый пучок однорядной параболической формы), 5- красная линия (пучки, где два верхних заряда взрываются мгновенно, а два ряда нижних с задержкой 50 мкс.), 6- тонкая линия (вогнутый пучок однорядной параболической формы)

Таблица 1 – Показатели компьютерного экспериментального исследования

№№ эксперимента взрыва заряда определенной формы	Характерное время измерения T = 3,5 мс								
	Скорость смещения в периферийной точке заряда №2, V, 10 ⁻³ , м/мс	Скорость смещения в периферийной точке заряда №5, V, 10 ⁻³ , м/мс	Скорость смещения в периферийной точке заряда №3, V, 10 ⁻³ , м/мс	Скорость смещения в периферийной точке заряда, №4, V, 10 ⁻³ , м/мс	Давление в центре заряда в точке №1, МПа	Давление в периферийной точке заряда, №2 МПа	Давление в точке в периферийной точке №5 заряда, МПа	Давление в периферийной точке №3 заряда, МПа	Давление в периферийной точке №4 заряда, МПа
№1 (одинарный скважинный заряд)	-9	8	-7	8	3414,21	0,4	-0,36	-0,2	0,5
№2 линейный	-9,6	9	-6,4	7	3402,77	0,02	1,3	-0,2	-0,3
№3 параболическая	-6	9,3	-6,4	7	2100	0,11	-0,35	-0,25	-0,35
№4 линейный (взрывается первым) и парабола (через - 50мкс)	-12	11	-15	13	2068,18	0	0,2	0	-1,26
линейный (взрывается первым) и парабола (через +50мкс)	-8,4	13	-11	11	2597,22	0,45	1,867	0	0,2
линейный (взрывается первым) и парабола (через - 300 мкс)	-12	10,4	-13,8	13	1320	1,5	0	-0,4	-0,6
линейный (взрывается первым) и парабола (через +300 мкс)	-9,2	13,2	-12,2	12,2	2754,32	0,7	1,5	-0,05	-0,2

Заключение

В результате анализа данных компьютерного моделирования исследования установлен факт отклонения в одних и тех же точках и в одно и то же время величин параметров напряженно деформированного состояния (НДС), создаваемого действием пучков зарядов неравномерных форм взрывной волны, по сравнению с одинарным зарядом с его равномерно распространяющейся круговой формой взрывной волны. Наличие разницы в однотипных сравниваемых величинах свидетельствует о возможности физического воздействия на определенные конструктивные элементы систем разработки методами управляемого пучками различной конфигурации и форм взрывного воздействия в зависимости от существующих *in situ* тектонических напряжений и динамических явлений в массивах горных пород.

Формой контроля являются сравнительные технико-экономические показатели работы испытываемой системы разработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта 18-05-00912.

Библиографический список

1. Викторов С.Д., Галченко Ю.П., Закалинский В.М., Рубцов С.К. Разрушение горных пород сближенными зарядами / С.Д. Викторов, Ю.П. Галченко, В.М. Закалинский, С.К. Рубцов. -М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат». – 2006. – 276 с.
2. Барон Л.И. Взрывные работы в горнорудной промышленности. / Л. И. Барон, М. М. Докучаев, Г. А. Васильев, Л. А. Дороничева. – Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу. – М. – 1960. – 182 с.
3. Еременко А.А. Совершенствование технологии буровзрывных работ на железорудных месторождениях Западной Сибири / А.А. Еременко. — Новосибирск: Наука. – 2013. – 192 с.
4. Викторов С.Д. Механика сдвижения и разрушения горных пород. / С.Д. Викторов, С.А. Гончаров, М.А. Иофис, В.М. Закалинский /Отв. ред. акад. РАН К.Н. Трубецкой; Ин-т проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН. – М.: РАН. –2019. – 360 с.
5. Толстик А.М. Некоторые методические вопросы применения компьютерного эксперимента в физическом образовании. // Физическое образование в ВУЗах. – 2006. Т. 12. – №2. – 76-84.
6. Бутырин П.А., Васьковская Т.А., Каратаев В.В., Материнкин С.В. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7. // ДМК пресс. – 2005. – 264 с.
7. Минеев С.П., Шиповский И.Е. Моделирование поведения массива при взрывном проведении выработки вблизи выбросоопасного пласта // Форум Горняков–2014. Национальный горный университет / Материалы международной конференции «Геомеханика и геотехника». Том 2. Днепрпетровск. – 2014. – С. 81–91.

ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ МЕТОДОВ ФРАКТАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ В МОДЕЛИРОВАНИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

ШАНГИНА Е. И. ¹

¹Уральский государственный горный университет

Аннотация. В статье проведен анализ результатов исследований взаимосвязи фрактальной размерности поверхности объекта с ее свойствами и ее функциональными параметрами. В результате анализа предложена концепция геометрического компьютерного моделирования земной поверхности.

Ключевые слова: фрактал, фрактальная размерность, фрактальное моделирование, модель земной поверхности

APPLIED VALUE OF FRACTAL GEOMETRY METHODS IN MODELING THE EARTH'S SURFACE

SHANGINA E. I. ¹

¹Ural state mining University

Abstract. The article analyzes the results of studies of the relationship of the fractal dimension of the object surface with its properties and its functional parameters. As a result of the analysis, the concept of geometric computer modeling of the earth's surface is proposed.

Keywords: fractal, fractal dimension, fractal modeling, model of the earth's surface.

По традиции основой интуитивного понимания координат служили евклидовы прямые. Например, для нахождения точки, принадлежащей топографической поверхности (модель поверхности земли) нужно было задать две координаты. Если эти координаты являются линейными, то они в пересечении возможно не определяют точку на топографической поверхности. Это связано с тем, что геометрия встречающихся в природе объектов самых различных размеров (от атомных масштабов до Вселенной) изломаны, изрезаны, фрагментарны. Наверняка все замечали, что приблизительная оценка расстояния в горах или на сильнопересеченной местности не совпадает с реально пройденным расстоянием. Если прикидываем, что участок преодолеем за полчаса, то реально оказывается, что потратили почти час. Это связано с тем, что обычно линии мы представляем себе плавными, а на самом деле в природе почти все линии сильно изрезаны и искривлены. Такие линии Б. Б. Мандельброт назвал фрактальными [8,9].

У понятия «фрактал» нет строгого математического определения. С математической точки зрения фрактал (fraction, fractional - дробь, дробный) - это прежде всего множество с дробной размерностью. Обычно фракталом называют геометрическую фигуру, которая удовлетворяет одному или нескольким из следующих свойств [9]:

- Обладает сложной структурой при любом увеличении масштаба (в отличие от, например, прямой, любая часть которой является простейшей геометрической фигурой — отрезком).

- Является (приблизительно) самоподобной.

- Обладает дробной Хаусдорфовой (фрактальной) размерностью, которая больше топологической.

- Может быть построена рекурсивными процедурами.

Допущение о гладкости поверхности приводит к ряду физически необоснованных выводов и содержат в большинстве случаев сильные упрощения. Как показали ис-

следования последних лет, эффективным способом моделирования шероховатых (недифференцируемых) поверхностей для решения задач является использование методов фрактальной геометрии. Такие исследования базируются на справедливости утверждения, что структура естественной поверхности одинаково фрактальна на всех уровнях. Фрактал состоит из бесконечного числа повторяющихся элементов, невозможно точно измерить его длину. Измерение длины метровой линейкой не совпадает с измерениями длины сантиметровой. Другими словами, чем более точным инструментом измеряется фрактал, тем большей окажется его длина. В данном случае говорят о многомасштабности, дробной размерности и самоподобии фрактала. Проанализируем эти понятия [2].

Фрактальное самоподобие (скейлинг) повторение фракталом самого себя на разных масштабных уровнях, т. е. инвариантность закона построения фрактала. Самоподобный объект – объект, в точности или приближённо совпадающий с частью себя самого (то есть целое имеет ту же форму, что и одна или более частей). Многие объекты реального мира, например, береговые линии, земные поверхности, обладают свойством статистического самоподобия: их части статистически однородны в разных шкалах измерения. Самоподобие есть характеристическое свойство фрактала. Инвариантность относительно изменения шкалы является одной из форм самоподобия, при которой при любом приближении найдётся по крайней мере одна часть основной фигуры, подобная целой фигуре.

Гладкая евклидова линия заполняет в точности одномерное пространство, фрактальная линия выходит за пределы одномерного пространства, вторгаясь в двумерное. Известно, что фрактальная размерность «колбасы» Минковского или кривой Коха находится между 1 и 2. Топологическая размерность (число измерений) геометрической фигуры – это число координат, необходимых для определения положения лежащей на этой фигуре точки (точка имеет размерность 0). Например, положение точки на кривой определяется одной координатой, на поверхности (не обязательно плоскости) двумя координатами, в трёхмерном пространстве тремя координатами.

Топологическая размерность отличается от фрактальной размерности. С более общей математической точки зрения, можно определить размерность таким образом: увеличение линейных размеров, скажем, в два раза, для одномерных (с топологической точки зрения) объектов (отрезок) приводит к увеличению размера (длины) в два раза, для двумерных (квадрат) такое же увеличение линейных размеров приводит к увеличению размера (площади) в 4 раза, для трехмерных (куб) — в 8 раз. То есть «реальную» (т.н. Хаусдорфову) размерность можно подсчитать в виде отношения логарифма увеличения «размера» объекта к логарифму увеличения его линейного размера. То есть для отрезка $D = \log(2)/\log(2) = 1$, для плоскости $D = \log(4)/\log(2) = 2$, для трехмерного объекта $D = \log(8)/\log(2) = 3$.

Подсчитаем теперь размерность кривой Коха, для построения которой единичный отрезок делят на три равные части и заменяют средний интервал равносторонним треугольником без этого сегмента. При увеличении линейных размеров минимального отрезка в три раза длина кривой Коха возрастает в $\log(4)/\log(3) \sim 1,26$. То есть размерность кривой Коха — дробная.

Фрактальная размерность не является случайной величиной, и качественно отражает как особенности рельефа поверхности, так и фундаментальные свойства самого объекта исследований. Накопленный на данный момент опыт о применении фрактальной размерности в практических целях носит разрозненный характер. Необходимы исследования как самих методов определения фрактальной размерности, так и связи данного параметра с геометрическими свойствами объектов исследований. В большинстве

работ, касающихся фрактального анализа поверхности, приводятся результаты вычисления фрактальной размерности D [1, 7].

В настоящее время существует четыре основных метода вычисления фрактальной размерности D . [3, 10].

1. Метод наименьших квадратов.

Возьмем квадрат $b_0 \times b_0$, который полностью охватывает проекцию отсека поверхности на плоскость (x,y) [4]. По точкам исходной поверхности $z=z(x,y)$ методом наименьших квадратов строим аппроксимирующую отсек плоскость $z_f(x,y)$, площадью S_0 . Исходный квадрат $b_0 \times b_0$ разбиваем на 4 квадрата со стороной $b=b_0/2$ и также методом наименьших квадратов для каждого отдельного квадрата строим аппроксимирующие плоскости $z_f(x,y)$. После сложения площадей четырех отсеков плоскостей получаем приближенную площадь поверхности S для характерного размера b . При дальнейшем уменьшении значения b для поверхности, имеющей строго фрактальную топологическую структуру, имеет место соотношение

$$S/S_0 = (b/b_0)^{-D+2}$$

где S – площадь при максимальном размере b_0 .

2. Метод периметр-площадь.

Рассмотрим отсек плоскости $z=z_0=\text{const}$ и возьмем точку с произвольными значениями x и y . Если $z(x,y) > z_0$ закрасим эту точку в красный цвет, если $z(x,y) \leq z_0$ – в синий цвет. В результате получится набор из красных “островков” на синем фоне. Хотя строгое доказательство отсутствует, но периметр P “береговой линии” любого из этих “островков” связан с его площадью S соотношением [10]

$$P(b) = C b^{1-D'} (S(b))^{D'/2}$$

где $D=D'+1$ – фрактальная размерность поверхности.

3. Метод расчета на основании показателя Херста

Берется кривая, образованная пересечением поверхности $z=z(x,y)$ с плоскостью $Ax+By+C=0$, где A , B и C константы. Вычисляется показатель Херста H для этой кривой [61, 72]. В теории фракталов предполагается, что $D+H=D_T+1$, где D_T – топологическая размерность исследуемого объекта ($D_T=2$ для поверхностей, $D_T=1$ для линий). Показатель Херста позволяет сравнивать фрактальные объекты разной топологической размерности D_T . Значения $H = 0,7 - 0,9$ характерны для многих физических явлений [8, 10]. При вычислении показателя Херста для профиля, заданного на интервале $[0, b]$, определяют наибольшую высоту неровностей профиля R_{\max} и стандартное отклонение $\xi(y)$. Показатель H определяется из соотношения

$$\frac{R_{\max}}{\xi(y)} \sim b^H \text{ при } \xi(y) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}\right)^2}$$

где y_i – отклонение от средней линии; $i = 1, 2, \dots, n$.

4. Метод вычисления кубической размерности

Все расчеты фрактальной размерности в данной работе были проделаны на основе определения кубической размерности с использованием метода покрытия [21, 10] исследуемого объекта эталонными элементами объемом b^E , где E – евклидова размерность пространства, в котором расположен объект; b – размер стороны эталонного элемента. Пусть $N(b)$ – число элементов, необходимых для покрытия всего объекта (рис.1).

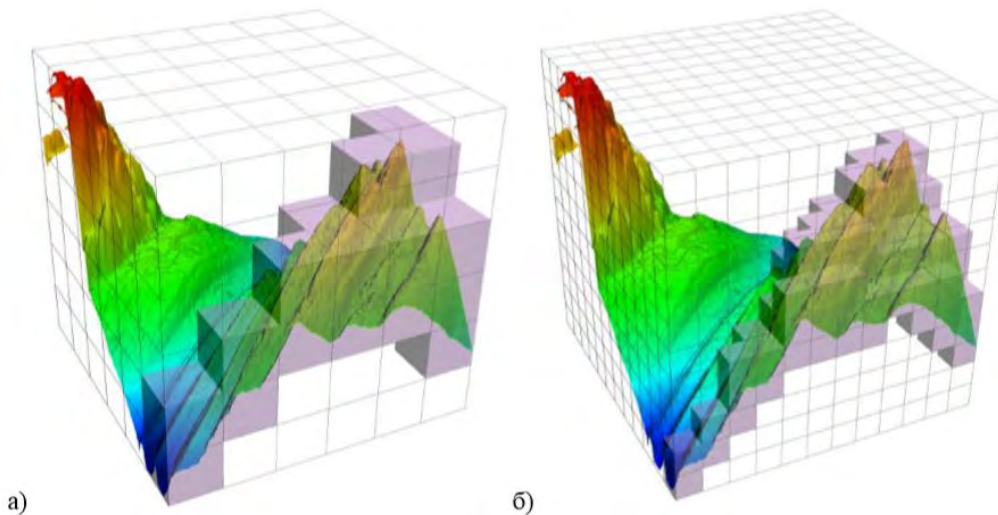


Рисунок 1 – Визуализация метода покрытия для вычисления фрактальной размерности поверхности

Тогда фрактальная размерность D объекта определяется как показатель зависимости [8, 10]

$$N(b) \approx \left(\frac{b_0}{b} \right)^D$$

где b_0 – размер стороны квадрата или куба, при котором $N=1$.

Сам алгоритм, реализующий расчет фрактальной размерности, подразумевает наличие подпрограммы, определяющей размер стороны эталонного элемента b , которыми покрывается исследуемая поверхность.

В геометрическом представлении это можно представить, как воксельное моделирование. Воксельное представление - полный трехмерный аналог растрового одноцветного изображения. Тело представляется трехмерным булевым массивом, каждый элемент которого является пространственным кубиком одинакового размера со своими уникальными координатами. Такой кубик называется вокселем (voxel - от VOlume riXEL). Воксели (рис. 2) равномерно покрывают всю область (тор), в которой содержится моделируемое тело. Отметим удобство воксельного представления для реализации на его основе булевых операций твердотельного моделирования. Для этого необходимо построить согласованные воксельные представления двух тел и применить соответствующую операцию к булевым значениям ячеек массива.

Сложность такого алгоритма будет прямо зависеть от числа вокселей. На воксельном представлении несложно вычислять объемные параметры тела - достаточно лишь вычислить их аналитически для каждого вокселя и просуммировать.

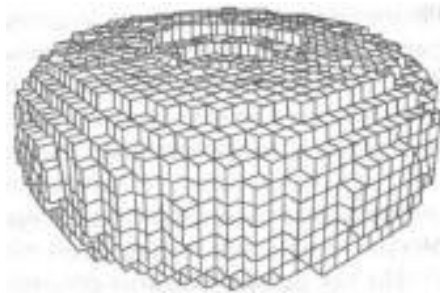


Рисунок 2 – Воксельное представление тора

Задача построения геометрической модели земной поверхности имеет теоретические и прикладные аспекты. Теоретическое обоснование и прикладное значение определяется необходимостью оптимизации геодезических расчетов, решения задач геоинформатики, разработки технологических процессов добычи полезных ископаемых, чтобы исследовать окружающий мир и др. Поэтому требуется теоретически обоснованная технология геометрического моделирования земной поверхности.

Основные характеристики рельефа вытекают из анализа профиля топографической поверхности. Так, амплитудные параметры профиля (размах высот) топографической поверхности являются одной из ее главных геометрических характеристик. Основной классификации шероховатости являются параметры, устанавливающие соотношения высотных параметров и базовой длины. Трехмерная структура реальной топографической поверхности включает в себя волнистость, направление неровностей, шероховатость и изъёмы поверхности в пределах рассматриваемого отсека.

Наиболее интересным и перспективным параметром оценки структуры трехмерного поверхностного слоя является фрактальная размерность, характеризующая развитость рельефа. Фракталы можно разделить на конструктивные (геометрические) и динамические (алгебраические). В случае моделирования топографической поверхности воспользуемся методом конструктивного фрактального моделирования.

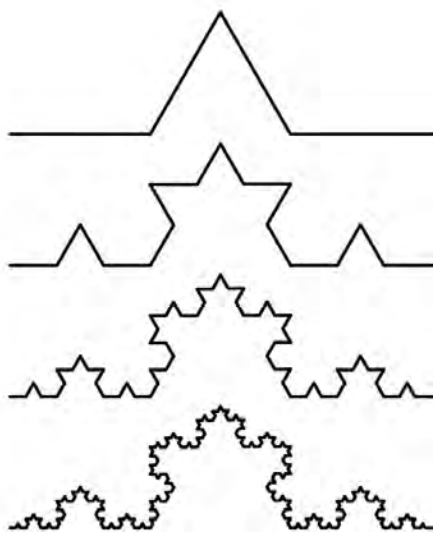


Рисунок 3 – Схема получения кривой Коха

Алгоритм построения конструктивного фрактала в общем случае представляется следующим образом. Во-первых, необходимо выбрать для моделирования две геометрические фигуры, которые будут являться компонентами будущего фрактала. Условно назовем их базисом и фрагментом. На первом этапе изображается базис будущего фрактала. Затем некоторые ее части заменяются фрагментом, взятым в подходящем масштабе, — это первая итерация построения. Затем у полученной фигуры снова некоторые части меняются на фигуры, подобные фрагменту, и т. д. Такие повторения называются итерациями.

Если продолжить этот процесс до бесконечности, то в пределе получится фрактал [5,6].

Рассмотрим процесс построения конструктивного фрактала на примере кривой Коха (рис.3). Базис кривой Коха отрезок (например, для «снежинки Коха» базисом служит треугольник). Однако, не ограничиваясь простейшим случаем, делим отрезок

на три части, убираем среднюю часть и равносторонний треугольник без этого сегмента, получая фрагмент. Фрагмент – ломаная, изображенная сверху на рисунке. После первой итерации алгоритма в данном случае исходный отрезок совпадет с фрагментом, затем каждый из составляющих его отрезков сам заменится на ломаную, подобную фрагменту, и т. д. На рисунке показаны первые четыре шага этого процесса.

Описание свойств фракталов с помощью традиционных геометрических выкладок крайне сложно, из-за того, что фракталы имеют дробную, отличную от евклидовой, размерность по Хаусдорфу-Безиковичу. Типичным фракталом является структура земной поверхности, моделью которой является топографическая поверхность. Фрактальная размерность не является случайной величиной, и качественно отражает как особенности рельефа поверхности, так и фундаментальные свойства самого объекта исследований.

Все рассмотренные выше фракталы можно считать детерминированными. Хотя случайные процессы (такие, как бросание игральной кости) иногда и помогают генерировать фрактальные изображения, они не оказывают никакого влияния на окончательную форму фрактала. Совершенно иная ситуация имеет место в отношении другого класса фракталов, а именно так называемых случайных фракталов. Стохастические фракталы получаются, если в итерационном процессе случайным образом менять какие-либо его параметры. При этом получаются объекты очень похожие на природные – несимметричные деревья, изрезанные береговые линии и т.д. Двумерные стохастические фракталы используются при моделировании рельефа местности и поверхности моря.

Один из фракталов такого типа может начинаться с треугольника, лежащего в произвольной плоскости. Средние точки сторон треугольника соединены между собой, так что треугольник оказывается разделённым на четыре меньших треугольника. Затем каждая средняя точка сдвигается вверх или вниз на определённую, случайно выбираемую величину. Тот же процесс применяется к каждому из меньших треугольников, затем к ещё меньшим и так далее до бесконечности. После достаточно большого количества итераций начинает возникать всё более детализированная поверхность.

В этом методе смещения средних точек случайные величины для перемещения средних точек вверх или вниз управляются определённым законом распределения, который тщательно подбирается, чтобы получить близкую аппроксимацию желаемой поверхности. Для того чтобы поверхность была относительно гладкой, в преобразованиях следует встроить правило, согласно которому величина смещения средних точек должна становиться очень малой уже после нескольких первых итераций. Такое правило позволяет добавлять лишь небольшие «кочки» к общим очертаниям ландшафта. Для представления изрезанной поверхности, характерной, скажем, для горного хребта или береговой линии, более подходящим будет правило медленного уменьшения смещений после каждого шага итерационного процесса. У данного метода построения поверхностей существует много приложений. Он применялся, в частности, в качестве модели эрозии почвы, для анализа сейсмических явлений, чтобы лучше понять характер изменений в зоне разломов, для построения изображений планет, спутников, облаков и горных хребтов, которые выглядят весьма реалистично.

Фрактальные ландшафты могут создаваться из фракталов методом случайного смещения средней точки (рис. 4). Средние точки сторон треугольника (а) смещаются вверх или вниз от плоскости изображения и соединяются с вершинами (б). При этом возникает четыре меньших треугольника, к которым повторно применяется та же процедура. Функция распределения вероятности определяет величину смещения и, следовательно, степень гладкости фрактального ландшафта. Затем графическая программа

компьютера закрашивает треугольники, создавая различные оттенки (с). В результате получается весьма реалистичная картина (d).

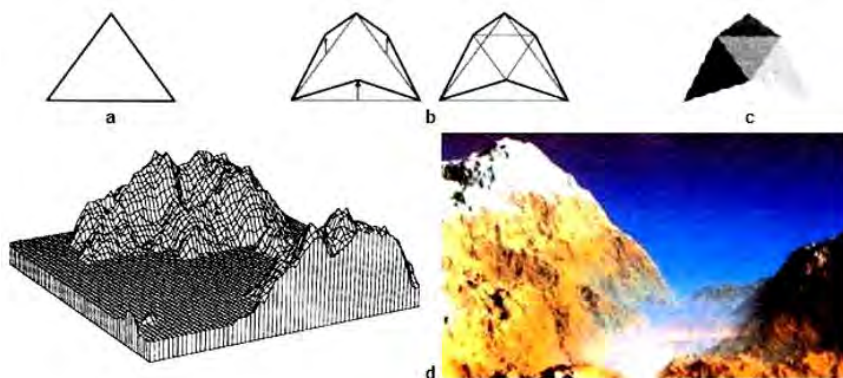


Рисунок 4 – Ландшафт, созданный из фракталов методом случайного смещения средней точки

В связи с введением дробноразмерных пространств необходимо корректировать технологию моделирования земной поверхности и прежде всего, с использованием программного обеспечения.

В настоящее время моделью земной поверхности служат топографические поверхности. Эти поверхности представляют собой семейство изогипс, получаемых при плоскостном рассечении семейством параллельных плоскостей, находящихся на расстоянии заданного масштаба, получая план топографической поверхности. Затем эти изогипсы перемещают на соответствующую высоту. Этот алгоритм представлен иллюстрацией для множества Мандельброта (рис. 5).

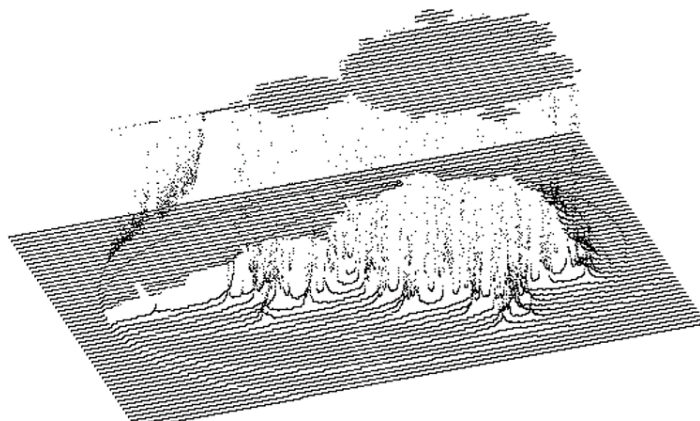


Рисунок 5 – Трёхмерное множество Мандельброта и его проекция

Однако, такие модели не учитывают всех характеристик рельефа, поскольку несут линейный характер между соседними изогипсами. Трёхмерная структура реальной земной поверхности включает в себя волнистость, направление неровностей, шероховатость и изъёмы поверхности в пределах рассматриваемого отсека. Такая модель, построенная по плану (рис. 6), представлена на рис. 7.

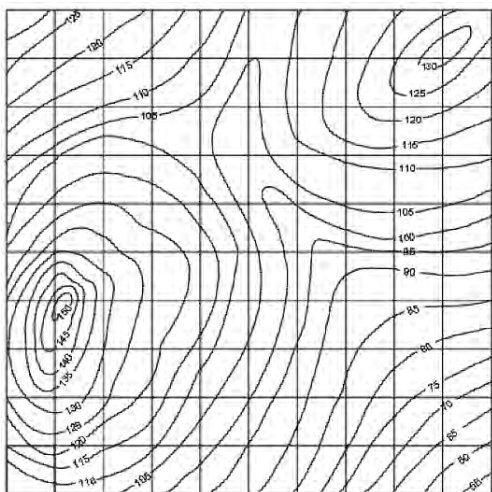


Рисунок 6 – План топографической поверхности

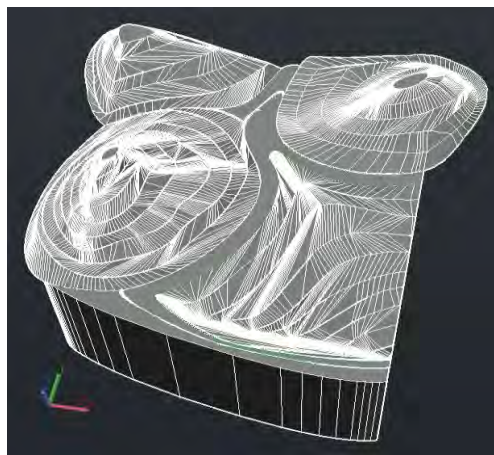


Рисунок 7 – Геометрическая модель земной поверхности, сконструированная с использованием изогипс

Тем не менее, при моделировании земной поверхности предлагается использовать другую методологию моделирования земной поверхности, поскольку в настоящее время для разработки моделей имеются планы топографических поверхностей. Предлагается построение моделей земной поверхности в виде линейчатых поверхностей с плоскостью параллелизма. И чем больше итераций произведено, тем более полное будет геометрическое описание поверхности. Такая поверхность построена на рис. 8.

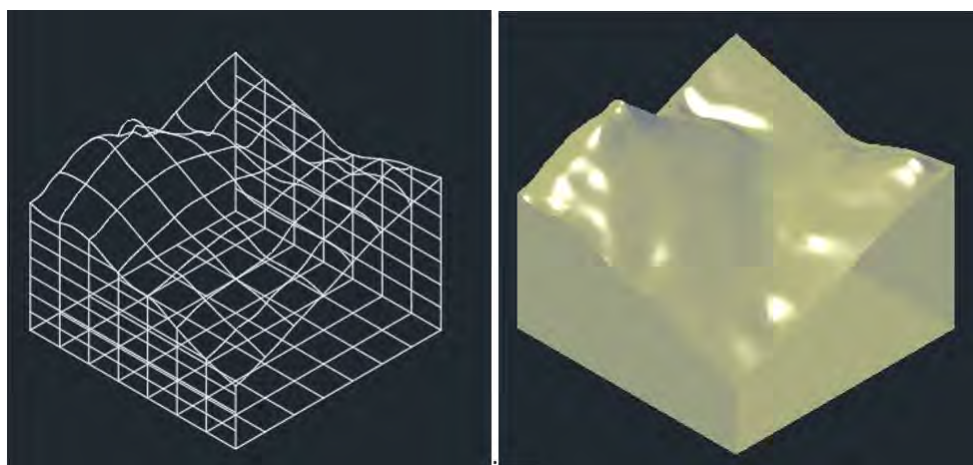


Рисунок 8 – Геометрическая модель земной поверхности, сконструированная с использованием плоскости параллелизма

В наши дни теория фракталов находит широкое применение в различных областях человеческой деятельности. Помимо научного объекта для исследований, теория фракталов находит свое воплощение в творчестве – живописи, архитектуре и др. Фракталы используются в теории информации для сжатия графических данных (здесь в основном применяется свойство самоподобия фракталов – ведь чтобы запомнить небольшой фрагмент рисунка и преобразования, с помощью которых можно получить остальные части, требуется гораздо меньше памяти, чем для хранения всего файла). В компьютерной графике фрактальная геометрия применяется для создания реальных природных объектов. В радиоэлектронике в последнее десятилетие начали выпускать антенны, имеющие фрактальную форму. Занимая мало места, они обеспечивают вполне

качественный прием сигнала. Экономисты используют фракталы для описания кривых колебания курсов валют (это свойство было открыто Мандельбротом более 30 лет назад). Добавляя в формулы, задающие фрактал, случайные возмущения, можно получить стохастические фракталы, которые весьма правдоподобно передают некоторые реальные объекты – элементы рельефа. для достижения большего сходства моделируемых предметов с настоящими.

При моделировании земной поверхности, должно выполняться важное условие, чтобы соблюдалось равенство фрактальных размерностей реальной поверхности и ее модели. одновременно. Преимуществом построения фрактальных поверхностей перед классическими моделями негладких форм является полнота описания геометрии поверхности.

Библиографический список

1. Аксенова, О.А. Фрактальное моделирование шероховатой поверхности при аэродинамическом расчете в разреженном газе / О.А. Аксенова // *Аэродинамика*. СПб.: Изд-во СПб. Университета, 2000. С. 120-129.
2. Балханов В. К. Основы фрактальной геометрии и фрактального исчисления/ отв. ред. Ю.Б. Башкуев. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2013. 224 с. ISBN 978-5-9793-0549-3
3. Брылкин, Ю.В. Фрактальная оценка наноструктур поверхностей основных конструкционных материалов / Ю.В. Брылкин, А.Л. Кусов // *Всероссийский журнал научных публикаций*. 2013. № 4 (19). С.21-22. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/fraktalnaya-otsenka-nanostruktur-poverhnosteyosnovnyh-konstruktsionnyh-materialov>
4. Завьялов, Ю.С. Отображение на плоскость поверхностей, близких к разветвляющимся / Т.Э. Овчинникова, Ю.С. Завьялов // *Сплайны в вычислительной математике (Вычислительные системы)*. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР. 1986. Вып. 115. С.116-125.
5. Иванова, В.С. Синергетика и фракталы в материаловедении: монография / В.С. Иванова, А.С. Баланкин, И.Ж. Бунин, А.А. Оксогоев; под редакцией Н.П. Лякишева. М.: Наука, 1994. 382 с. 53.
6. Иванова, В.С. Фракталы и прикладная синергетика / В.С. Иванова, В.У. Новиков // *Нелинейный мир*. 2004. Т. 2, № 3. С. 197-202.
7. Измеров, М.А. Методы определения фрактальной размерности инженерных поверхностей / М.А. Измеров // *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2006. – № 3 (11). – С.10-17.
8. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы. / Б. Мандельброт. М. Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. 656 с.
9. Перерва, Л.М. Фрактальное моделирование: учебное пособие / Л.М. Перерва, В.В. Юдин; под общ. ред. В.Н. Гряника. Владивосток: Изд-во ВГУЭС. 2007. 186 с.
10. Федер, Е. Фракталы: учебное пособие / Е. Федер; пер. с англ. Ю.А. Данилов, А.М. Шукуров. М. : URSS, 2014. Изд. 2-е. 256 с.

УДК 378

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАЧЕСТВ СТУДЕНТОВ ПОСРЕДСТВОМ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

БОЕВ М. Б.¹, ЁКУБОВ С.¹, ЮСУПОВ С. М.¹

¹Горно – металлургический институт Таджикистана

Аннотация. Традиционно сложившаяся система преподавания графических дисциплин не учитывает современного развития общества, характеризующегося интенсивной разработкой новых направлений, подходов, идей во всех сферах человеческой деятельности, и не перерастает в полноценное современное графическое образование. В данной статье раскрыты некоторые из множества причин низкого уровня и качества графической подготовки студентов в высших технических учебных заведениях, а также изложены пути решения указанных проблем посредством инновационного подхода к сформированным профессиональным качествам студентов.

Ключевые слова: графические дисциплины, графическая подготовка, графическая культура, целостная система, самоорганизация и саморазвитие, системный подход.

INNOVATIVE APPROACH IN THE FORMATION OF PROFESSIONAL QUALITIES OF STUDENTS AMONG THE GRAPHIC DISCIPLINES

BOEV MURODBEK BEKMAKHMADOVICH¹, YOKUBOV SOHIBJON¹,
YUSUPOV SAID - AKRAMKHOJA MUMINOVICH¹

¹Mining – metallurgical Institute of Tajikistan

Abstract: The traditionally established system of teaching graphic disciplines do not take into account the modern development of society, characterized by the intensive development of new directions, approaches, ideas in all spheres of human activity and does not develop into a full-fledged modern graphic education. This article reveals some of the many reasons for the low level and quality of graphic preparation of students in higher technical educational institutions, as well as sets out ways to solve these problems through an innovative approach to the formed professional qualities of students.

Key words: graphic disciplines, graphic preparation, graphic culture, holistic system, self-organization and self-development, systematic approach.

Графические дисциплины оказывают большое влияние на профессиональное становление будущих специалистов (развитие логики, мышления, проективного видения и интеллекта); создают базу для обучения специалиста, способного к профессиональному росту не только в одной узко выбранной области, но и в смежных областях, обуславливая универсальные способности специалиста.

На нашем XXI веке универсальность инженера – важнейший фактор развития производства в условиях современной рыночной экономики. Закладка основ знаний и умений для успешного усвоения других специальных дисциплин ВТУЗа для будущего инженера немыслима без освоения графических дисциплин, поскольку производство любой конструкции, включающей технические изделия, сооружения, строительные объекты и т.п., невозможно без предварительной разработки и выполнения проектно – конструкторской и другой технической документации – эскизов, планов, чертежей и т.д. одной из целей графического образования будущих конкурентоспособных инженеров, а также условием, необходимым для их дальнейшей успешной профессиональной

деятельности и карьерного роста. Научить студентов выполнять такую документацию (т.е. использовать визуально – образный язык), вооружить их знаниями, приёмами и методами моделирования, технического черчения и горная графика, навыками использования полученных знаний и умений в конструкторской практике при выполнении различных изображений, в том числе разрезы горных пород, где рассматривается комплекс задач с широким применением средств компьютерной графики.

Объяснение возникшей ситуации таково: традиционно сложившаяся система преподавания графических дисциплин не учитывает современного развития общества, характеризующегося интенсивной разработкой новых направлений, подходов, идей во всех сферах человеческой деятельности, и не перерастает в полноценное современное графическое образование. Ниже мы перечислим некоторые из множества причин низкого уровня и качества графической подготовки студентов в высших технических учебных заведениях республики:

1. Весьма слабая база школьной подготовки учащихся по графике (в первую очередь – геометрии, а также стереометрии), что формирует у студентов ВТУЗов отношение к графическим дисциплинам как к второстепенным и отрицательно сказывается на итоговой готовности к освоению этих дисциплин;

2. Комплекс проблем при изучении других учебных дисциплин (основным элементом которых является грамотное построение и чтение графических изображений);

3. В большинстве ВТУЗов обучение графическим дисциплинам как дисциплинам, обслуживающим только черчение, а не инженерно – компьютерная графика. В результате студенты не видят согласованности специально – технических и графических знаний и постепенно теряют интерес к изучаемому в ВУЗе предметы общетехнического и специального цикла;

4. В абсолютном большинстве технических ВУЗ и колледжах – слабая техническая оснащённость кабинетов инженерной графики, отсутствие или редкое использование (либо полное неиспользование) информационных средств в обучении (как электронные учебники, практикумы и т.п.);

5. Совпадение процесса изучения графических дисциплин (в частности начертательной геометрии) с периодом адаптации студентов в ВУЗе;

6. Отсутствие навыков самостоятельной работы с научной литературой у студентов ВТУЗов.

Учитывая вышеизложенное, приходим к выводу, что в немалой степени кризис в вопросе изучения графических дисциплин обусловлен жестким разграничением дисциплин, изучаемых в техническом ВУЗе узкопрагматическими установками, ориентацией на узкодисциплинарный подход. Графическая подготовка в техническом ВУЗе, основой которого служит начертательная геометрия, усложняется тем, что начертательная геометрия (считай *инженерно - компьютерная графика*) занимает двойственное положение. Если, с одной стороны, она выступает как обособленная общеобразовательная дисциплина (поскольку знания, полученные по начертательной геометрии, являются фундаментом для изучения других общетехнических и специальных дисциплин), то с другой стороны, начертательная геометрия для большинства специальностей технических ВУЗов не профилирующей дисциплиной является, а посему студенты воспринимают её лишь как второстепенную дисциплину.

Что же следует предпринять для того, чтобы изменить такое положение? Необходимо постоянно акцентировать внимание на связи начертательной геометрии с решением профессиональных задач, выбранного обучающимися направления, ведь студенты младших курсов пока ещё в достаточном объёме не располагают знаниями по специальным предметам и не в состоянии оценить значение знания и применения гра-

фических методов при решении профессиональных задач. Это указывает на актуальность интеграции графических дисциплин со специально – техническими, междисциплинарной взаимосвязи.

Изучение предметных областей учебных дисциплин, в т.ч. и графических, в высшем техническом учебном заведении способствует развитию графической культуры студентов, в результате чего происходит постоянный интеллектуальный, духовный прогресс и саморазвитие человека.

Реализация знаний и опыта графической деятельности, умение применять способности её осуществления в инженерной области на эмоционально–ценностном, творческом и репродуктивном уровнях, входят в понятие графической культуры. Поэтому, профессиональная подготовка будущего инженера в ВУЗе должна осуществляться с акцентом на гуманизм, на котором зиждутся цели образования и технологии их реализации.

Наука, как известно – важный элемент культуры. В наше время человеку трудно представить свою жизнь и современную цивилизацию без очевидных плодов научно – технического прогресса. Однако научный прогресс для нынешнего общества не является бесспорным доказательством культурного развития науки и культуры.

Сегодня мы осознаём, что наука и техника, утратив связь с качеством бытия, с человеческим содержанием, и, самое главное, исторически сложившейся связью с самим человеком, стали саморазвиваться. Как утверждают многие исследователи, сегодня образование выстраивается исключительно по модели науки, в то время, как многие преподаватели высшей школы всячески избегают возможности глубже понять теоретические основы образования, затем, внедрив их в практику, склониться к эмпирическому мышлению.

Анализ показывает, что в создавшейся ситуации виновата сама система высшего образования, высшая школа. Ведь преподаватели ВУЗов владеют педагогическими, психологическими знаниями и различной методикой. Несмотря на то, что сегодня общество находится в условиях развитых технологий по схеме «культура – человек– технология», никаких особых подвижек в сфере образования не просматривается.

И в наши дни, в обучении студентов ВУЗов используется традиционно устоявшееся мнение о передаче знаний по предмету. Мы же считаем, что, для того, чтобы студенты саморазвивались, необходимо моделирование их умственного, духовно-нравственного и профессионального потенциала. Отметим, что условием современного этапа развития образования является смена научно–теоретической парадигмы с дальнейшими инновационными преобразованиями, предполагающими моделирование социально–культурного пространства, в коем протекаетковка человека как личности и специалиста, где он же является субъектом саморазвития. Мы убеждены, что в новой образовательной парадигме, кроме всего прочего, должно быть предусмотрено строительство в техническом ВУЗе образовательного пространства (в качестве модели социального и культурного пространства).

Прежде всего, для обеспечения подготовки студентов технических ВУЗов и воспитания в них свободного мышления, творчества и формирования духовного богатства, следует обратить особое внимание на педагогов, которые нуждаются в развитии своего потенциала соответственно поставленным задачам. Многие исследователи - В.П. Беспалько, И.В. Блауберг, Д. Клиланд [1, 2, 5] и др. высказали мнение о том, что решение этой проблемы возможно только с опорой на системный подход и только в этом случае возможно формирование личности специалиста в единстве духовного, профессионального и умственного развития, а также саморазвития.

Задачей современной высшей технической школы является удовлетворение потребности нынешнего общества в грамотных специалистах. В этом вопросе весьма эффективен системный подход (как теоретическая основа для изучения любого рода объектов), являющийся средством в достижении цели.

Такой подход широко раскрыт в философско–методологических работах А.Н. Аверьянова, В.Г. Афанасьева, И.В.Блауберга, Е.К.Дворянкиной, Т.А.Ильиной, Н.В.Кузьминой, Э.Г.Юдина и других авторов [3, 6, 10]. Известно, что объектом педагогики являются педагогические системы, в свою очередь, относящиеся к синергетическому типу. Специфика такого рода систем заключается в схоластичности результата и нелинейности развития.

Будучи постоянным свойством системы, развитие признано исходным и описано в терминах синергетики, как поле путей развития, самоорганизация, точки бифуркации, самодооствраивание, саморазвитие. В связи с тем, что каждая система создается для достижения какой–либо определенной цели, функционирование ее компонентов должно соответствовать ей и, таким образом, определять функционирование всей системы. Различные авторы в научных публикациях вкладывают в термин «система» не всегда однозначный смысл. Если одни просто не раскрывают смысла этого термина, другие подразумевают под ним связанную систематичность, иерархичность и совокупность элементов объекта. Существующие системы такого характера называются суммативными, однако они не являются предметом наших исследований. Нами в данном исследовании рассматриваются только целостные системы.

По В.Г. Блаубергу, В.Н. Садовскому, и Э.Г.Юдину система – это «множество элементов с отношениями и связями между ними» [2, 8, 10], а Д. Клиланд и В.Кинг считают, что системами являются организованные комплексы средств и путей достижения намеченной общей цели. Системы по своей сути бывают открытыми и закрытыми. Любая система (независимо от её открытости) определяется при помощи её состава [5].

Свойства системы состоят из этих компонентов, а её сущностные характеристики создаются связями между ними. Состав, структуру и функционирование, как образующие систему характеристики, позволили обозначить различные определения системы.

Завершающим перечнем элементов системы является *состав*, а инвариант отношений между элементами — это *структура*.

За структуру в гуманитарных системах можно принять цель.

В условиях технологической дисциплины *функционирование*, это, по сути, – динамическое состояние системы.

Благодаря современным исследованиям в области теории педагогики стало возможным рассмотрение обучения и воспитания, а также предметных областей инженерной и компьютерной графики в высшем техническом учебном заведении в качестве гуманитарных систем.

Нами, в качестве методологической основы исследования инновационного пути развития системы образования и субъектов этой системы, принят *системный подход*. Такой подход предоставляет возможность моделирования взаимодействия студента и преподавателя во время занятий. На этих занятиях аксиоматически выстраивается предметные области начертательной геометрии и других дисциплин компьютерной и инженерной графики.

Таким образом, мы согласуем свою позицию с теорией системного подхода, которая рассматривает объект как самоорганизующуюся систему, как целостность (с учётом того, что мы рассматриваем будущего инженера как субъекта развития). В работах

Г.Г.Малинецкого, Г.Хакена [7, 9] и др. рассматриваются проблемы познания, управляющие самоорганизацией в разных системах и закономерностей с позиций синергетики. Что же касается синергетики, то она, в первую очередь, изучает системы открытого типа (к которым относится и образовательная система).

Самоорганизация и саморазвитие в образовательной системе являются ведущими принципами. М.В. Кларин [4] определил систему самоорганизации как сложную динамическую систему, способную сохранять или совершенствовать свою организацию, в зависимости от изменения внешних и внутренних условий. Результаты организованных на базе синхронизации воздействий на сложные системы, малые системы, могут быть достаточно эффективными. Системный подход, система знаний из предметной области начертательной геометрии могут быть рассмотрены и в динамическом и статическом состояниях.

Решение проблемы превращения практики образования в управляемую систему может осуществиться именно при таком подходе. Итак, можно резюмировать, что образование - это сложная система, содержащая все системообразующие характеристики. Следующие целостности: обучение и воспитание, профессиональная и кадровая система, предметная область инженерно – компьютерной графики - входят в состав образовательной системы. Помимо этого, возникает ещё одна система–система управления (ориентированная на обеспечение синхронного взаимодействия всех компонентов образовательной целостности для спрогнозированных целей).

Здесь уместно рассмотреть вторую системообразующую характеристику – структуру системы, определяющую взаимную связь компонентов системы. Исходя из того, что системы взаимодействуют между собой, преследуя одну и ту же цель, и, соотносясь с конкретными обстоятельствами, напрашивается заключение, что в таких (гуманитарных) системах цель выступает как структура.

Студентам освоить технологии овладения знаниями (технологиями самообучения), усвоить операционный алгоритм (нравственного) поведения (технология самовоспитания), технологию управления (призванного обеспечить гармоническое взаимодействие участников процесса образования для достижения его целей) помогает целевой подход.

Понятие «цель» в различных источниках толкуется по-разному — это:

1. Некий предварительно созревший в сознании результат, к чему устремлены действия субъекта (носителя) этой цели.
2. Некая целостность в динамике, сохраняющаяся на стезе постоянно изменяющихся действий.
3. Образ рисуемого в воображении желаемого будущего – *субъективная* цель.
4. Образ реального состояния (положения) – *объективная* цель.
5. Гипотетический конечный результат.

Синхронизации взаимного действия гуманитарных систем способствует осознание целей и способов и средств их практического осуществления в совместной работе субъектов.

В таком скрупулёзном понимании цели нуждаются специалисты из области высшего образования, что является сложной системой.

Анализ предлагаемых материалов, обозначенных тем, показывает, что в образовании предпочтительна гуманистическая ориентация.

Приоритет в государственной политике стран СНГ в области образования отдается общечеловеческим ценностям, беспрепятственному развитию личности, здоровью человека. В части воспитания приоритетами должны являться любовь к Отчизне, формирование гражданина – патриота своей Родины, возрождение и постоянное развитие

профессионального, духовного потенциала личности, как неотъемлемой части культуры. Считаем, что подготовка специалиста – будущего инженера в техническом ВУЗе должна происходить с акцентом на вышеупомянутые идеи гуманизма, как философские категории.

По нашему мнению, инновационная исследовательская деятельность должна заключаться в смене концептуального подхода к образованию, к взаимодействию студентов и педагогов при изучении инженерной и компьютерной графики на базе методологии системного подхода.

Посредством технологии управления, которой должен владеть каждый субъект, осуществляется гармоничность взаимодействия. Наш вывод таков, что концепция системного подхода обеспечивает нас, помимо теоретических знаний в предметной области инженерно – компьютерной графики и знаниями о самих системах, их составляющих элементах, но и технологиями, позволяющими реализовать студенту и преподавателю цели. Она содержит главную идею, согласующуюся с требованиями, которые предъявляются к профессии инженера. При системном подходе к управлению образованием может реализоваться социально-нравственная инфраструктура, которая обеспечит повышение духовно-нравственного, умственного и профессионального потенциала подростков, молодёжи и взрослых.

И так в заключение постараемся раскрыть смысл и логику профессиональной подготовки студентов технических ВУЗов посредством графических дисциплин.

Основная цель технического профессионального образования, это соответствие его профиля деятельности, как минимум, общепринятому уровню, стандарту компетентного, знающего свою профессию, конкурентоспособного, эффективно работающего по специальности на уровне мировых стандартов, постоянно совершенствующего своё профессиональное мастерство, удовлетворяющего свои потребности в получении соответствующего образования.

Технологический режим, комплекс взаимодействий такого образования гарантируют получение в итоге профессионально подготовленного, квалифицированного инженера – специалиста.

Библиографический список

1. Беспалько, В.П. Системно — методическое обеспечение учебно - воспитательного процесса подготовки специалистов [Текст]: учеб. метод. пособие. / В.П. Беспалько, Ю.Г. Татур. - М.: Высшая школа., 1989.- 144 с.
2. Блауберг И.В. Становление и сущность системного подхода. [Текст] / И.В. Блауберг, Э.Г. Юдин - М.: Наука, 1973.
3. Дворянкина Е.К. Системный подход к управлению, образованием при подготовке будущих учителей: монография [Текст] / Е. К. Дворянкина. - Хабаровск: Изд - во ДВРЕУ, 2006. - 265 с.
4. Кларин М.В. Инновационные модели обучения в зарубежных педагогических поисках. [Текст] / М.В. Кларин - М.: Арена, 1994.- 221 с.
5. Клиланд Д. Системный анализ и целевое управление [Текст] / Д. Клиланд, В. Кинг., пер. с англ. / Под ред. Верещагина И.М. - М.: Сов. радио, 1974.- 280 с.
6. Кузьмина Н.В Системный подход в педагогических исследованиях [Текст]: / Н.В.Кузьмина // Методология педагогических исследований / ред. А.И. Пискунов, Г.В. Воробьев. - М.: НИИ ОП АПН СССР, 1980. - 165 с. - С.82-117.
7. Малинецкий Г. Г. Нелинейная динамика и проблемы прогноза [Текст] / Г.Г. Малинецкий, С.П. Курдюмов // Вестник Российской академии наук. - 2001. Т. 71, № 3. С. 210 - 232.
8. Садовский В. Н. Основы общей теории систем [Текст] / В.Н. Садовский. - М.: Наука, 1974. - 280 с.

9. Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам [Текст] / Г. Хакен; пер. с англ. И. Иванова. - М.: Мир, 1991.-240с.

10. Юдин Э.Г. Системный подход и принцип деятельности. [Текст] / Э.Г. Юдин - М.: Наука, 1978. - 303 с.

УДК 514.18:512.7:004.925.8

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕУГОЛЬНЫХ МАТРИЦ

БАБИЧ В. Н.¹, СИРАЗУТДИНОВА Н. Б.¹, ФРОЛОВ А. П.¹, ШАНГИНА Е. И.¹

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. Геометрическое моделирование треугольных матриц является продолжением статьи «Геометрическое моделирование алгебраических объектов» и также посвящена проблеме установления связей между двумя разделами математики – одним из самых наглядных – начертательной геометрией и одним из самых абстрактных – алгеброй. Здесь методы начертательной геометрии применяются для построения моделей некоторых групп и алгебр. Во многих методах начертательной геометрии имеется возможность перенесения на некоторое множество Γ точек/прямых/плоскостей и т. п. отображаемого пространства структуры той или иной группы преобразований. При этом множество Γ превращается в группу, изоморфную этой группе, т. е. в множестве Γ появляются произведения единица/обратные элементы/подгруппы/смежные классы/факторгруппы и т.п. – образы соответствующих объектов из Γ , и всем этим отвлеченным алгебраическим понятиям оказывается возможным дать наглядное геометрическое представление.

Ключевые слова: матрица, векторное пространство, аффинная плоскость, центроаффинное преобразование, автоморфизм, изоморфизм, проективная плоскость, преобразование подобия, отображение, биекция, абсолют, гомология, гомотетия, сдвиг, бифлаговая геометрия, факторгруппа X_I .

THE GEOMETRIC MODELING OF TRIANGULAR MATRICES

BABICH VLADIMIR NIKOLAEVICH¹, SIRAZUTDINOVA NATALYA BORISOVNA¹,
FROLOV ALEXANDER PETROVICH¹, SHANGINA ELENA IGOREVNA¹

¹Ural state mining University

Abstract. Geometric modeling of triangular matrices is a continuation of the article "Geometric Modeling of Algebraic Objects" and is also devoted to the problem of establishing connections between two sections of mathematics - one of the most visible - by drawing geometry and one of the most abstract - by algebra. Here, pattern geometry methods are used to construct models of some groups and algebras. In many pattern geometry methods, it is possible to transfer to some set of \mathbf{G} points/straight/planes, and so on, the displayed structure space of a transformation group. The set \mathbf{G} is converted into a group isomorphic to this group, that is, in the set \mathbf{G} there appear the unit/inverse elements/subgroups/adjacent classes/factor groups, etc. - images of corresponding objects from \mathbf{G} , and all these distracted algebraic concepts it is possible to give a visual geometric representation.

Keywords: matrix, vector space, affine plane, centroaffine transformation, automorphism, isomorphism, projective plane, similarity transformation, mapping, biection, absolute, homology, homothesia, shear, biflag geometry, factor group X_I .

В геометрии треугольных матриц и псевдоевклидовой геометрии матрицы $\begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ 0 & x_3 \end{pmatrix}$ с вещественными элементами, называемые верхними треугольными матрицами, описывают преобразования центроаффинной плоскости $\{U_1, U_2\}$. Определения встречающихся в них алгебраических терминов можно найти, например, [1, 2, 3, 4]. При $x_1,$

$x_3 \neq 0$ эти преобразования (автоморфизмы соответствующего двумерного векторного пространства) сохраняют кроме начала $u_1 = u_2 = 0$ прямую $u_2 = 0$ и образуют группу, которую мы обозначим γ . Изоморфную ей группу невырожденных треугольных матриц обозначим Q (матрицы умножаются по обычному правилу «строка на столбец»).

Переходя от аффинной плоскости $\{u_1, u_2\}$ к проективной плоскости $\{U_1, U_2, U_3\}$, где как обычно $U_1/U_2 = u_1$, $U_2/U_3 = u_2$, можно с помощью абсолюта, неподвижного при преобразованиях из γ - прямых $U_2 = 0$, $U_3 = 0$ и точек $(0, 0, 1)$, $(1, 0, 0)$ – ввести на этой плоскости метрику, превратив ее в так называемую бифлаговую плоскость. Таким образом, группа γ есть группа бифлаговой плоскости.

Можно также рассматривать ее как подгруппу подобий псевдоевклидовой плоскости с абсолютом $(0, 0, 1)$, $(1, 0, 0)$ и $U_2 = 0$, оставляющих на месте изотропную прямую $U_3 = 0$, или как подгруппу таких преобразований ко псевдоевклидовой плоскости с абсолютом $U_2 = 0$, $U_3 = 0$, $(1, 0, 0)$, при которых остается неподвижной несобственная точка $(0, 0, 1)$.

Все верхние треугольные матрицы второго порядка вместе с вырожденными относительно операций сложения и умножения матриц и умножения матриц на числа образуют алгебру T – подалгебру полной алгебры 2×2 – матриц.

Отображение φ сопоставляющее матрице $X = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ 0 & x_3 \end{pmatrix}$.

Из T точку $\xi(x_1, x_2, x_3)$ трехмерного центраффинного (вектор трехмерного векторного) пространства A_3 . Матрицы из Q (или автоморфизмы из T) изображаются в A_3 теми точками, которые не лежат в плоскостях $x_1 = 0$ и $x_3 = 0$. Множество этих точек обозначим индексом Γ . Отображение φ биективно и переносит в A_3 структуру алгебры T , а в Γ – структуру группы Q (или γ).

При отображении $\begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ x_4 & x_3 \end{pmatrix} \rightarrow (x_1, x_2, x_3, x_4)$ полных 2×2 матриц в точки четырехмерного пространства A_4 вырожденные матрицы изображаются точками гиперконуса $x_1x_3 - x_2x_4 = 0$ второго порядка с вершиной в точке $(0, 0, 0, 0)$ и двумя сериями 2 – плоских образующих; в связи с этим в A_4 возникает метрика псевдоевклидова пространства 2R_4 , абсолютом которого служит линейная квадратика - след гиперконуса в несобственной гиперплоскости. Гиперплоскости пространства 2R_4 являются псевдоевклидовыми или псевдоизотропными пространствами соответственно тому пересекают ли абсолют по невырожденной конике или по паре прямых.

Пространство $A_3(x_4 = 0)$ пересекает гиперконус $x_1x_3 - x_2x_4 = 0$ по паре плоскостей $x_4 = x_1 = 0$, $x_4 = x_3 = 0$, а абсолют пространства 2R_4 – по паре прямых. Таким образом, A_3 превращается в псевдоизотропное пространство 1J_3 , абсолютом которого служат несобственные прямые плоскостей $x_1 = 0$, $x_3 = 0$. Прямые пространства 1J_3 проходящие через точку пересечения абсолютных прямых, называют сильно изотропными, а остальные прямые, пересекающие абсолютные прямые – слабо изотропными. Плоскости, инцидентные абсолютным прямым, называют сильно изотропными, а плоскости, инцидентные точке их пересечения – слабо изотропными; в слабо изотропных плоскостях имеет место флаговая геометрия, а внеизотропных плоскостях – псевдоевклидова геометрия. В этой терминологии Γ есть 1J_3 без пары сильно изотропных плоскостей 1–го и 2–го семейства.

Умножение. Пусть $A = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \\ 0 & \alpha_3 \end{pmatrix}$ - фиксированная матрица, $X = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ 0 & x_3 \end{pmatrix}$ - переменная матрица из T , и пусть A_L – умножение всех матриц из T на матрицу A слева, т. е. отображение $X \rightarrow AX$. Отображение φ переводит A_L в эндоморфизм α : $x'_1 = \alpha_1 x_1$,

$x'_2 = \alpha_1 x_2 + \alpha_2 x_3$, $x'_3 = \alpha_3 x_3$ векторного пространства A_3 с матрицей $\begin{pmatrix} \alpha_1 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_1 & \alpha_2 \\ 0 & 0 & \alpha_3 \end{pmatrix}$

Произведением точки $\xi = \varphi(X)$ на точку $\alpha = \varphi(A)$ слева является образ точки ξ при эндоморфизме $\alpha_{\text{л}}$: $\alpha\xi = \alpha_{\text{л}}(\xi)$. Эндоморфизм $\alpha_{\text{л}}$ переводит точку 1 (1, 0, 1), изображающую единичную матрицу, в точку α (a_1, a_2, a_3), изображающую матрицу A , и однозначно определяется заданием точки α .

Если альфа принадлежит множеству Γ , то $\alpha_{\text{л}}$ - автоморфизм, сохраняющий плоскости $x_1=0$ и $x_3=0$, и следовательно, сохраняющий Γ . Мы будем называть его левым сдвигом пространства Γ , порожденным точкой $\alpha \in \Gamma$, поскольку он служит изображением левого сдвига группы Q , порожденного матрицей $A \in Q$. Матрицы преобразований, индуцируемых автоморфизмом $\alpha_{\text{л}}$ в плоскостях $x_1=0, x_3=0$, получаются из матрицы автоморфизма $\alpha_{\text{л}}$ вычеркиванием строки и столбца, содержащих a_1, a_3 и имеют соответственно вид $\begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ 0 & a_3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} a_1 & 0 \\ 0 & a_1 \end{pmatrix}$, т. е. в плоскости $x_3=0$ автоморфизм $\alpha_{\text{л}}$ порождает гомотетию с коэффициентом a_1 , а плоскость $x_1=0$ под его действием преобразуется как бифлаговая плоскость. Если преобразование в плоскости $x_1=0$ отлично от гомотетии (т. е. $a_1 \neq a_3, a_2 \neq 0$), то кроме абсолютной прямой (оси x_2) в нем имеется еще одна неподвижная прямая, которая может совпасть с первой; она высекается из плоскости $x_1=0$ неподвижной при $\alpha_{\text{л}}$ плоскостью, проходящей через точки $O(0, 0, 0)$, $I(1, 0, 1)$ и плоскости $\alpha(a_1, a_2, a_3)$. Коэффициенты гомотетий на этих неподвижных прямых равны собственным числам a_1 и a_3 матрицы A . Если $a_1 = a_3$, то плоскость $O\alpha$ пересекает плоскость $x_1=0$ по оси x_2 , и бифлаговое движение в плоскости $x_1=0$ представляет собой гомотетический сдвиг и имеет одну неподвижную прямую – ось x_2 . Если точка α коллинейна с O и I ($a_1 = a_3, a_2 = 0$), то проходящая через эти три точки плоскость не определена, и бифлаговое движение плоскости $x_1=0$ имеет однопараметрическое множество неподвижных прямых, т. е. представляют собой гомотетию (с коэффициентом $a_1 = a_3$).

Согласно изложенному биекцию движений бифлаговой плоскости $x_1=0$ на точки пространства Γ можно осуществить конструктивно без введения координат. Точка, соответствующая данному движению определяется в пересечении трех плоскостей:

1) Плоскости, проходящей через точку I и неподвижную прямую, отличную от оси x_2 (если такой прямой нет, то плоскость проходит через ось x_2 , а если их много – через любую из них);

2) Образа плоскости $x_1=1$ в гомотетии с коэффициентом a_1 ;

3) Образа плоскости $x_3=1$ в гомотетии с коэффициентом a_3 .

Аналогично левому сдвигу $\alpha_{\text{л}}$ имеем правый сдвиг $\alpha_{\text{п}}$, порожденный точкой α , и произведение $\alpha\beta$ точек α и β , тогда можно определить двояко:

$\alpha\beta = \alpha_{\text{л}}(\beta) = \beta_{\text{п}}(\alpha)$. Это определение можно распространить на умножение во всей алгебре A_3 , порождаемые точками плоскостей $x_1=0$ и $x_3=0$.

Правый сдвиг $\alpha_{\text{п}}$ пространства Γ^3 отвечающей точке $\alpha \in \Gamma$, оставляет на месте плоскости $x_1=0$ и $x_3=0$; в первой из них он порождает гомотетию с коэффициентом a_3 , а во второй - бифлаговое движение с нижней треугольной матрицей $\begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ 0 & a_3 \end{pmatrix}$.

Соответствие между бифлаговыми движениями плоскостей $x_1=0$ и $x_3=0$, порождаемыми правым и левым сдвигами одной и той же точки из Γ (транспонирование верхних треугольных матриц в нижние) является антиизоморфизмом – произведение переходит в произведение с переставленными сомножителями. Изоморфизмом группы Q и группы нижних треугольных матриц будет транспонирование с последующим (или предшествующим) переходом к обратной матрице.

Левые (правые) сдвиги пространства Γ образуют группу, изоморфную группе Q . Эти группы действуют на Γ просто транзитивно; это следует из того факта, что левый/правый сдвиг однозначно определяется заданием точки, в которую он переводит единицу. Левые сдвиги коммутируют с правыми.

Отметим, что сложение точек в A_3 и умножение точек на числа можно интерпретировать следующим образом. Сумма точек альфа и бета $\alpha + \beta$ есть образ точки альфа/бета в переносе, переводящем O в бета (соответственно в альфа). Произведение $k \times \alpha$ числа k на точку α есть образ точки α в гомотетии с центром O и коэффициентом k .

Обращение. Переход к обратной матрице изображается в A_3 кременовой инволюцией ω : $x_1' = 1/x_1$, $x_2' = -x_2/x_1x_3$, $x_3' = 1/x_3$. Плоскости $x_1=k$ и $x_3=k$ переходят в ω в плоскости $x_1=1/k$ и $x_3=1/k$, т. е. в пучках плоскостей, параллельных плоскостям $x_1=0$ и $x_3=0$ ω индуцирует инволюции с двойными плоскостями $x_1=+1$, $x_1=-1$, и $x_3=+1$, $x_3=-1$. Легко проверить далее, что любую плоскость, проходящую через точки O и 1 , ω переводит в себя. Парные точки инволюции ω инцидентны, таким образом, соответствующим плоскостям трех проективных (двух инволюционных и одного тождественного) пучков. В общем случае кременово преобразование, определяемое посредством трех пар проективных пучков плоскостей, является кубическим - образом прямой общего положения служит пространственная кривая третьего порядка. Однако в нашем случае за счет специального расположения пучков относительно друг друга эта кривая всегда распадается на конику и прямую, параллельную оси x_2 в плоскости $x_1=x_3$, т. е. ω – квадратичная инволюция. Полагая $x_1=X_1/X_4$ ($I=1, 2, 3$), т.е. переходя к проективным координатам, получим формулы преобразования ω в виде:

$$X_1^1 : X_2^1 : X_3^1 : X_4^1 = X_3 X_4 : -X_2 X_4 : X_1 X_4 : X_1 X_3.$$

В пространстве A_3 точки плоскостей $x_1=0$ и $x_3=0$ не имеют образов в инволюции ω . Расширяя A_3 до проективного пространства P_3 , мы обеспечиваем образы в ω для каждой точки пространства, в том числе и для добавленных несобственных точек. Однако не для всех этих точек их образы в ω определяются однозначно. Точка $O(0,0,0)$ является F -точкой – ей соответствуют все точки несобственной плоскости $X_4=0$. Фундаментальными является также все несобственные точки плоскостей $X_1=0$ и $X_3=0$, т. е. точки абсолютных прямых пространства 1J_3 ; каждая такая точка «размножается» в P – прямую – точке F первой/второй абсолютной прямой отвечают в ω все точки с точкой пересечения плоскости $O1F$ со второй/первой абсолютной прямой. Пространство Γ , которое получается из P выбрасыванием всех F и P - точек инволюции ω , переходит под действием ω в себя взаимно однозначно.

Группа движений бифлаговой плоскости. Прямая $O1$ с выколотой точкой $O=\Gamma$ является нормальным делителем N_1 группы Γ . Левый/правый сдвиг любой его точки и инволюция ω оставляют эту прямую на месте, т. е. она замкнута относительно умножения и обращения, и, следовательно, является подгруппой. Левый/правый смежный класс точки α по подгруппе N_1 есть образ N_1 в левом/правом сдвиге, порожденном точкой α ; но поскольку α_l и α_p переводят O в O и I в α , то прямая $N_1=OI$ переходит в них в одну и ту же прямую $O\alpha$, т. е. левые и правые смежные классы по подгруппе N_1 совпадают (это – прямые через начало с выколотым началом), и N_1 – нормальный делитель в Γ . Больше того, для любой точки $\alpha \in N_1$ и только для таких точек $\alpha_l=\alpha_p$; это означает, что все точки из N_1 и только такие точки коммутируют со всеми точками из Γ , т. е. N_1 – центр группы Γ .

Отметим, что все точки, перестановочные с некоторой точкой $\alpha \in \Gamma$, могут быть определены как неподвижные точки преобразования $\alpha_p \alpha^1 = \alpha_l^1 \alpha_p$ или обратного ему преобразования $\alpha_p \alpha^1 = \alpha_l^1 \alpha_p$.

Умножая N_2 на произвольную точку α из Γ слева и справа, получим одну и ту же плоскость $\alpha N_2 = N_2 \alpha = \alpha_l(N_2) = \alpha_p(N_2)$ - плоскость $x_1=\alpha_1$, параллельную N_2 ; поэтому N_2 – инвариантная подгруппа в Γ . Множество смежных классов группы Γ по нормальному

делителю N_2 с умножением по правилу «произведение представителей есть представитель произведения», т. е. фактор группа Γ/N_2 представляет собой пучок плоскостей, параллельных N_2 (за исключением плоскости $x_1=0$). Подгруппа N_1 содержит точно по одному представителю из каждого смежного класса, т. е. факторгруппа Γ/N_2 изоморфна группе N_1 (мультипликативной группе вещественных чисел без нуля). Канонический гомоморфизм $\Gamma \rightarrow N_1$ представляет собой пучок плоскостей проектирование точек из Γ на прямую N_1 плоскостями, параллельными N_2 .

С другой стороны, факторгруппа Γ/N_1 изоморфна N_2 ; Γ/N_1 есть связка прямых через начало с выброшенными пучками плоскостей в плоскостях $x_1=0$ и $x_3=0$ (ниже такие оговорки, связанные с тем, что Γ принадлежит A_3 , мы будем опускать). Указанный изоморфизм есть сечение этой связки плоскостью N_2 , а проектирование точек из Γ на N_2 из точки O есть гомоморфизм Γ на N_2 с ядром N_1 .

Пусть $\alpha_1 \in N_1$, $\alpha_2 \in N_2$. Множества произведений $\alpha_1 N_2 = N_2 \alpha_1$ и $\alpha_2 N_1 = N_1 \alpha_2$, которым принадлежат произведения $\alpha_1 \alpha_2$ и $\alpha_2 \alpha_1$, т. е. смежные классы точек α_1 , α_2 соответственно по подгруппам N_2 , N_1 , пересекаются в единственной точке α . Это означает, что $\alpha_1 \alpha_2 = \alpha_2 \alpha_1 = \alpha$. Обратно, каждой точке $\alpha \in \Gamma$ можно поставить в соответствие пару ее образов $\alpha_1 \in N_1$, $\alpha_2 \in N_2$ при гомоморфизмах (проектированиях) $\Gamma \rightarrow N_1$, $\Gamma \rightarrow N_2$, причем $\alpha = \alpha_1 \alpha_2 = \alpha_2 \alpha_1$. Следовательно, $\Gamma = N_1 \times N_2$, т. е. группа Γ есть прямое произведение мультипликативной группы вещественных чисел без нуля на группу аффинных преобразований прямой.

Пара плоскостей $x_1=+1$, $x_1=-1$ - нормальный делитель N_3 группы Γ . Смежные классы - пары плоскостей $x_1=+k$, $x_1=-k$. Факторгруппа Γ/N_3 изоморфна инвариантной подгруппе N_4 - полупрямой $O1$ (группе положительных вещественных чисел по умножению). Смежные классы по N_4 - лучи через начало. Факторгруппа Γ/N_4 изоморфна N_3 , и $\Gamma = N_3 \times N_4$.

Пара гиперболических цилиндров $x_1 x_3 = +1$, $x_1 x_3 = -1$ (единичная и мнимоединичная сферы в смысле псевдоизотропной геометрии), точки которых изображают эквивалентные преобразования бифлаговой плоскости, - нормальный делитель N_5 в Γ . Смежные классы - пары сфер $x_1 x_3 = +k$, $x_1 x_3 = -k$. Факторгруппа Γ/N_5 изоморфна N_4 , а Γ/N_4 изоморфна N_5 , и $\Gamma = N_4 \times N_5$. Проектирование лучами из нуля есть изоморфизм N_3 на N_5 .

Сфера $x_1 x_3 = 1$ - нормальный делитель, факторгруппа по которому изоморфна вещественным числам по умножению группе - подгруппе $x_1=1$, $x_2=0$ (эта подгруппа не является нормальным делителем - ее левые смежные классы - связка параллельных прямых, а правые - гиперболическая линейная конгруэнция, директрисами которой служат ось x_1 и несобственная прямая плоскости $x_1=0$).

Плоскости, несущие подалгебры двойных чисел, являются подгруппами в Γ . Левые/правые смежные классы по такой подгруппе - плоскости, инцидентные линии пересечения подгруппы с плоскостью $x_1=0$ ($x_3=0$). Плоскость $x_1-x_3=0$ дуальных чисел (или гомотетических сдвигов бифлаговой плоскости) является нормальным делителем в Γ . Факторгруппа - пучок плоскостей через ось x_2 - изоморфна подгруппе $x_1=1$, $x_2=0$.

Гомотетические сдвиги и гомотетические сдвиги с отражениями заполняют пару плоскостей $x_1+x_3=0$ и $x_1-x_3=0$ - нормальный делитель в Γ . Смежные классы - пары плоскостей через ось x_2 , гармонически сопряженные относительно пары $x_1=0$, $x_3=0$. Факторгруппа изоморфна полупрямой $x_1=1$, $x_2=0$, x_3 - больше нуля.

Прямая $x_1=1$, $x_3=1$, точки которой отвечают сдвигам бифлаговой плоскости, является коммутантом K группы Γ (т. е. минимальной подгруппой, содержащей коммутаторы $\alpha\beta\alpha^{-1}\beta^{-1}$ всех пар элементов из Γ). Группа K изоморфизм аддитивной группе вещественных чисел. Факторгруппа Γ/K - связка сильно изотропных прямых - изоморфна мультипликативной группе двойных чисел без делителей нуля. Коммутантом группы K

в свою очередь служит подгруппа, состоящая из одной единицы, и поскольку ряд Γ , K , I , в котором каждая следующая группа является коммутантом предыдущей, оканчивается единицей, то Γ – разрешимая группа.

Четверка прямых $x_1=+1$, $x_1=-1$, $x_3=+1$, $x_3=-1$ также является нормальным делителем N_6 группы Γ . Смежные классы группы Γ по подгруппе N_6 – четверки сильно изотропных прямых, переходящие в себя при отражениях при отражениях относительно оси x_2 и плоскостей $x_1=0$ и $x_3=0$. Факторгруппа Γ/N_6 изоморфна связкой группе двойных чисел по умножению (изоморфизм – сечение).

Отметим, что в подгруппе N_6 содержатся все инволюции группы Γ . Это означает, что инволюции не порождают всей группы Γ , или, другими словами, что произвольное движение бифлаговой плоскости не может быть представлено как произведение симметрий.

Нормальным делителем в Γ является максимальная связная подгруппа N_7 , для которой x_1 больше нуля, x_3 больше нуля; факторгруппа Γ/N_7 изоморфна группе, состоящей из четырех точек $1, -1, e, -e$ – так называемой группе Клейна.

Библиографический список

1. Ван Дер Варден Б.Н. Алгебра. М.: 1976.
2. Дъедонне К. Линейная алгебра и элементарная геометрия. М.: 1972.
3. Калужнин Л.А. Введение в общую алгебру. М.: 1973.
4. Понтрягин Л.С. Непрерывные группы. М.: 1973

УДК 338.4

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

ШАНГИНА Е. И.¹, СИРАЗУТДИНОВА Н. Б.¹, ДЕНИСОВА М. В.¹

¹Уральский государственный горный университет

Аннотация. В статье проанализированы формы и виды инноваций в образовании, причины отсутствия инновационных процессов в университете, возникающие при внедрении инноваций, выявлены инновационные подходы к содержанию образования, процессу обучения студентов в техническом вузе. Рассмотрены различные аспекты готовности научно-педагогического работника к инновационной деятельности с учетом современных приоритетов инженерного образования. Предложен вариант инновационных преобразований в сфере метро-графического образования.

Ключевые слова: Инновация в образовании, инновационные технологии в образовании, различные виды инноваций, интеграционные процессы в инженерном образовании.

INNOVATIVE PROCESSES IN ENGINEERING EDUCATION

SHANGINA E. I.¹, SIRAZUTDINOVA N. B.¹, DENISOVA M. V.¹

¹Ural state mining University

Abstract. The article analyzes the forms and types of innovations in education, the reasons for the lack of innovative processes in the University that arise when introducing innovations, and identifies innovative approaches to the content of education and the process of teaching students at the Technical University. Various aspects of the readiness of a scientific and pedagogical worker for in-

novative activities are considered, taking into account the current priorities of engineering education. A variant of innovative transformations in the field of geometric and graphic education is proposed.

Keywords: Innovation in education, innovative technologies in education, various types of innovations, integration processes in engineering education.

Одной из существенных особенностей современного периода жизни общества является резкое увеличение скорости информационных процессов, сопровождающее изменение условий жизни человеческого сообщества в различных сферах деятельности. Такие информационные перемены потребовали безотлагательного реформирования новой системы образования, поскольку эти изменения вызвали ряд противоречий, а именно: между глобальными потребностями общества и результатами образования; между быстрым темпом приращения знаний в современном мире и ограниченными возможностями их усвоения индивидом; между объективными требованиями времени и общим недостаточным уровнем образованности; между профессиональной ориентацией и потребностью личности в гармоническом удовлетворении разнообразных познавательных интересов; между современными методологическими подходами к развитым наукам и архаическими методами их преподавания [8].

Возникшие противоречия заставляют педагогическую теорию отказаться от абсолютного образовательного идеала (всесторонне развитой личности) и перейти к новому идеалу – максимальному развитию способностей человека к саморегуляции и самообразованию. В связи с этим появился большой объем исследований общеметодологического и прикладного характера, по-новому трактующих вопросы, относящиеся к педагогике, дидактике, психологии обучения, а также и широкий круг проблем, ранее являющихся предметом изучения смежных наук [1,3,4].

Современное образование должно органично включать творческий компонент в образовательный процесс, формировать мировоззрение, основанное на системности мышления, развивать гармоничность в способах и уровнях мышления, решений эвристических задач, оно должно обеспечивать междисциплинарную и интеграционную организацию содержания обучения, готовить выпускников вузов к новым видам деятельности. Тем самым исследуется подход к образованию как к процессу идентификации и личностной самодетерминации [8].

В настоящее время парадигма системы образования неразрывно связана с глобальными изменениями во взглядах человека на окружающую действительность. Одна из главных ролей в глобальном пространстве будет принадлежать инновациям. Исследователи и ученые формулируют новые концепции, подтверждающие создание современного феномена – инновационного мира. Такие кардинальные инновации, как Интернет, компьютеры, социальные сети, мобильная телефония, различные микропроцессорные технологии, спутниковое телевидение, привели к основательной трансформации современной картины мира в различных сферах жизнедеятельности, в том числе в сфере образования. Инновации становятся средством повышения эффективности образования. В контексте педагогической деятельности – это обновление на базе современных информационных технологий и гуманистических принципов всех компонентов педагогической системы [8].

В последние годы развитие педагогики, методики преподавания немислимо без интеграции с другими науками и научными направлениями. Основой этой интеграции должна стать новая парадигма образования – «инновационное образование», главным принципом которой являются сохранение и развитие творческого потенциала человека. Соблюдение этого принципа предполагает переход от проектирования знаний, умений и навыков к проектированию деятельности; формирование мировоззрения, системы обобщенных понятий, основанных на инвариантности методологически важных зна-

ний; гармоничность, системность интеллектуальной деятельности. Поэтому современная педагогика, психология, философия образования обосновывают идею самоопределения личности в образовательном пространстве, свободном выборе собственной образовательной траектории.

Инновации характерны для различных сфер деятельности человека и поэтому безусловно становятся предметом изучения, анализа и внедрения. Термин «инновация» означает «нововведение в сфере производства услуг (изобретения, новые технологии, методы организации труда и пр.), внедряемые с целью повышения эффективности производства и увеличения прибыли» [2]. Инновация (англ. «innovation» – нововведение, буквально означает «инвестиция в новацию») – это конечный результат инновационного процесса (инновационной деятельности), представляющего разработку нового или радикально усовершенствованного продукта (услуги, технологии, процесса), используемого в практической деятельности и безусловно реализуемого среди потребителей.

Инновация в образовательной сфере реализует фундаментальные преобразования, предполагает скачкообразные изменения, которые меняют суть взаимоотношений (ценностей и целей) субъектов образовательного процесса. В отличие от инновации, новации – это внешние изменения (улучшения, оптимизация) определенных параметров и характеристик образовательной системы, изначально не базирующаяся на ценностных изменениях во взаимоотношениях субъектов образования. Трансформация новшества в инновацию происходит только на ценностной основе [5].

Инновационная деятельность в образовательной среде ориентирована на усовершенствование и развитие научно-методологического, учебно-методического, организационно-педагогического, научно-исследовательского, проектного, финансово-экономического, кадрового обеспечения, правового регулирования, материально-технического обеспечения системы образования. Инновационная деятельность – это взаимосвязанная система принимаемых мер по обеспечению инновационного процесса на определенном уровне/этапе образования, а также сам процесс. К основным функциям инновационной деятельности относятся изменения различных составляющих образовательной сферы деятельности: целей, содержания образования, форм и методов, технологий, средств обучения, системы управления и т.п. Обязательное условие в инновационной деятельности – разработка и распространение инновационных продуктов и непременно технологий, прогрессивных методов организации системы образования, инновационного управления. А для этого необходимо создавать инновационную среду. Базовой составляющей инновационной среды, ее олицетворением, является человек – компетентный специалист. Именно формирование междисциплинарных компетентностей – способности к анализу и синтезу знаний из различных предметных областей, рассмотрению всех объектов и явлений в их системном взаимодействии и развитии обеспечивает последующую эффективную профессиональную деятельность с учетом быстрого изменения содержания труда и обновления прикладных задач [7].

Главным принципом инновационного образования является сохранение и развитие творческого потенциала человека. Соблюдение этого принципа предполагает переход от проектирования знаний, умений и навыков к проектированию деятельности; формирование мировоззрения, системы обобщенных понятий, основанных на инвариантности методологически важных знаний; гармоничность, системность интеллектуальной деятельности. Поэтому современная психология, педагогика, философия образования обосновывают идею самоопределения личности в образовательном пространстве, свободном выборе собственной образовательной траектории. Исследователями образовательной деятельности выделяют два типа инноваций:

- Во-первых, - это инновации, происходящие в значительной мере стихийно, без точной привязки к потребности, либо без полноты осознания всей системы условий, средств и путей осуществления инновационного процесса. Инновации такого типа не всегда полностью научно обоснованы, чаще они происходят на эмпирической основе, под воздействием ситуативных требований.
- Во-вторых, - это инновации в образовательной системе, являющиеся результатом осознанной, целенаправленной, научно-разработанной междисциплинарной и/или управленческой деятельности [7].

Для осуществления инновационного процесса разрабатывается инновационный проект. Инновационный проект направлен на разработку модели образовательной научно-практической деятельности, перспективной для дальнейшего внедрения. Под инновационным проектом понимается результат решения стратегической задачи формирования и развития системы образования, реализуемый в виде инновационного продукта. Инновационный продукт в системе образования – это модель инновационной технологии вуза, обеспечивающей высокую результативность, востребованность в системе образования. Инновационный образовательный продукт представляет собой результат обобщения образовательной деятельности, в виде:

- Научно-теоретического и научно-методологического описания структурно-функциональной организации образовательного процесса и его управления (цель, средства, содержание, технологии, формы и методы обучения, верификацию, разработку модели деятельности студента и научно-педагогического работника вуза и т.д.);
- Изложение необходимых и достаточных условий при реализации инновационного процесса и достижения инновационного продукта в контексте научно-практической деятельности вуза;
- Комплекта управленческих, нормативных и учебно-методических разработок, обеспечивающих реализацию образовательной деятельности вуза (нормативные документы, учебно-методический комплекс, комплект оценочных средств, учебники и др.).

Инновационная деятельность в образовании неразрывно связана с процессом совершенствования педагогических технологий, совокупности методов, приемов и средств обучения. Инновационная деятельность не только базируется на создании конкурентоспособности того или иного вуза на рынке образовательных услуг, но и определяет направления профессионального роста научно-педагогического работника, его творческого развития и реально способствует личностному росту студентов. В инновационной технологии подразумеваются два компонента, связанные друг с другом: организация деятельности студента, контроль образовательного процесса [4, 5, 6].

В отличие от целей, которые формируются в традиционной модели образования, цель инновационного образования современного инженера рассматривается нами в единстве трех компонентов: предметно-содержательный, профессионально-деятельностный, личностный. Предметно-содержательный компонент включает: фундаментальную геометро-графическую подготовку специалиста, ориентированного на инновационную деятельность и на освоение новых знаний; развитие способности и готовности реализовать эти знания в профессиональной деятельности; графическую культуру специалиста, отражающую его компетентность в области знаний, умений и навыков по разработке, применению и документированию инженерно-графической информации. Профессионально-деятельностный компонент предполагает: подготовку специалиста высокой профессиональной квалификации, способного комплексно сочетать исследовательскую, научную, проектно-конструкторскую деятельность в профес-

сиональной области, а также маркетинговую. Личностный компонент обуславливает: развитие творческой личности профессионала, способной к решению сложных, изобретательских задач, к созданию новых оригинальных объектов; развитие актуально значимых личностных качеств, включающих понимание и ценностно-смысловое осознание сущности и социальной значимости своей профессии и связанных с нею этических и правовых норм; мотивации достижения успеха, способности к коммуникации, принятию ответственных решений и др.

Инновационная деятельность в образовании позволяет регулировать обучение, направлять его в нужное русло. Однако инновационная деятельность и, связанные с ней инновационные технологии в образовании не реализуются по различным причинам:

1. Неспособность в творчестве. Преподаватели (обычно самые опытные преподаватели на кафедрах), привыкшие работать по старым учебным планам и программам, материалам, не желают что-либо изменять, повышать профессиональный уровень знаний, развиваться. Они негативно принимают все нововведения в образовательной системе.
2. Конформизм (от позднелат. *conformis* — подобный, сообразный) – понятие, которое подразумевает приспособленческую позицию, отсутствие собственной позиции, беспринципное и некритическое следование любому образцу. Из-за приспособленчества, нежелания развиваться, боязни выглядеть неадекватно, подвергнуться критике со стороны других, преподаватели отказываются принимать необычные педагогические решения.
3. Ригидность суждений при восприятии новой информации. (от лат. *rigidus* — жесткий, твердый) — затрудненность (вплоть до полной неспособности) в изменении намеченной субъектом программы деятельности в условиях, объективно требующих ее перестройки. Некоторые опытные преподаватели считают свое мнение/суждение единственным, окончательным, не подлежащим пересмотру. Они не стремятся к приобретению новых знаний, опыта, негативно относятся к новым веяниям в современных условиях высшей школы.
4. Состояние эмоциональной фрустрации (от лат. *frustratio* - обман, тщетное ожидание, расстройство), состояние напряжения, тревожности, отчаяния, возникающее при столкновении человека с непреодолимыми препятствиями (реальными или воображаемыми) на пути к достижению значимых целей, удовлетворению потребностей. – состояние, для которого характерны такие проявления как неудача, обман, тщетное ожидание, расстройство замыслов. Фрустрация возникает по причине, предполагаемой или реальной невозможности удовлетворения потребностей или при несоответствии желаний с имеющимися возможностями. Из-за неуверенности в себе, способностях, заниженной самооценки преподаватели до последней возможности сопротивляются любым изменениям в университете. В качестве predisposing условий к фрустрации при инновациях исследователями педагогической деятельности выделяются:
 - чрезмерно часто вводимые инновации (постоянные);
 - чрезмерно быстро вводимые инновации;
 - системные инновации;
 - безвариантные инновации.
5. Психологические барьеры, которые встречаются у педагогов: когнитивный и регулятивный. Когнитивные психологические барьеры перед новым проявляются в отсутствии конкретного знания о новом, в нечувствительности к новизне и вызывают пассивное противодействие. Регулятивные психологические барьеры перед новым

проявляются в недоверии к руководству, к новой информации и часто вызывают активное противодействие инновационным изменениям.

Для решения подобных проблем должна проводиться профессиональная переподготовка преподавателей, семинары, видеоконференции, просветительская работа среди преподавателей по применению современных компьютерных технологий и др.

Однако, остается проблема привлечения молодых специалистов в образовательные учреждения. Новации в данном аспекте связаны, прежде всего, с обеспечением кафедр университетов молодыми кадрами, подготовки будущих научно-педагогических работников, проработкой механизма осуществления пропаганды престижа научно-педагогического труда, что требует специализированных площадок, оснащённых современным технологическим оборудованием, а главное, мотивационной составляющей профессиональной деятельности в вузе и социальной поддержки научно-педагогических специалистов.

В прогнозах о перспективах развития образования следует опираться на принципы взаимодополняемости естественнонаучной методологии, гуманитарных способов и технических традиций познания. Методология междисциплинарного знания заключается в главенстве интегративных, синтезирующих тенденций. Такой подход способствует отражению целостных представлений о мире, картине мира как единого процесса. Интеграция знаний на основе междисциплинарных связей дает возможность охватить в преподавании смысловые связи при переходе от одного предмета к другому; уловить не только последовательность, но и одновременность этих связей и транслировать на новом, более высоком уровне целостное видение любых проблем, фактов, явлений, процессов во всей полноте и многогранности, многоаспектности.

Геометро-графические дисциплины занимают особое место в общей системе подготовки современных инженеров. К геометро-графическим дисциплинам, представляющим базовую геометро-графическую подготовку инженеров в вузе, относятся: начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика. Все эти дисциплины входят в цикл общепрофессиональных дисциплин, теоретическим ядром которых является начертательная геометрия. Начертательная геометрия обеспечивает преподавание целого ряда курсов в техническом образовании. Будучи составной частью инженерной геометрии и компьютерной графики, она определяет освоение теоретических основ компьютерной геометрии и графики, и является базой для геометро-графической подготовки специалистов в техническом вузе. В современных условиях роль геометро-графической подготовки существенно расширяется. Преимущество получают те специалисты, мышление которых способно к синтезу образного и рационального овладение методами геометрического моделирования объектов и процессов в значительной мере способствует развитию способности к такому синтезу.

Традиционно сложившаяся система преподавания начертательной геометрии не учитывает современного развития общества, характеризующегося интенсивной разработкой новых направлений, подходов, идей во всех сферах человеческой деятельности, и не перерастает в полноценное геометро-графическое образование. Тем самым, имеется настоятельная необходимость разработки современного подхода к обучению геометро-графическим дисциплинам.

Несмотря на обилие методологических исследований и публикаций по начертательной геометрии, в настоящее время не до конца сформирована общепринятая система представлений о начертательной геометрии как о разделе математики, являющейся базовой частью теории геометрического моделирования (ТГМ) пространственных форм различной размерности и различной структуры. В то же время, выработка таких представлений облегчается тем, что определенный круг геометрических представлений

уже исторически и естественным образом сложился на практике. Более того, любой специалист, достаточно для своей профессии знающий начертательную геометрию, наряду с такими понятиями, как чертеж, проекция, прямая, плоскость и др., должен владеть ключевыми понятиями ТГМ: модель, отображение, пространство, размерность, пропорциональность, симметрия и др. Тем самым, геометро-графическая подготовка, включающая освоение будущими специалистами теории геометрического моделирования, должна рассматриваться как самоценный компонент образования.

Глубокое овладение специалистом методами и средствами ТГМ проявляется в умении строить полную цепочку использования компьютера: реальная ситуация, геометрическая модель, включающая проверку корректности условия построения модели (параметризация геометрических множеств, их размерность), алгоритм, визуализация модели, анализ результатов. Поэтому основными целями геометро-графического образования специалистов являются: обучение умению ставить геометрические задачи (иными словами обучать переводу реальной ситуации задачи на геометрический язык – визуально-образный); строить геометрические модели, выбирать подходящий математический (геометрический) метод и алгоритм решения задачи, на основе проведенного анализа выработать практические выводы. Обучение построению полной цепочки использования компьютера наиболее глубоко отражает суть междисциплинарного обучения моделированию на основе ТГМ, обеспечивающего естественные связи математики, информатики и других дисциплин и способствующего развитию соответствующих компетенций [8].

В отличие от целей, которые формируются в традиционной модели образования, цель инновационного образования развития инженера, в нашем понимании, рассматривается в единстве трех составляющих: когнитивной, профессионально-деятельностной, личностной. Когнитивный компонент включает: фундаментальную геометро-графическую подготовку специалиста, ориентированного на инновационную деятельность и на освоение новых знаний; развитие способности и готовности реализовать эти знания в профессиональной деятельности; графическую культуру специалиста, отражающую его компетентность в области знаний, умений и навыков по разработке, применению и документированию инженерно-графической информации. Профессионально-деятельностный аспект предполагает: подготовку специалиста высокой профессиональной квалификации, способного комплексно сочетать исследовательскую, научную, проектно-конструкторскую деятельность в профессиональной области, а также маркетинговую. Личностная составляющая обуславливает: развитие творческой личности профессионала, способной к решению сложных, изобретательских задач, к созданию новых оригинальных объектов; развитие актуально значимых личностных качеств, включающих понимание и ценностно-смысловое осознание сущности и социальной значимости своей профессии и связанных с ней этических и правовых норм; мотивации достижения успеха, способности к коммуникации, принятию ответственных решений и др.

Для эффективной геометро-графической подготовки современных инженеров в новой инновационной образовательной системе огромное значение имеет поиск, создание и внедрение нетрадиционных образовательных технологий - информационных, компьютерных, телекоммуникационных – инноваций, применение которых требует радикальных изменений в методах и средствах обучения, формах организации образовательного процесса, теории и методологии современного образования.

Такой подход важен, но не должен идти в ущерб знанию фундаментальных наук, развивающих творческого специалиста. Нельзя забывать о том, что компьютер используется при решении традиционных учебных задач и служит целям повышения качества

образования. Известный специалист в области синергетики проф. А.А.Колесников обозначил методологическую проблему, связанную с применением компьютерных технологий. Дело в том, что современный компьютер, оперируя большим количеством информации, может создать у неискушенного студента или молодого ученого иллюзию всеохватности изучаемой проблемы. В действительности же компьютер нередко способствует размножению деталей и частных рассматриваемого явления, придавая большое значение именно частным случаям. Следовательно, психологическое обеспечение образовательных процессов, связанных с компьютерным сопровождением, должно быть направлено на изучение фундаментальным наукам.

Фундаментальные принципы деятельностной концепции формирования психики, созданной трудами выдающихся психологов Л. С. Выготского, С. Л. Рубинштейна, П. Я. Гальперина, раскрывают соотношение психической и практической деятельности человека: психика, сознание не только проявляются, но и формируются в процессе внешней деятельности человека. Если первичными для образов, представлений, понятий являются внешние предметы, то первичными для психологических, умственных действий являются внешние материальные действия, и, что особенно важно, материальные действия самого субъекта, а не других людей. Использование компьютера не может изменить законы формирования психики, сознания, умственных действий. Сегодня, как и сто лет назад, человек, учась считать, сначала манипулирует различными предметами (перекладывает палочки, загибает пальцы), совершая внешнее действие, и только затем эти операции производит в уме. Причем сразу же получить элементы психической деятельности во внутреннем плане невозможно. Знания, умения и навыки можно приобрести только в рамках собственного практического опыта, поскольку образование является не трансляцией информации и даже не столько обращением к интеллекту человека, сколько обращением к чувствам, к индивидуальному и неповторимому миру человека, к его мировоззрению.

Поэтому актуальным является вопрос всей многоаспектной и многофакторной проблемы информатизации сферы образования, в частности геометро-графического. Рациональное использование компьютеров в процессе обучения является эффективным и наполняет деятельность преподавателя новым содержанием, позволяет индивидуализировать и дифференцировать процесс обучения, стимулировать познавательную активность и самостоятельность обучающихся.

Применение компьютеров не должно отменить подготовку в реальном предметном направлении, т.е. недопустима замена реальных физических объектов (явлений) только модельным представлением на экране компьютера, что в перспективе может привести к снижению интеллектуального потенциал будущих специалистов. Усиление информатизации содержания образования и широкое внедрение информационных технологий в учебный процесс требует выравнивания динамики развития между информационным и фундаментальным направлением образования. Любой компьютер – всего лишь средство повышения эффективности интеллектуальной человеческой деятельности, выполняющее сугубо вспомогательные функции предоставления по возможности объективной учебной информации, помогающей педагогу и обучающемуся в реализации образовательных целей.

В настоящее время роль начертательной геометрии с ее методологией моделирования возрастает, поскольку значительно расширяется область приложения геометрических знаний в различных сферах инженерной деятельности. Это связано с тем, что в компьютерных технологиях проектирования важное место занимает геометрическая модель, которая является отправной точкой, начальным звеном различных этапов при

проектировании, изготовлении и эксплуатации изделий, инженерных, архитектурно-строительных сооружений и других конструктивных систем.

Современный процесс проектирования начинается с создания 3d модели на основе геометрических данных (параметров). Модель дает возможность специалисту воссоздать электронный образ будущей конструкции, выполнить расчеты, провести проверку работоспособности, спроектировать технологию производства, отрепетировать некоторые манипуляции (сборка и разборка), подготовить необходимую конструкторскую документацию и др. Компьютерное моделирование позволяет исследовать объект, а также контролировать результаты на любой стадии проектирования. Поэтому, с одной стороны, стратегически новый информационный подход к геометро-графическому образованию требует от будущего специалиста умение строить геометрические модели с компьютерной визуализацией. С другой стороны, использование только компьютерного моделирования приведет к тупиковой ситуации, в которой в основе процесса познания будет не изучение реальных природных и/или искусственно созданных объектов и их моделирование, а изучение информационной компьютерной среды. Следовательно, необходимо найти взаимовыгодный компромисс в методологии и методике изучения и построения геометрических моделей.

В условиях информационного общества усиливается роль геометро-графического знания, а также дисциплин, которые обеспечивают это знание в техническом образовании. Это объясняется возросшей потребностью в развитии творческого мышления студентов, основными компонентами которого являются интуиция и воображение. Причем эти компоненты неразрывно связаны со способностями человека мыслить визуальными образами, которые в техническом вузе развиваются за счет геометро-графических методов. Интеграция дисциплин – это одно из значимых оснований формирования содержания образования в современных условиях, которая обеспечивает системный, целостный характер приобретаемых знаний, умений и навыков, междисциплинарных компетенций. Междисциплинарная интеграция позволяет строить познавательную деятельность студентов на основе общенаучных идей и методов. С этой точки зрения создание педагогических условий реализации единства и взаимосвязи, т.е. интеграции, геометро-графических, общеинженерных и специальных дисциплин, возможно путем теоретического моделирования взаимосвязи как системы.

В заключение отметим, что в современных условиях нельзя недооценивать значение геометро-графических дисциплин как уникального средства коммуникации людей различных профессий и национальностей, так как их язык интернационален и универсален. Синтез традиций и инноваций всегда присутствовал в геометро-графическом образовании инженера и служил своеобразным толчком к формированию и развитию новой педагогической практики и нового инновационного опыта.

Библиографический список

1. Абасов З. А. Традиционное и инновационное в современном российском образовании / З.А. Абасов// Философские науки. – 2005. - №9. С. 110-114.
2. Большая актуальная политическая энциклопедия // Беляков А.В. и др. – М.: Эксмо, 2009. 424 с.
3. Загвязинский, В. И. Инновационные процессы в образовании и педагогическая наука/ В. И. Загвязинский// Инновационные процессы в образовании: Сборник научных трудов. Тюмень, 2013. с. 8.
4. Ильенкова С. Д., Шумпетер Й. Инновации в образовании: Учебник. М.: Юнити, 2008.
5. Инновационные образовательные технологии: Учебное пособие. Владим. Гос. ун-т им. А.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2018. 119 с.

6. Мандель Б. Р. Инновационные технологии педагогической деятельности [Текст]: учебное пособие для магистрантов / Б. Р. Мандель. М.: Берлин: Директ-Медиа, 2016. – 260 с.

7. Хуторской А. В. Педагогическая инноватика: методология, теория, практика: Научное издание, – М.: Изд. УНЦ ДО, 2005.

8. Шангина Е. И. Методологические основы формирования структуры и содержания геометро-графического образования в техническом вузе в условиях интеграции с общеинженерными и специальными дисциплинами. [Текст]: дисс. ... док. пед. наук: 13.00.08 / Елена Игоревна, Шангина М, 2010. 365 с.

УДК 514.18+004.92

МЕТОДИКА ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

НАСОЛДИНА И. Ю.¹

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. В статье рассматривается роль дисциплин «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика» в методике обучения студентов геометро-графическому моделированию для подготовки профессионально ориентированного специалиста. Так же рассматривается поэтапный переход от традиционного моделирования в структуры автоматизированного проектирования.

Ключевые слова: геометро-графический язык; начертательная геометрия; пространственно-образное мышление; инженерная графика; геометро-графическая модель; информационная модель объекта; электронная модель; компьютерная графика; геометрическое моделирование; геометрические объекты.

METHODOLOGY OF GEOMETRO-GRAPHIC PREPARATION STUDENTS OF TECHNICAL UNIVERSITY

NASOLDINA IRINA YURYEVNA¹

¹Ural State mining University

Abstract. The article discusses the role of the disciplines “Descriptive Geometry” and “Engineering Graphics” in the methodology of teaching students geometrical-graphic modeling to prepare a professionally oriented specialist. A phased transition from traditional modeling to computer-aided design structures is also considered.

Key words: geometric-graphic language; descriptive geometry; spatial-shaped thinking; engineering graphics; geometric graphic model; information model of the object; electronic model; computer graphics; geometric modeling; geometric objects.

Образование в высшем учебном заведении технической направленности должно включать обучение студентов универсальному международному геометро-графическому языку. Вся информация об объектах представлена в виде различного сочетания двух символов: прямой и точки (частный случай прямой). Замещая оригинал данными символами, появляется возможность оперировать структурой не самого объекта, а его образом (информацией о структуре и/или явлений). Один и тот же образ можно изобразить, применяя оба символа (знака) или только один из них, при этом сам символ не является объектом, а лишь представляется в виде средства его познания.

Для инженера в социальном плане геометро-графический язык выполняет коммуникативную роль, решая задачи без помощи вербального (словесного/устного) сопровождения, в профессиональном как международный язык необходимый для технического общения, а в личностном плане развивает творческое мышление. Поэтому уме-

ние передать свою идею графическими методами является главным требованием профессиональной подготовки специалиста-инженера.

Основы геометро-графической грамотности закладываются школьной программой, в высшем учебном заведении подготовку обеспечивают геометро-графические дисциплины «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика».

Обучение студентов геометро-графическому моделированию ставит перед высшими учебными заведениями следующие основные задачи:

- повысить интеллектуальный уровень студентов, формируя мышление характерное для геометро-графической деятельности;
- передать и закрепить основные геометро-графические знания, умения и навыки, необходимые в ходе дальнейшей подготовки при изучении смежных дисциплин и для применения в дальнейшей профессиональной деятельности;
- сформировать представления о методах геометро-графического моделирования как о способе познания действительности;
- воспитать профессиональные и личностные качества необходимые в процессе освоения цикла геометро-графических дисциплин [2].

Первая ступень (Начертательная геометрия) способствует развитию у студентов пространственно-образного и геометрического мышления, способность к анализу форм на основе графических пространственных объектов. Пространственно-образное мышление включает логические (словесно-понятийные) операции, опознание предметных объектов (реальных или изображённых графическими средствами) и создание на их основе приемлемых образов.

Умение правильно оперировать пространственными образами и есть содержание пространственно-образного восприятия. Определяется пространственно-образное восприятие по исходному содержанию объекта (образ геометрического тела, величины и пространственной размерности объектов относительно друг друга), типу оперирования (изменение положения объекта в пространстве) и динамичности образа (наличие системности, подвижности и пр.). При необходимости оперирования образа студент должен мысленно видоизменять его, абстрагируясь от уже созданного на этой основе образа. Пространственно-образное мышление представляет собой свободное оперирование пространственными образами, а также их преобразование с учётом заданных требований [3].

Знания для составления и чтения конструкторской документации (чертежи деталей, сборочных единиц и пр.) студенты получают в процессе освоения курса «Инженерная графика», но база закладывается на теоретических основах начертательной геометрии. Задачей курса является изучение пространственных форм инженерных объектов, их взаимодействие, изучение геометрического визуально-образного языка, способов создания геометрических моделей, а также графического представления информации о геометрических свойствах изделий, их управления и эксплуатации.

Для представления геометро-графической модели на чертеже используются несколько методов: комплексный чертёж (эпюр Монжа), аксонометрические проекции и проекции с числовыми отметками. Метод отображения выбирается в зависимости от назначения графической модели [4]. Для всех инженерных специальностей используется два первых метода представления модели, третий наиболее оптимален для горно-геологических специальностей. Каждый из трёх методов представления геометро-графической модели способствует развитию у студентов графической грамотности (культуры) и предоставляют знания приёмов и методов для изображения объектов, как с натуры, так и по ортогональному чертежу.

Главной особенностью современной графической подготовки является внедрение информационных технологий в процесс геметро-графического моделирования. Возможность интеграции инновационных компьютерных технологий в геометро-графические дисциплины, формирует культуру инженерного мышления, так как современная инженерно-конструкторская деятельность подразумевает использование информационных моделей объектов, при использовании которых на всех производственно-эксплуатационных циклах повышается качество изделий, варибельность и наглядность. Информационная модель объекта является электронным воплощением геометрической модели представленной в виде набора данных определяющих форму, структуру и параметры изделий, обеспечивая упрощение инженерных задач в процессе проектирования, а также при производстве, эксплуатации и утилизации [4].

Электронные имитации геометрических моделей позволяют экспериментально выявлять конструктивные недостатки, ошибки, анализировать прочностные, кинематические и динамические характеристики, как отдельных объектов, так и сборочных единиц на этапе проектирования. Электронные модели создаются в системах автоматизированного проектирования (САПР), благодаря которым повышается скорость и качество моделирования и появляется возможность быстрого редактирования геометрической модели. САПР применяется во всех учебных дисциплинах в процессе подготовки будущих инженеров, помогая создавать электронные модели изделий и сборочных единиц любой сложности, проводить анализ технологичности, создавать чертежи и прочую конструкторскую документацию [1].

Чтобы сформировать необходимые компетенции для создания информационных моделей с младших курсов студентам преподаётся теория и методика построения геометрических моделей и объектов.

Создание модели изучается в курсе «Начертательной геометрии», применяются данные объекта и аппарат проецирования (плоскость и заданная относительно неё точка зрения). Моделью является материальный или идеальный объект, необходимый для изучения исходного (оригинального) объекта, отражающего свойства (необходимые для познания объекта) и качества оригинала. Процесс создание моделей (моделирование) объектов (явлений, процессов) представлен в виде замены реального объекта на его копию, чтобы исследовать необходимые параметры самих объектов познания [2]. Совокупность и взаимодействие множества объектов или явлений в виде геометрического многообразия отображается в геометрической модели. Её элементы имеют свою внутреннюю структуру, разную размерность, количественные и качественные характеристики, тем самым приближая геометрическую модель к исходному объекту.

В «Инженерной графике» решается обратная задача: с помощью данных модели и аппарата проецирования конструируется объект. Данный метод позволяет изучать свойства оригинала по его геометрической модели благодаря конструктивной взаимосвязи объекта и модели.

Теория геометрического моделирования упорядочивает методы изображения и поиск моделей с заданными свойствами. Не имея достаточных теоретических знаний по формообразованию и практических навыков отображения объектов, студенты не могут сразу приступать к компьютерному моделированию информационных моделей. Главной задачей дисциплины «Компьютерная графика» является перенос в псевдо трёхмерное пространство информации о геометрических моделях, создание и оформление технической документации в соответствии с государственными стандартами (ГОСТ). Чтобы интегрировать свойства объекта в систему автоматизированного проектирования студент должен обладать базовыми знаниями из курса «Инженерная графика».

В процессе обучения студенты инженерных вузов получают знания, навыки и умения всех геометро-графических дисциплин, благодаря которым могут полноценно освоить необходимые графические редакторы. Для успешного освоения студентами систем автоматизированного проектирования аудиторные занятия необходимо сопровождать различными презентационными материалами, в которых преподаватель наглядно демонстрирует процесс решения типовых задач в электронной среде. Также САПР должна стать основным инструментарием для студента, чтобы решать поставленные задачи в ходе выполнения индивидуальных графических заданий, как во время практических аудиторных занятий, так и самостоятельно в не учебное время [5].

Каждая система автоматизированного проектирования позволяет пользователю создавать информационную модель с помощью поверхностного или твёрдотельного моделирования. Электронная геометрическая модель, созданная путём поверхностного моделирования, является совокупностью множества плоских многоугольников (полигонов) сопряжённых между собой в местах перехода плоскостей. Такая модель передаёт морфологические (формообразующие) характеристики, но не затрагивает материальные и динамические свойства оригинала (модель внутри пустотелая). Твёрдотельное моделирование позволяет имитировать все физические свойства объекта, работая не с отдельными поверхностями, а сразу с оболочками, отделяя внутренний объём модели от остального пространства. Построения модели повторяет процесс промышленного производства проектируемого объекта.

При создании электронных геометрических моделей в трёхмерной среде, необходим грамотный анализ формы объекта, чтобы разделить общую структуру на геометрические тела (шар, цилиндр, конус, призму и пр.). Для визуализации геометрических тел используются идеализированные геометрические объекты (точка, линия, плоскость). В графическом редакторе, как и на бумажном формате, идеализированные геометрические объекты имеют ограниченный набор свойств: точка только координаты; у линии есть размеры, но нет ширины; плоскость не имеет толщину [3]. Чтобы появилась электронная геометрическая модель (отображение реального объекта в системе САПР), необходимо из геометрических объектов создать визуально воспринимаемый образ, воздействуя на который с помощью кинематических операций (перемещая образ по траектории на заданное расстояние) создаётся геометрическое тело.

Взаимодействуя между собой с помощью булевых операций (алгебраические логические операции из теории множеств Джорджа Буля), множество геометрических тел образуют электронную модель геометрического объекта, которая является общим случаем модели реального объекта. Булевой алгеброй называется взаимодействие двух операндов состоящих из непустого множества АВ. Всего выделяют три Булевых операции:

- Аналог конъюнкции (операция объединения), итогом взаимодействия операнда А \wedge с операндом В, образуется новый операнд С (общая оболочка) (рис.1);

- Аналог дизъюнкции (операция вычитания), из операнда А \vee вычитается операнд В, образуется операнд С (рис.2);

- Аналог отрицания (операция пересечения), при взаимодействии операнда А с операндом В остаётся общая (пересекающиеся друг с другом) часть (рис.3).

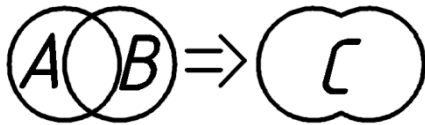


Рисунок 1

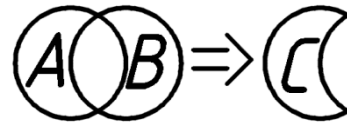


Рисунок 2

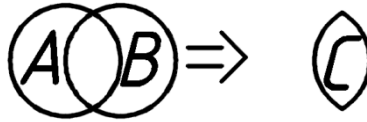


Рисунок 3

Воздействие на информационную модель булевыми операциями в системах автоматизированного проектирования аналогично процессу изготовления самого объекта. Одно геометрическое тело можно добавить к другому с помощью булевой операции объединения, получив часть заполненной оболочки моделируемого объекта. Воздействуя ещё одним геометрическим телом применяя булеву операцию вычитание, в оболочке создаётся отверстие [4].

Перемещая электронные модели объектов (деталей), распределяя в определённой (заданной) взаимосвязи друг с другом студент создаёт информационную модель сборочной единицы. Используя параметрические (формирование и внедрение зависимостей) связи между элементами, создаётся математическая взаимосвязанная модель, изменение части одного элемента которой влечёт изменение всей сборочной единицы. Используя различные комбинации геометрических изменений параметров элементов можно внести необходимые корректировки тем самым минимизировать конструктивные недочёты всех электронных моделей.

Информационные модели являются исходными данными для прочностного и кинематического анализа. У каждой электронной модели можно применить (задать свойства) необходимый материал, рассчитать вес, плотность и объём используя заложенные в САПР определённые математические алгоритмы.

Процесс автоматизированного получения чертежей и конструкторской документации по трёхмерной модели детали или сборочной единицы значительно проще и быстрее, чем отображение чертежей традиционным (инструментально-графическим) способом.

Применяя ряд операций, используя электронную модель, проекции отображаются автоматически, соблюдая все принципы проекционной связи и взаимодействий. Упрощается компоновка чертежа на листе (электронная имитация формата), манипулируя проекциями, устанавливается их оптимальное расположение. Устанавливая положение секущих плоскостей, автоматически создаются проекции с необходимыми разрезами и штриховкой материала. Тип и частоту штриховки можно поменять на любой стадии моделирования, а также задавать и редактировать типы линий и их толщину. Простановка размеров, допусков и выносок (выносных линий) являются полуавтоматическими операциями, настраивая тип стрелок и шрифт можно редактировать символическое отображение исходя из отраслевого назначения чертежа.

Создание чертежей с помощью САПР требует базовых навыков моделирования, а так же знания стандартов. В ГОСТ 2.305 приведены принципы отображения видов, сечений, разрезов, особенности условностей изображений и упрощения. Правила нанесения размеров и предельных отклонений описаны в ГОСТ 2.307.

Таким образом, методика геометро-графической подготовки должна сосредотачиваться на геометрическом моделировании и графическом отображении объектов. «Начертательная геометрия», как теоретическая основа модельной идеологии, пере-

крывает область познания геометрического моделирования. Обучает методикам замены реального объекта пространства геометрической моделью (идеальной формой существования объекта), одновременно создавая модель реального пространства. Конструируя модели многомерных пространств, у студента формируется пространственно-образное мышление, которое способствует быстрой адаптации в структуре среды автоматизированного проектирования.

Рабочее пространство САПР является электронным отображением реального многомерного пространства. В процессе моделирования объектов рабочее поле не ограничивается одним пространственным видом, псевдо трёхмерное изображение может одновременно отображаться с ортогональными проекциями, взаимодействуя между собой для более быстрой и качественной корректировки модели.

«Инженерная графика» перекрывает знания о геометрических свойствах объектов, развивает системное мышление, обучает основам разработки конструкторской документации и наилучшим образом интегрируется в «Компьютерную графику» подготавливая студентов к решению задач геометрического моделирования средствами компьютерных технологий.

Гибкость и простота изменения параметров информационных моделей в системах автоматизированного проектирования исключают случайные параметрические ошибки. Однако геометро-графическая подготовка является начальной и главной частью высшего профессионального инженерного образования. Без базовых знаний «Начертательной геометрии» и «Инженерной графики» студент не сможет свободно ориентироваться в электронном пространстве графических редакторов.

Библиографический список

1. Александрова Е.П., Крайнова М.Н., Столбова И.Д., Корнилова Е.В. Вопросы содержания и реализации графической подготовки в вузе при переходе на образовательные стандарты нового поколения // Международная научно-практической интернет конференция «Проблемы качества графической подготовки в условиях ФГОС ВПО» (февраль-март 2011 года): труды. Пермь: Изд-во ПермГТУ. 2011. С. 12-15.

2. Гузненков В. Н., Журбенко П. А., Якунин В. И., Серегин В. И. Геометро-графические дисциплины в высшем профессиональном образовании [Электронный ресурс] // Интернет-журнал Инженерный вестник, №05, 2015: [сайт]. URL: <http://engbul.bmstu.ru/doc/775254.html>

3. Замазий О.С. Графическая подготовка студентов при изучении начертательной геометрии, инженерной графики [Электронный ресурс] // Интернет-журнал Cyberleninka: [сайт]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/graficheskaya-podgotovka-studentov-pri-izuchenii-nachertatelnoy-geometrii-inzhenernoj-grafiki>

4. Кравчук Л.В. Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика. [Электронный ресурс] // Сайт цифровых учебно-методических материалов: [сайт]. URL: https://abc.vvsu.ru/books/nachert_geom/page0001.asp

5. Лейбов А.М. Проблемы формирования графической компетенции в системе высшего профессионального образования [Электронный ресурс] // Интернет-журнал Философия образования №4(43): [сайт]. URL: www.sibran.ru > upload > iblock

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 657.47

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПОРЯДКА УЧЕТА ЗАТРАТ НА РАЗВЕДКУ И ОЦЕНКУ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

НАЗАРМАТОВ А. А.¹ СОБИРОВА Ш. Р.¹ НАБИЕВА Д. М.²

¹ Горно-металлургический институт Таджикистана, Республика Таджикистан, г. Бустон

² Таджикский Национальный Университет, Республика Таджикистан, г. Душанбе

Аннотация. Формирование затрат на разведку и оценку месторождений полезных ископаемых и их учет на предприятии играет существенную роль в его деятельности. Без проведения разведочных работ невозможно оценить коммерческой целесообразности добычи полезных ископаемых. А затраты, связанные с этими работами необходимо должным образом отразить в том или ином порядке. В данной статье рассматриваются вопросы, касающиеся формирования, классификацию, учету и других аспектов управления этими затратами.

Ключевые слова: затраты, учет затрат, разведочные и оценочные работы, полезные ископаемые, капитализация затрат, эффективность.

FEATURES OF FORMATION AND PROCEDURE FOR ACCOUNTING COSTS FOR EXPLORATION AND EVALUATION OF MINERAL DEPOSITS

NAZARMATOV AAVAZBEK AKHMADOVICH¹ SOBIROVA SHUKRINISO RAKHIMOVNA¹

NABIYEVA DAVLATBAKHT MADZHIDOVNA²

¹ Mining metallurgical Institute of Tajikistan

² Tajik National University

Abstract: The formation of costs for the exploration and evaluation of mineral deposits and their accounting at the enterprise plays a significant role in its activities. Without exploration, it is impossible to assess the commercial viability of mining. And the costs associated with these works must be properly reflected in one way or another. This article discusses issues related to the formation, classification, accounting and other aspects of managing these costs.

Key words: costs, cost accounting, exploration and appraisal, minerals, cost capitalization, efficiency.

Разведка месторождений полезных ископаемых выступает как одним из ключевых моментов при организации их широкомасштабного использования. В условиях глобализации рационального природопользования (в том числе, минимальное воздействие на окружающую среду) и максимизации получаемой прибыли каждый предприниматель до того, как осуществлять деятельность по добыче полезных ископаемых задается вопросом «приносит ли желаемого результата эксплуатация данного месторождения?». Это говорит о высоких рисках в данной отрасли. В таких условиях возрастает роль деятельности по всесторонней разведке и геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых. Как и другие виды деятельности, данная работа также требует произведение определенного объема капитальных вложений. Источники, уровень, целесообразности, направления использования денежных средств, для выполнения работ по разведке и оценке месторождений полезных ископаемых требуют тща-

тельного изучения и обоснования этих работ. Анализ и оценка источников, величины, направления, а также классификация расходов способствуют эффективному их управлению, принятию оптимальных управленческих решений, и, в конце концов, способствуют повышению эффективности деятельности любого хозяйствующего субъекта.

При оценке целесообразности использования денежных средств на разведку и оценку месторождений полезных ископаемых, следует рассматривать особенности формирования затрат на эти мероприятия, т.е. затраты на разведку и оценку месторождений полезных ископаемых. Эти затраты также получили широкую известность как «поисковые затраты».

Эксплуатация месторождений полезных ископаемых состоит из двух стадий, которые включают в себя несколько этапов. Стадии и этапы процесса эксплуатации месторождений полезных ископаемых представлены в рисунке 1.



Рисунок 1 – Стадии разработки месторождений полезных ископаемых

Осуществление всех этапов сопровождается затратами и только на второй стадии предприниматель может получить доходы от деятельности. Четыре первые этапы непосредственно связаны с проведением геологоразведочных работ. В связи с этим, поисковые затраты формируются именно в этих этапах разработки месторождений полезных ископаемых. Следует отметить, что на первом этапе обычно проводятся мероприятия геолого-геофизического характера. Они направлены на исследования основных параметров геологического строения местности, и создадут предпосылки для проведения дальнейших геологоразведочных и оценочных мероприятий. Поэтому можно сказать, что первый этап не направлен на изучение конкретного месторождения полезных ископаемых. Начиная со второго этапа по четвертому этапу исследование направляется конкретному месторождению, что дает возможности вести учет поисковых затрат, и отнести их к конкретному месторождению и тем самым происходит процесс формирования затрат, связанных с геологоразведочными и оценочными работами конкретного месторождения полезных ископаемых. Тем не менее, разведка и оценка ме-

сторождений продолжают и при разработке месторождений и при промышленной добыче полезных ископаемых.

На всех стадиях работ, связанных с поиском, разведкой, оценкой, освоением, разработкой, добычей полезных ископаемых существуют определенные риски, влияющие на порядок учета затрат, связанных с этими работами. В таблице 1 проводится классификация работ по разведку и оценку месторождений, виды и степени рисков, существующих на соответствующем этапе проведения работ, а также приводится порядок отнесения затрат к той или иной статье.

Таблица 1 – Стадии появления затрат на разведку и оценку месторождений полезных ископаемых и уровень риска, связанные с ними

Этапы геологоразведочных работ	Характер работ, появление и учет затрат	Виды и степени рисков
1. Долицензионные работы по поиску и разведке месторождений	Проведение общие поисковые работы, выезд на исследуемой местности не обязательно. В силу существующих разных подходов к учету, иногда, затраты, связанные с этими работами не входят в основной проект. Есть мнения, согласно которым этих затрат следует списывать сразу.	Нет гарантий на получение права на разработку, а также экономических выгод
2. Получение права на разработку месторождений	Увеличивается объем затрат на приобретения лицензии на проведения поиск и разведки месторождения. Следовательно, до появления необходимых информации и оценки о проведении добычи, произведенные затраты капитализируются в стоимости активов. А также необходимо каждый год анализировать обесценения капитализации затрат в стоимости активов.	Существует высокая степень неопределенности относительно наличия экономически выгодных запасов природных ресурсов.
3. Проведение поисково-разведочных мероприятий	На месторождения, в соответствии с лицензии проводится детальные разведочные работы. Требуется большие затраты. Существуют два варианта учета затрат: - списывать; - капитализировать в стоимости активов.	Существует высокая степень неопределенности получения экономических выгоды.
4. Оценка запасов и затрат, связанных с освоением этих запасов	На основе информации, полученных с предыдущих этапов, проводится оценка запасов, обосновываются объем затрат, связанных с разработкой месторождения и проведением там добычи.	Сравнительно низкая степень неопределенности экономических выгод ва объема затрат.
5. Разработка месторождений	Данная работа является продолжением работ по планированию освоения и мероприятий, способствующих осуществлять промышленную добычу. Затраты капитализируются.	Низкая степень неопределенности.

Затраты предприятия, направленные на геологоразведке и оценочных работ можно учитывать по следующим направлениям (классификация, особенности этих затрат и их источники приведены в рисунке 2):

- капитализировать и в результате формировать поисковые активы, выступившие как статья баланса;
- включить с текущие расходы предприятия, что формирует отдельную статью отчета о финансовых результатах, получившую название «расходы на разведку и оценке месторождений».



Рисунок 2 – Классификация и особенности затрат, связанных с разведкой и оценкой месторождения полезных ископаемых

В капитализированные затраты включаются только та их часть, которые формируют стоимости внеоборотных активов, не являющиеся затратами текущего периода целиком и подлежащие амортизации. Иными словами, в процессе капитализации затрат на разведку и оценке месторождений выделяются те затраты данной деятельности, осуществление которых могут принести экономическую выгоду в будущем, т.е. эти затраты могут признаваться как эффективные затраты. Величина ассоциированного с затратами риска, становится основным фактором осуществления капитализации этих же затрат.

В силу того, что поисковые затраты, понесенные до приобретения лицензии на разведку и оценке месторождений не капитализируются. Поскольку, между ними и идентифицируемым активом, генерирующим экономическую выгоду на предприятии, не существует взаимосвязи, что говорит о неспособности этих затрат формировать стоимости активов. Поэтому их следует включить в расходы текущего периода.

При несоответствии поисковых затрат принципам капитализации, их относят к расходам по обычным видам деятельности. Но не существуют конкретные требования в отношении их включения в себестоимости добываемых на других месторождениях полезных ископаемых.

Расходы на разведку и оценке месторождений, входящие как уже отмечалось, в отдельную статью отчета о финансовых результатах, не являются возвратными, т.е. предприятие не может получить экономическую выгоду от них как при положительном, так и при отрицательном заключении об экономической эффективности и техни-

ческой возможности добычи полезных ископаемых. Эти расходы называются поисковыми расходами и включаются в состав расходов по обычным видам деятельности предприятия.

Основные виды поисковых затрат, которых можно включить в состав поисковых расходов, являются [2].

- накладные расходы на разведку и оценке месторождений полезных ископаемых;
- амортизация поисковых активов, в тех моментах, когда возможно их капитализации вследствие их вовлечения в процесс создания стоимости иных поисковых активов;
- расходы на содержание поисковых активов;
- другие аналогичные расходы.

Та часть поисковых затрат, не входящих в состав расходов на разведку и оценку полезных ископаемых участвуют в формировании первоначальной стоимости поисковых активов.

Следует отметить, что между затратами, связанными с разведкой и оценкой месторождения и объемом полезных компонентов, выявляемых в результате проведения этих мероприятий нет прямой зависимости. Следовательно, существует вероятность, что при осуществлении геологоразведочных и оценочных работ и произвести в этом огромных затрат, можно столкнуться с тем, что разработка данного месторождения является нецелесообразно.

В связи с этим, до того, как осуществлять геологоразведочные и оценочные работы, необходимо проводить анализ затрат, связанные с ними и результаты, получаемые в результате проведения этих мероприятий. При этом проводится оценка способности предприятия произвести этих затрат и выявляется объем капитализированных затрат геологоразведочных и оценочных работ, которые могут быть списаны в дальнейшем в случаях отрицательного заключения экономической целесообразности или технической возможности разработки исследуемого месторождения.

Проведение таких анализов очень важно для малых по объему горных предприятий, и для предприятий добывающей отрасли, где поисковые затраты велики.

Особенностью поисковых затрат заключается в том, что они являются финансовой оценкой ресурсов, использованных в целях получения определенных доходов, поступления последних возможно после выявления экономической эффективности и технической производительности добычи ресурсов на месторождения, на которых проводятся работы, связанные с его разведкой и оценкой.

В связи с большим риском деятельности по разведке и оценке месторождений, необходимо определять источники финансирования и последствия в случае отрицательного заключения экономической целесообразности или технической производительности добычи.

Следует отметить, что горнорудные предприятия для финансирования масштабных работ по разведке и оценке месторождения нередко применяют схему совместной деятельности. В таких ситуациях используются согласованный всеми участниками метод анализа затрат, связанных с данной совместной работой.

Основной целью затрачивания столь большие средства на разведку и оценке месторождений в виде поисковых затрат является увеличение производственных мощностей предприятия по добычу полезных ископаемых в результате увеличения объемов балансовых запасов на месторождениях, подконтрольных данному предприятию. Выходит, что поисковые работы горнорудных предприятий имеет инвестиционной

направленности. Поэтому, денежные средства, направленные на разведочные и оценочные работы, должны быть отмечены в отчетах о движении денежных средств.

Поисковые расходы не распределяются для отчетных периодов и относительно объему добычи полезных ископаемых являются условно-постоянными. Источником поисковых расходов является прибыль предприятия от основной деятельности, и находят свое отражение в отчете о прибыли предприятия от основной деятельности. К тому же, расходы на разведку и оценке непосредственно не связаны с добычей полезных ископаемых на разрабатываемых предприятием месторождениях. Это служит брать в основу, что поисковые расходы не участвуют в формировании себестоимости незавершенного производства и готовой продукции предприятия, не должны влиять на общую величину прибыли от основной деятельности.

Предприятие должно применять механизмы, где выявляются виды расходов, которые в процессе проведения разведочных и оценочных работ месторождений могут включаться в состав активов. Составим примерный перечень этих расходов:

- приобретение лицензии для осуществления разведочных работ;
- затраты на топографические, геологические, геохимические и геофизические разведки;
- затраты на бурение разведочных скважин;
- затраты на траншейные работы;
- затраты на отбор проб;
- затраты на оценку экономической целесообразности и технической возможности добычи на данном месторождении.

Таким образом, состав расходов, связанных с разведкой и оценкой месторождений можно классифицировать следующим образом:

- расходы на поиск и оценку месторождений: расходы на строительства (бурение) и ликвидация (замораживание) объектов, связанных с геологоразведочными работами (без учета тех скважин, которые являются амортизируемыми), расходы на аудит запасов. Следует отметить, что к расходам на освоение месторождения относятся все расходы на строительство и ликвидации всех объектов, которые связаны с осуществлением геологоразведочных работ (в том числе, работы по разведке и оценке месторождений);
- расходы на разведку месторождений и другие геологические изыскания на том месторождении, где соответственно проводятся эти работы согласно лицензии;
- расходы, связанные с получением определенных геологические и иные данные у третьих лиц, включая в госорганах.

За основу выявления необходимости тестирования обесценение активов берётся следующие факторы:

- по истечению срока действия лицензии на разработку, продление которого не планируется;
- расходы, осуществление которых для проведения работ по разработке и оценке месторождений в будущем не планируются и не включены в бюджет;
- произведенные поисковые расходы не дали ожидаемого эффекта, т.е. объем выявленных ресурсов не может принести экономическую выгоду, что принуждает предприятие остановить деятельность по разработке и оценке месторождений;
- подтверждены, что произведенные расходы не возмещаются выгодами дальнейшей деятельности предприятия (независимо от того, остановлена ли разработка месторождений или нет).

Расходы на доразведку месторождений полезных ископаемых, а также участников этого мероприятия, занимающихся работами в сфере горного или земельного отво-

да предприятия, учитываются в том отчетном периоде, в котором эти расходы собственно были понесены. К ним можно отнести тех затрат, которые были произведены для проведения работ по доразведке на месторождениях полезных ископаемых, которые введены в эксплуатацию и считаются промышленно освоенными. Следовательно, существует другой метод (различающийся от общего метода учета расходов, понесенных в процессе осуществления геологоразведочных работ на месторождениях) учета расходов на промышленное освоение полезных ископаемых, связанных с доразведкой месторождений и его участников [4].

Учет расходов, связанных с промышленным освоением полезных ископаемых проводится в целях осуществления расчета налога на прибыли с учетом их отнесения к эксплуатируемым и освоенным месторождениям, или же к тем месторождениям, которые находятся на доэксплуатационном этапе.

Для каждого заключаемого контракта на недропользования по следующим видам геологического изучения устанавливаются минимальный размер подписного бонуса [1].

- разведочные работы на нефтегазоносных площадях;
- разведочные работы на рудные полезные ископаемые;
- разведочные работы на нерудные полезные ископаемые, кроме работ по общераспространенным полезным ископаемым, поисковых и поисково-оценочных работ;
- разведочные работы на объектах отходов производства добычи полезных ископаемых и продуктов их переработки;
- сбор минералогических, палеонтологических и горных пород.

Предварительный этап оценки активов, которые формируются в процессе разведки и оценки месторождений, проводится по себестоимости. Если расходы, связанные с формированием резервов на вывод из эксплуатации были понесены в результате проведения мероприятий по разведке и оценке месторождений, то их тоже относят к себестоимости активов. Та часть затрат, связанных с разведкой и оценочной работой по месторождению, которая не входит в состав актива, включается в состав расходов по мере возникновения.

В состав затрат на разведку и оценку месторождений не включаются те затраты, которые были понесены после подтверждения или доказывания технической возможности и экономической эффективности добычи полезных ископаемых. Есть возможность капитализировать ту часть затрат на разведку и оценку полезных ископаемых, произведенной после одобрения экономической эффективности добычи полезных ископаемых на месторождениях, в стоимости объектов других видов внеоборотных активов. Это свидетельствует о том, что данная часть затрат включается в сферу использования соответствующих стандартов, касающихся учета основных средств, незавершенного строительства и др [2].

После того, как техническая возможность и экономическая эффективность добычи полезных ископаемых на исследуемом месторождении доказывается, предприятие должно осуществлять внутреннюю учетную политику, базирующаяся профессиональным навыкам и налаженным опытом деятельности. Предприятие сможет изменить свою действенную да данный момент учетную политику применительно затрат на разведку и оценку месторождений, в случаях, когда подобное изменение позволяет получить более уместные информации в финансовой отчетности в целях применения их в процессе принятия решений, а также для предоставления более высокую уровень надежности.

Библиографический список

1. 2-й Национальный отчет о реализации инициативы прозрачности деятельности добывающих отраслей в Республике Таджикистан за 2015-2016гг. – Душанбе: 2017. 197с.
2. Белгонов, А.Н. Совершенствование бухгалтерского учета затрат на оценку и разведку полезных ископаемых. Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. – Новосибирск: 2016. – 193с.
3. Илюхина Н.А. Учетная система затрат предприятий горно-обогатительного производства. Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Орел, 2007г.
4. Пелымская И.С., Савченко Н.Л., Воронов Д.С. Особенности учета и калькулирования на промышленных предприятиях. – М.: Издательство Креативная экономика, 2019. – 200с.

УДК 519.711

УПРАВЛЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕМ С ЕДИНИЧНЫМ ТИПОМ ПРОИЗВОДСТВА

КАЛАНДАРОВ И. И.¹

¹Нукусский филиал Навоийского государственного горного института

Аннотация. В статье рассматривается проблема управления производственными системами, взаимосвязь управления организацией производства, оперативного управления с эффективностью промышленного производства, формулируются постановки задач управления организацией производства и оперативного управления, решающие задачу повышения эффективности производства, а также даётся краткий обзор существующих методов решения задачи календарного планирования, как ключевой задачи управления производственным подразделением.

Ключевые слова: производственной структуры цеха, планирование, регулирования производственного процесса, регулирования.

MANAGEMENT AND EFFICIENCY OF A PRODUCTION UNIT WITH A SINGLE PRODUCTION TYPE

KALANDAROV I. I. ¹

¹Nukus branch of Navoi state mining Institute

Annotation. In the article the problem of production systems management, relationship management, organization of production, operational management efficiency of industrial production, the formulation of tasking management, organization of production and operational management, to solve the problem of increasing the efficiency of production, and also gives a brief overview of the existing methods of solving scheduling problem as a key management tasks of the production unit.

Keywords: production structure of the shop, planning, regulation of the production process, regulation.

Характерной чертой совершенствования управления социалистическим производством является то, что эта деятельность охватывает все народное хозяйство и имеет планомерный, директивный и непрерывный характер. Под функцией управления обычно понимается специализированная часть регулярной организационной деятельности информационно-управленческого характера, отличающаяся однородностью целей, действий или объектов приложения этих действий [1,2,7].

Для упрощения понимания задачи проблему управления можно свести к решению трёх взаимосвязанных задач:

- 1) быстрый сбор и аналитическая обработка информации;
- 2) расчёт сравнительных вариантов развития предприятия, планирование производства или отдельного вида продукции и на этой основе оптимального решения;
- 3) реализация принятых решений.

Как видно, эти задачи соответствуют классической форме управления: план, выявление отклонения и выработка регулирующего воздействия.

В организации процесса управления всегда могут быть выделены работы по организации, планированию, учету и регулированию производственного процесса.

Одним из главных этапов управления является планирование. Функции планирования в управлении принадлежит основополагающее место по следующим трем соображениям:

1. Цель, смысл и методы управления предприятием задаются именно планированием. Через эту функцию осуществляется связь предприятия с внешней средой: увязка с хозяйственной политикой в стране, системами финансирования, стимулирования, ценообразования и т.д.

2. Другие функции управления (например, учет и регулирование) являются зависимыми от планирования. Общеизвестно, что учет ведется по показателям плана, а регулирование должно постоянно поддерживать фактические показатели объекта на уровне плановых. Таким образом, недостатки в планировании автоматически переходят в учет и регулирование. Так, неправильно поставленная или нечетко сформулированная цель может привести к отрицательным последствиям и снизить эффективность производства.

3. Функция планирования является директивной по отношению к объекту управления. Поэтому все достоинства и недостатки в планировании выражаются в экономике или потерях трудовых и материальных ресурсов.

Планирование будет эффективным в случае правильной организации производства.

При управлении организацией производства выполняются следующие функции:

- формируется организационная структура производственных подразделений;
- определяется специализация оборудования;
- проводится закрепление рабочих за оборудованием.

Регулирующие функции системы управления сводятся к устранению текущих рассогласований в производстве. В среде специалистов эти рассогласования называются производственными возмущениями.

Большая часть регулирующих функций на предприятии осуществляется диспетчерским аппаратом. Регулирование осуществляет следующие функции:

- обеспечивает тактику управления, все конкретные мероприятия регулирования подчинены целям, сформулированным в рамках планирования;
- формирует конкретные мероприятия, необходимые для устранения непредвиденных возмущений;
- не ограниченное заранее заданными рамками, регулирование должно соблюдать единственное условие вмешательства - его положительное отношение к выполнению плана;
- в вынужденных случаях регулирование корректирует утвержденные в рамках планирования график выполнения работ, распределение ресурсов и т.д., но корректировка затрагивает частности и распространяется на короткое время.

Связующим звеном между планированием и регулированием является учетная функция управления. Учету, как составной части управления присущи следующие особенности:

– учет формирует информацию о состоянии управляемого объекта, используемую системой управления для выработки управляющих воздействий. Через учет в производственных системах осуществляется связь управляемого объекта с системой управления, получившей название обратной связи;

– учетная информация разделяется на две большие группы, отличающиеся разным степенью обобщения: первая содержит оценку закономерностей функционирования и тенденции развития управляемого объекта, а вторая - характеристику конкретных производственных возмущений и обстоятельств их возникновения;

– информация о закономерностях используется в планировании при постановке перед объектом целей на очередной отрезок времени;

– информация о производственных возмущениях используется в регулировании при разработке и осуществлении конкретных мероприятий по ликвидации возмущений.

Организация производственных процессов с точки зрения планирования и регулирования многовариантна. Один и тот же план, одно и то же регулирующее воздействие могут иметь большое количество вариантов. Среди множества вариаций имеется наилучший, оптимальный вариант. Но прежде, чем получить его требуется переработать большое количество информации. Вычислительная техника в отличие от человека способна в кратчайшие сроки перебрать большое количество вариантов управленческих решений, на основе которых человеку представляется возможным отобрать оптимальный вариант, обоснованный расчетом [2,5,10].

Формирование производственной программы подразделениями предприятия предполагает создание условий для ее реализации, а также ее непосредственное выполнение. Для создания таких условий требуется осуществлять организационное вмешательство, особенно в условиях единичного производства, на основе периодического анализа соответствия производственного процесса организационной структуре производственных подразделений, при этом вмешательство должно быть согласованным и гибким в отношении достижения главных целей предприятия.

Эффективность промышленного производства (в стоимостной форме) рассчитывается следующим образом:

$$\mathcal{E} = \frac{РП}{(C_{ж.т.} + C_{п.т.})}$$

где РП - количество произведенной в единицу времени продукции или услуг с учетом их качества;

$C_{ж.т.}$, $C_{п.т.}$ - затраты живого и прошлого труда, обусловившие производство данной продукции или услуг.

Всякую кибернетическую систему можно описать с помощью четырех множеств элементов (неделимых) - работников P , рабочих мест R , операций O и продуктов Π . Пересечение по признакам множеств P и R назовем агрегатом и обозначим через $A = \{P * R\}$. Состав этих множеств определяется структурой системы.

Исходя из данного описания рассмотрим постановки задач управления организацией производства и календарного планирования инструментального цеха промышленного предприятия. Для этого введем понятие производственной мощности. В литературе рассматриваются два основных подхода к определению мощности. Первый, который называют инженерным или техническим (технологическим), связывает величину мощности с потенциальным максимумом продукции, второй подход - экономический - с объемом продукции, соответствующим экстремуму некоторой функции издержек или

прибыли [3,6]. В дальнейшем будем пользоваться первым определением.

При решении задач управления организацией производства в цехе внешние и ряд внутренних факторов организационной среды цеха рассматриваются как не изменяющие своего состояния. В данной работе управление организацией производства осуществляется путем изменения состояния следующих внутренних факторов организационной среды:

1. организационной структуры расстановки рабочих;
2. специализации оборудования;
3. организационной структуры расстановки оборудования;

Оптимальными называются решения, по тем или другим признакам предпочтительные перед другими. Рассмотрим вопрос Формирования организационной структуры расстановки рабочих.

Многочисленные исследования последних лет указывают, на то, что четко спланированные организационные структуры и процессы будут сами по себе мало эффективными, если в организации не будет достаточно хорошо налажена работа с одним из основных ресурсов системы - людьми [2,4,5]. А в частности, правильная расстановка рабочих за оборудованием производственных участков цеха позволяет ликвидировать «узкие» места в производственном процессе, что в конечном итоге сказывается на выполнении месячной производственной программы цеха. При этом изменение состояния организационной структуры расстановки рабочих должно носить не разовый характер, а, в условиях единичного производства, периодический с учетом планового периода. С этой целью необходимо провести анализ операционной структуры производственного процесса на участке для определения объемов работ с учетом вида и сложности обработки, и определения потребного количества рабочих разной квалификации.

В соответствии с цеховой производственной программой производственным участком имеет месячное задание, в котором отражена закрепленная за ним номенклатура изделий. А также организационную структуру расстановки рабочих, оборудования и операционную структуру производственного процесса.

Рабочий участок в силу своего опыта и профессиональных навыков может выполнять работу определенной сложности, что выражается в присвоении рабочему конкретного квалификационного разряда, Технологическая операция производственного процесса имеет свой разряд работы, который определяет сложность ее выполнения.

Требуется на основании анализа работ по их сложности сформировать организационную структуру расстановки рабочих для производственных участков цеха с целью сокращения потерь квалифицированного рабочего времени при ограниченных трудовых ресурсах.

Рассмотрим следующий пример. На участке $У_1$ рабочие P_{11} и P_{13} имеют 6-й разряд, рабочий P_{12} - 4-й разряд.

На участке $У_2$ рабочие P_{21} и P_{23} - 4-й разряд, рабочий P_{22} - 6-й разряд.

Фонд рабочего времени для одного рабочего - 8 ч.

Операционная структура производственного процесса на участке $У_1$ состоит из операции O_1 6-го разряда ($O_1(6)$), $O_2(4)$, $O_3(4)$, $O_4(6)$. Трудоемкость операций O_1 и O_4 - 4 ч, O_2 и O_3 - 8 ч.

Операционная структура производственного процесса на участке $У_2$ состоит из операций $O_5(4)$, $O_6(6)$, $O_7(6)$, $O_8(4)$. Трудоемкость операций O_5 и O_8 - 4 ч, O_6 и O_7 - 8 ч.

Исходя из построенной схемы (рис.1) видно, что из входного объема работ x , при существующем состоянии организационном структуры расстановки рабочих по участкам $У_1$ и $У_2$, будет выполнен объем работ $У$.

В результате управляющих воздействий g , т.е. изменением состояния данного

внутреннего фактора организационной среды цеха (перевод рабочего P13 в состав участка Y₂ и аналогично P₂₃ участка Y₁), производственный процесс пойдет путём x₁, и будет выполнен объем работ у₁. При этом у₁>у и у₁=x , и, как следствие, будет выполнена производственная программа цеха.

Постановка задачи организации специализированных рабочих мест (РМ) на смену.

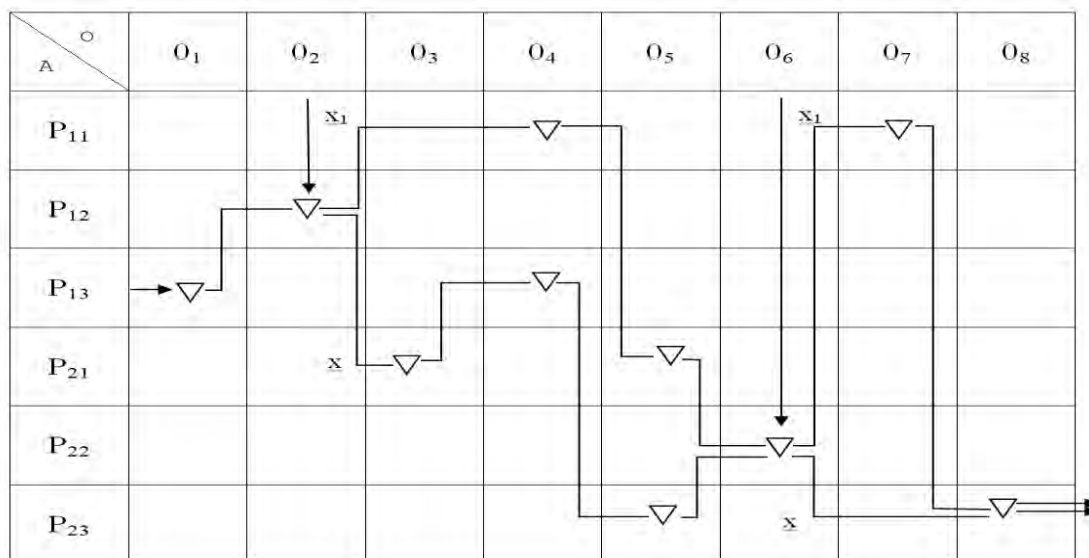


Рисунок 1 – Схема производственного процесса при изменении организационной структуры расстановки рабочих

Специализация оборудования ведет к увеличению производительности труда, и, как следствие, росту промышленного производства и его эффективности, что объясняет необходимость решения данной задачи. Производительность труда - это проблема, если говорить языком экономики, организации управления [7,6] и связана с внутренними факторами организационной среды цеха.

Организация специализированных РМ по применяемой на оборудовании оснастке (например, для фрезерной группы технологического оборудования поворотный стол или делительная головка), приводит к сокращению потерь рабочего времени на выполнение вспомогательных операции по переналадке оборудования (т.е. сокращению подготовительно-заключительного времени) и, как следствие, увеличению фонда доступного времени оборудования. Для этого необходимо провести анализ операционной структуры производственного процесса на участке и определить необходимое количество специализированных РМ на производственном участке, в зависимости от вида технологической обработки (т.е. токарной, фрезерной и т.д.) по каждому виду применяемой оснастки [8,11].

Производственный участок имеет месячную производственную программу, организационную структуру расстановки оборудования и операционную структуру производственного процесса.

Для выполнения технологической операции производственного процесса, в зависимости от вида технологической обработки, на оборудовании применяется различная оснастка. При этом суммарное время обработки деталей заказов с различной оснасткой неодинаково.

Требуется, на основании анализа работ с учетом применяемой оснастки, рассчитать необходимое количество специализированных РМ на смену с целью сокращения

потерь фонда доступного времени связанных с переналадкой оборудования, при ограниченных производственных ресурсах.

Рассмотрим следующий пример.

На участке имеется три РМ A_1, A_2, A_3 .

Фонд доступного времени по рабочему месту равен 6 ч.

Операционная структура производственного процесса на участке характеризуется продуктом Π_1 , для обработки которого необходима оснастка Д, ($\Pi_1(Д), \Pi_2(Д), \Pi_3(Д), \Pi_4(К), \Pi_5(К), \Pi_6(К), \Pi_7(Д), \Pi_8(Д), \Pi_9(Д), \Pi_{10}(Д), \Pi_{11}(К)$ и $\Pi_{12}(Д)$).

Трудоемкость обработки по каждому продукту равна $\Pi_1 \div \Pi_3 - 2$ ч, $\Pi_{10} \div \Pi_{12} - 1$ ч.

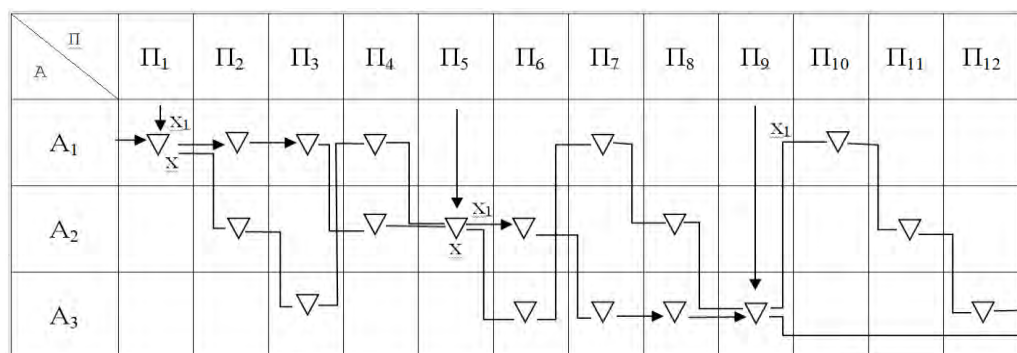


Рисунок 2 – Схема производственного процесса при изменении специализации оборудования

Время переналадки оснастки Д на К равно 0,5 ч (аналогично с К на Д).

Как видно из построенной схемы (рис.2), из входного объема работ x при существующем состоянии специализации оборудования будет выполнен объем работ y .

Результатом влияния управляющих воздействий g , т.е. изменения данного внутреннего фактора организационной среды цеха (организации специализированных РМ A_1 и A_3 с оснасткой Д и A_2 с оснасткой К), является прохождение производственного процесса путем x_1 и выполнение объема работ y_1 , где $y_1 > y$. При этом дополнительно обработаны продукты Π_{10}, Π_{11} и Π_{12} на счет сокращения времени на переналадку, и, как следствие, будет выполнена производственная программа [9].

Организация процессов производства отражает организацию объектов управления, определяемых как «структура системы и способы функционирования ее элементов». Поэтому процесс производства в первую очередь закрепляется посредством производственных структур, представляющих собой совокупность отдельных подразделений, связанных между собой отношениями производственной кооперации [6]. В настоящее время работами доказано, что между производственной структурой и производственным процессом существует непосредственная связь и производственная структура (организационная структура расстановки оборудования) выступает как внутренний фактор организационной среды цеха, существенно влияющий на производственный процесс.

Влияние производственной структуры, выражается в следующем. В связи с частой сменой номенклатуры и неоднородностью изделий по длительности их изготовления, что характерно для единичного производства, на производственных участках появляются «узкие» места и резервы мощности. Это приводит к большим потерям фонда доступного времени оборудования и росту незавершенного производства.

Цех имеет производственную месячную программу, сбалансированную на верхнем уровне оперативного управления предприятия по объемным показателям.

Производственное месячное задание участка отражает закрепленную за ним номенклатуру. Участок характеризуется производственной структурой и операционной структурой производственного процесса.

Требуется на основании анализа объема работ сформировать производственную структуру участков цеха с целью эффективной загрузки производственных мощностей при ограниченных производственных ресурсах.

Решение задачи управления производственной структурой участков связано с анализом РМ в соответствии с выполняемым объемом работ.

Рассмотрим следующий пример. Участок $У_1$ состоит из токарных РМ A_{11} и A_{13} и фрезерного РМ A_{12} .

В состав участка $У_2$ входят два фрезерных РМ A_{21} и A_{23} и одно токарное A_{22} .

Операционная структура производственного процесса на участке $У_1$ состоит из токарной операции $O_1(O_1(T), O_2(\Phi), O_3(\Phi), O_4(T))$. Трудоемкость операций O_1 и O_4 - 4 ч, O_2 и O_3 - 8 ч.

Операционная структура производственного процесса на участке $У_2$ состоит из операций $O_5(\Phi), O_6(T), O_7(T), O_8(\Phi)$. Трудоемкость операций O_5 и O_8 - 4 ч, O_6 и O_7 - 8 ч.

Фонд доступного времени по рабочему месту - 8 ч.

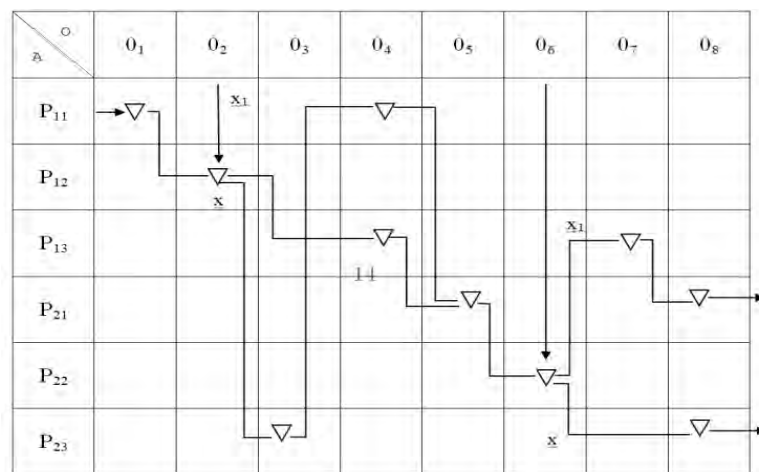


Рисунок 3 – Схема производственного процесса при изменении производственной структуры цеха

На основании построенной схемы (рис.3) видно, что из входного объема работ x при существующем состоянии производственной структуры участков $У_1$ и $У_2$ будет выполнен объем работы y .

В результате управляющих воздействий g , т.е. изменения состояния данного внутреннего фактора организационной среды цеха (включение РМ A_{11} в состав участка $У_2$ и, аналогично, а A_{21} в состав участка $У_1$) производственный процесс в цехе характеризуется путем x_1 , будет выполнен объем работ y_1 . При этом $y_1 > y$ и $y_1 = x$, и, как следствие, будет выполнена производственная программа [10,11].

Из приведенного соотношения видно, что эффективность производства можно повышать тремя различными способами: или увеличением количества производимой на единицу времени продукции и повышением ее качества, или уменьшением затрат живого и овеществленного труда, приходящихся на единицу производимой продукции, или тем и другим путем одновременно.

Библиографический список

1. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Алгоритмический подход управления сложными системами на примере производственных систем // ДАН АН РУз, г.Ташкент, №1, 2017 С.33-35
2. Kabulov A.V., Normatov I.H., Kalandarov I.I. Problems of algorithmization of management of difficult systems on the basis of algebra over functioning tables (FT) // Science and Education Materials Of the ix international Research and practice conference October 1st - 2nd, 2015 Munich, Germany 2015. P.148-151
3. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Алгоритмическая модель управления на основе алгебры над таблицами функционирования // ISSN 2181-8460 «Проблемы вычислительной и прикладной математики». Центр разработки программных продуктов и аппаратно-программных комплексов (Ташкент) № 2 (4). 2016. С.19-23
4. Кабулов А.В., Каландаров И.И. Описание архитектуры алгоритмической системы АТЛАС // В сборнике: Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений Сборник докладов VII Международной научно-технической конференции в рамках Уральской горнопромышленной декады. Екатеринбург. 2018. С. 470-475
5. Kabulov A.V., Normatov I.H., Kalandarov I.I. Algorithmic method of the conversion functioning tables (FT) for control industrial systems. // ISSN 2308-4804 International scientific journal "Science and World", № 8(24), 2015. - Vol. 1 - P. 14-17
6. Каландаров И.И., Бобоев А.А., Меликулов С.Е., Тогаев С.Ф. Микропроцессорная система с распределенным управлением // В сборнике: Образовательная система: вопросы продуктивного взаимодействия наук в рамках технического прогресса сборник научных трудов. Казань, 2019. С. 357-359
7. Каландаров И.И., Бекбутаев С. Algorithm for solving the optimal technological route tasks // ISBN 978-5-6043626-2-4, Общества науки и творчества, сб.ст «Инициатива в науке как новая развития системы знаний», Казань, 2019, С.270-275
8. Kalandarov I.I., Sotiboldiyev S.U., Narzullayev Y.E. Algorithm of the choice of the optimum technological route and the group equipment // ISSN 2350-0328 International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (India) Vol.6, Issue 5, May 2019 P.9066-9070.
9. Kabulov A.V., Normatov I.X., Kalandarov I.I., Karimov A.A. Algorithmic method of organization of specialized workshops // ISSN:2350-0328 International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (India) Vol. 5, Issue 4 , April 2018 P.5670-5675
10. Kabulov A.V., Normatov I.H., Kalandarov I.I. Algorithmic model of management on the basis of algebra over functioning tables (FT) // ISSN 2308-4804 International scientific journal "Science and World", № 1(17), 2015. - Vol. 1 - P. 10-13
11. Кабулов А. В., Каландаров И.И., Болтаев Ш.Т., Сайманов И. Задача синтеза управляющего агрегата для реализации алгоритмов информационной безопасности и криптографии. // Приоритетные направления развития науки и образования сб.ст Международной научно-практической конференции, 2018, г. Пенза. С.75-80

УДК 519.711.3

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ И ЕДИНИЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

КАБУЛОВ А. В.¹, КАЛАНДАРОВ И. И.²

¹ Национальный университет Узбекистана им. М.Улугбека

² Нукусский филиал Навоийского государственного горного института

Аннотация. В мелкосерийном и единичном производстве при частых сменах номенклатуры, при участии в выпуске деталей на сборку большого числа разных участков и цехов, где в свою очередь возникают экстремальные ситуации, задать единый критерий оценки плана

не столько невозможно, сколько нецелесообразно. Система планирования и управления должны быть адаптивной, с изменяющейся производственной ситуацией, иметь возможность подстраиваться под ситуации на участке и на производстве в целом. В этих условиях требуется разрабатывать новые подходы и методы решения задач планирования и управления. В данной работе рассматривается повышение эффективности производства с помощью первого способа, реализованного путем управления организацией производства и оперативным управлением производственного подразделения.

Ключевые слова: календарное планирование, единичное тип производства, производственный цикл, сетевое планирование, эвристический метод.

MATHEMATICAL METHODS FOR SOLVING THE PROBLEM OF CALENDAR PLANNING IN SMALL-SCALE AND INDIVIDUAL PRODUCTION

KABULOV A. V.¹, KALANDAROV I. I.²

¹ National University of Uzbekistan named after M. Ulugbek, Tashkent

² Nukus branch of Navoi state mining Institute, Navoi

Annotation. In small-scale and individual production, with frequent changes in the nomenclature, with participation in the production of parts for Assembly of a large number of different sites and workshops, where in turn there are extreme situations, it is not so much impossible to set a single criterion for evaluating the plan, as it is impractical. The planning and management system should be adaptive, with a changing production situation, and be able to adapt to the situation on the site and in the production as a whole. In these conditions, it is necessary to develop new approaches and methods for solving planning and management problems. In this paper, we consider increasing production efficiency using the first method, implemented by managing the organization of production and operational management of the production unit.

Keywords: calendar planning, unit production type, production cycle, network planning, heuristic method.

В работах [1,2,3] описывается смысловое содержание постановок задач теории расписании, методы решения и результаты решения, а также в работе - реализация задач в пакетах прикладных программ линейного и математического программирования ЕС ЭВМ. Описанные методы не отвечают требованиям, предъявляемым для решения задач календарного планирования инструментального цеха производственного предприятия, в силу громоздкости и временных характеристик решений, а некоторые в силу трудностей в реализации.

При решении задач календарного планирования важным моментом является вопрос выбора критерия оптимальности, состоящего из слагаемых, соответствующих различным видам затрат по:

- 1) осуществлению обработки деталей непосредственно на РМ;
- 2) внутрипроизводственной транспортировке предметов труда;
- 3) переналадочным работам;
и потерь от:
- 4) связывания оборотных средств в технологических заделах;
- 5) связывания оборотных средств в межоперационных заделах;
- 6) непроизводительных простоев оборудования.

Слагаемые 2÷4 постоянны, поэтому в качестве критерия можно взять только слагаемые 5 и 6.

Теперь сформулируем постановку задачи календарного планирования для производственного подразделения с единичным типом производства, следующим образом.

Постановка задачи. Инструментальный отдел формирует цеху производственную программу, подлежащую выполнению в плановом периоде.

Месячная программа состоит из месячного плана запуска и месячного плана выпуска, увязанными между собой календарными опережениями. Заказы, входящие в месячную программу, подразделяются на две группы (срочные и обыкновенные). Первая группа заказов планируется на запуск и выпуск в данном плановом месяце, для нее определены дата запуска и дата выпуска. Вторая группа заказов в плановом периоде планируется только на запуск, дата запуска конкретно не определена (предполагается, что технологический цикл механообработки должен быть выполнен в течение планового периода).

Требуется сформировать производственные задания по РМ (рабочих мест) с учетом сокращения длительности производственного цикла по отдельным заказам с целью уменьшения потерь от связывания оборотных средств в межоперационных заделах и непроизводительных простоев оборудования при ограниченных производственных ресурсах.

Наиболее важной и сложной задачей в оперативном управлении производственным подразделением является задача календарного планирования.

Важность этой задачи связана с тем, что все задачи планирования ставятся на некоторый период времени, в который, в подавляющем большинстве случаев, происходит изменение ситуаций (изменение графиков поставки сырья и потребления продукции, мощности оборудования и пр.) [3,11].

Задачам календарного планирования (составления расписаний) посвящены работы зарубежных ученых Джонсона (1934 г.) и Г. Беллмана (1956 г.), которые сформулировали общую задачу календарного планирования. Дальнейшие разработки велись по двум направлениям: поиски теоретической возможности решить задачу календарного планирования с помощью аппарата математического программирования для упрощенных абстрактных моделей и попытка решения конкретных задач методами эвристического поиска. Работы направленные на решение задачи составления расписания как оптимизационной многовариантной задачи, не дали значительных результатов для практики. Анализ таких моделей и методов решения подробно приведен в книге. Решение с помощью метода эври одического поиска задачи составления квазиоптимальных или «хороших», «приемлемых» расписаний имели теоретическое значение и позволили получить ряд реально работающих расписаний, используемых на производстве. Недостаток их заключается в следующем: они рассчитаны на заданный критерий качества расписания и пригодны лишь для определенных производственных ситуаций, что характерно для крупносерийного производства.

Задача календарного планирования (составления расписания) производственного участка существенно отличается от задачи планирования более крупных производственных единиц. При планировании работ отрасли, предприятия, цеха решаются задачи: сколько, какими ресурсами и за какой срок (сколько, чем, когда). Эти задачи хорошо формулируются на языке исследования операций. Задача календарного планирования работы участков требует ответов на вопросы: что обработали, (какую партию, деталь), на какой единице ресурса, в какой момент времени (что, где, когда), т.е. относится к классу комбинированных задач полного упорядочения во времени различных дискретных процессов, предварительно частично упорядоченных согласно технологическим маршрутам. Для решения этих задач используют методы и эффективные подходы, разработанные в теории расписаний. Задачи теории расписаний близки к задачам теории массового обслуживания, в которой тоже изучается поведение дискретных процессов. Различие между ними состоит в том, что в теории расписаний исследуются в основном детерминированные системы обслуживания, а в теории массового обслуживания - вероятностные. Задача может быть сведена к задачам целочисленного програм-

мирования путем задания двоичных переменных для выражения ограничений задачи, но это не приводит к успеху из-за отсутствия эффективных алгоритмов решения задач целочисленного программирования [5,6].

Одним из математических методов планирования является метод сетевого планирования.

Сетевое планирование - это представление плана работ, который отражает их логическую последовательность, взаимосвязь и величину с целью последующей оптимизации разработанного графика с помощью математических методов и вычислительных машин. В течение последних лет системы сетевого планирования и управления бурно развиваются, а сфера их применения непрерывно расширяется. Решение задачи календарного планирования посвящены многочисленные исследования [2,3,7], и из существующих методов ее решения можно выделить следующие:

- а) аналитические;
- б) эвристические;
- в) статистические.

Первая группа методов в свою очередь подразделяется на:

- точные методы, позволяющие за конечное число шагов найти оптимальный план;
- приближенные методы, позволяющие найти решение, довольно близкое к оптимальному.

К точным методам решения относятся полный перебор вариантов, метод ветвей и границ, метод последовательного анализа вариантов и др.

Метод полного перебора вариантов для большинства задач оказывается неприемлемым, так как число возможных вариантов обычно растет с ростом размерности задачи экспоненциально.

Метод последовательного конструирования, анализа и отсеивания вариантов позволяет сократить перебор вариантов, исключая из рассмотрения некоторые подмножества планов как бесперспективные. В отдельных задачах этот метод дает удовлетворительные результаты, однако в общем случае, количество необходимых операций зависит от числовых данных задачи, и при некоторых данных метод не намного эффективнее полного перебора.

Метод ветвей и границ [5,7,10] также позволяет сократить перебор при нахождении оптимального плана и при решении отдельных задач часто дает хорошие результаты, однако он сохраняет основные недостатки метода последовательного анализа вариантов: число ветвей зависит от исходных данных задачи, и в некоторых случаях объем вычислений по методу ветвей и границ не уступает объему вычислений, необходимому для полного перебора вариантов. Это относится и к большинству других имеющихся точных методов решения общей задачи.

Применение метода ветвей и границ и динамического программирования к задачам календарного планирования рассмотрены в работах [3,4,9].

Для некоторых частных случаев задач календарного планирования удалось получить точные методы, позволяющие решать задачи большой размерности. Впервые такой метод разработан Джонсоном для решения одно маршрутной задачи с двумя станками. Простые алгоритмы, позволяющие найти точное решение за малое количество операций, были получены для задачи одного станка с разными критериями оптимальности.

Однако, точные методы не в состоянии решить большинства задач календарного планирования, возникающие в реальных производственных системах, так как обычно эти задачи имеют очень большую размерность и весьма громоздки в реализации.

Поэтому в последние годы значительно большее внимание уделяется развитию приближенных методов решения.

К приближенным методам обычно относят статистические и эвристические методы и их различные комбинации.

Статистические методы осуществляют выбор возможных планов в зависимости от значений некоторой случайной величины, и решением задачи считается наилучший из выбранных планов. Простейшим статистическим методом поиска оптимального решения является ненаправленный случайный поиск или метод Монте-Карло. Сущность метода заключается в том, что для последовательности $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ независимых случайных порядков обработки определяются значения целевой функции $K(\pi_i)$ строится последовательность

$$K_n(\pi) = \min\{K(\pi_i)\}$$

Чтобы получить перестановку $\pi_i = [i_1, i_2, \dots, i_n]$ [из чисел 1, 2, ..., n] равномерно распределенную на множестве всех перестановок, генерируют n раз случайную величину ξ_k , равномерно распределенную в интервале (0,1) и k-й реализации среди всех n реализаций в порядке убывания присваивает номер i_k . Однако, метод Монте-Карло, не учитывающий специфики задачи, дает недостаточно быструю сходимость к оптимальному решению. Ускорение сходимости случайной последовательности планов к оптимальному можно достигнуть за счет более разумной организации случайного поиска.

Весьма плодотворными оказались методы, связанные с введением метрики в пространство расписаний.

Большую часть этих методов представляют собой разработанные для непрерывных функций и модернизированные для дискретного аргумента модели локальной оптимизации. Сущность методов локальной оптимизации заключается в том, что вводится понятие окрестности $U(\pi)$ плана π . Для задания $U(\pi)$ чаще всего вводят понятие расстояния $\rho(\pi_1, \pi_2)$ между планами π_1 и π_2 , при этом R – окрестность $U_R(\pi)$ для любого $\pi \in Q$ (Q - множество, состоящее из n! всех возможных планов) состоит из множества планов $\pi_i \in Q$, удовлетворяющих условию:

$$\rho(\pi, \pi_i) \leq R$$

При таком определении окрестности алгоритм локального поиска можно сформулировать следующим образом:

- 1) пусть на n-ом шаге получен план π_n . Выделяем R_n - окрестность плана π_n .
- 2) моделируем N_n раз случайный план

$$\pi_n^{(s)} \in U_{R_n}(\pi_n), \text{ где } s = 1, 2, \dots, N_n$$

- 3) находим план π_n^* такой, что

$$K(\pi_n^*) = \min K(\pi_n^{(s)})$$

- 4) если $K(\pi_n^*) < K(\pi_n)$, то в качестве исходного плана принимается π_n^* и процесс продолжается в том же порядке, если $K(\pi_n^*) \geq K(\pi_n)$, то π_n принимается за локальный минимум.

Эффективность описанной процедуры определяется характером введенной метрики. При построении той или иной метрики исходят из чисто интуитивных соображений, поэтому направленный случайный поиск сводится по сути дела к комбинации эвристических методов с методом Монте-Карло.

Так например, в работе [1,4,11] расстояние между перестановками π_1 и π_2 вводится как число нарушений попарного расположения элементов в одной из перестановок относительно другой. Если $\pi_1 = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)$, а $\pi_2 = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)$ то $\rho(\pi_1, \pi_2) = 1$.

В работе [3,2] рассматривается лексикографическая метрика, основанная на

определении для каждой перестановки π некоторой нормы $N(\pi)$, при этом $\rho(\pi_1, \pi_2) = [N(\pi_1) - N(\pi_2)]$.

В работе [5,4] направленный поиск организуется с помощью инверсной метрики, в которой расстояние между π_1 и π_2 определено как количество инверсий в одной из них относительно другой.

Что касается эвристических методов, то последние также могут быть подразделены на подкласс детерминированных эвристических методов и подкласс эвристических методов, использующих статистические подходы. В качестве примера первого из подклассов рассмотрим более подробно алгоритм решения одно маршрутной задачи Беллмана-Джонсона, в которой маршруты обработки всех деталей совпадают и совпадают очередности их выполнения на каждом станке. Эта задача является наиболее изученной, но несмотря на это, в настоящее время отсутствуют эффективные методы решения, особенно для задач большой размерности.

Одно маршрутную задачу называют часто задачей поточного типа, что говорит о целесообразности исследования случаев, когда число деталей велико, а сами детали сравнительно однородны. Решение задачи Беллмана-Джонсона в подобной ситуации позволяет более равномерно загрузить оборудование и сократить время изготовления всех деталей. Учитывая, что при большом числе деталей суммарное время их обработки сравнительно велико, то сокращение его даже на 2÷3% имеет большое значение.

Описанный в работе [6,7] алгоритм наиболее целесообразно применять именно в такой ситуации, когда число деталей велико, а сами детали (т.е. их трудоемкость) сравнительно однородны.

Вся необходимая информация в одно маршрутной задачей задается матрицей $T = [t_{ij}]$ размерности $n \times m$, где n - число деталей; m - число станков (деталей); t_{ij} - время обработки i -й детали на j -м станке (время выполнения j -й операции i -й детали).

Поскольку очередность обработки деталей на станках совпадают, то любое возможное решение задачи однозначно определяется перестановкой $\pi = (i_1, i_2, \dots, i_n)$, состоящей из первых чисел натурального ряда. Решить задачу означает найти такую перестановку

$$\pi^* \in S^{(n)}$$

где $S^{(n)}$ - множество всех перестановок чисел $1, 2, \dots, n$ для которой K_π^n - длительность цикла изготовления деталей, принимает минимальное значение.

Достоинством алгоритма является то, что поскольку предполагается решать задачу приближенно, целесообразно иметь возможность определить, на сколько найденное решение отличается от оптимального. Для этого используется понятие нижней границы решений. Определение точной нижней границы также является весьма сложной задачей, однако для целей достаточно определить нижнюю границу, как:

$$K_{min} = \max_{j=1, m} A_j \quad (1)$$

где $A_j = \sum_{i=1}^n t_{ij}$ - сумма элементов j -го столбца матрицы T .

Пусть строки исходной матрицы T переставлены в произвольном порядке π . Полученную матрицу обозначим $[\tau_{ij}]$. Можно показать, что если π принять в качестве решения задачи, то для абсолютной погрешности решения имеет место оценка

$$K_\pi - K_{min} \leq (m-1)D_\pi - (m-1)t_{max} \quad (2)$$

где $D_\pi = \max_{j=1, m} \max_{l_1, l_2=1, n} \sum_{i=l_1}^{l_2} (\tau_{ij} - \tau_{ij_0}) \quad (3)$

Поэтому приближенное решение одно маршрутной задачи может быть найдено при решении следующей задачи: найти такую перестановку π^* , для которой величина D_π , вычисляемая по формуле (1.3), принимает минимальное значение:

$$D_{\pi^*} = \min_{\pi \in S^{(n)}} D_\pi$$

Для существующих производственных систем (конвейерной, циклической и произвольной) в литературе описано множество точных и приближенных [9,8] алгоритмов для решения задач календарного планирования, которые характеризуются большой размерностью и значительным временем решения задачи.

В последнее время для решения задач управления производством широкое использование получили эвристические методы. Эвристический метод представляет собой упорядоченную совокупность правил, которые в ряде случаев вводятся чисто интуитивным образом или на основе здравого смысла и которые позволяют получить приемлемый результат, считающийся заведомо приемлемым, например, найти «вполне удовлетворительное» решение (или несколько «вполне удовлетворительных» решений) той или иной оптимизационной задачи [7,9]. Важным достоинством эвристических процедур является удобство их реализации на ЭВМ даже при решении сравнительно громоздких задач, а также хорошая возможность имитации производственной системы, поскольку процесс имитации предполагает последовательное создание конфликтных ситуаций, реализуемых посредством правил предпочтения [10].

Из всего вышесказанного следует, что для эффективного решения задачи календарного планирования в условиях оперативности управления производственным процессом необходимо разработать эвристический метод решения данной задачи.

И в заключении важно отметить следующее. Основными вопросами управления производственными системами являются вопросы, связанные с достижением главной цели функционирования производственного подразделения, т.е. выпуска максимального количества продукции заданного качества.

Поэтому главной задачей данной проблемы управления является задача календарного планирования. Решение задачи календарного планирования связано с состоянием ряда внутренних факторов (организационные структуры расстановки рабочих, оборудования, специализация оборудования) организационной среды цеха. Следовательно, для успешного решения задач управления производственными подразделениями требуется комплексное решение задач управления организацией производства и оперативного управления.

Библиографический список

1. Кабулов А.В., Каландаров И.И. Описание архитектуры алгоритмической системы АТЛАС // В сборнике: Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений Сборник докладов VII Международной научно-технической конференции в рамках Уральской горнопромышленной декады. Екатеринбург. 2018. С. 470-475.
2. Kalandarov I.I., Sotiboldiyev S.U., Narzullayev Y.E. Algorithm of the choice of the optimum technological route and the group equipment // ISSN 2350-0328 International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (India) Vol.6, Issue 5, May 2019 P.9066-9070.
3. Kabulov A.V., Normatov I.H., Kalandarov I.I. Algorithmic model of management on the basis of algebra over functioning tables (FT) // ISSN 2308-4804 International scientific journal "Science and World", № 1(17), 2015. - Vol. 1 - P. 10-13
4. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Алгоритмический модели управления сложными системами на основе таблиц функционирования // Сборник статей победителей Международной научно-практической конференция, состоявшейся 15 декабря 2016 г. в г. Пенза, С.66-68
5. Kabulov A.V., Normatov I.X., Kalandarov I.I., Karimov A.A. Algorithmic method of organization of specialized workshops // ISSN:2350-0328 International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (India) Vol. 5, Issue 4 , April 2018 P.5670-5675
6. Каландаров И.И., Бекбутаев С. Algorithm for solving the optimal technological route tasks // ISBN 978-5-6043626-2-4, Общества науки и творчества, сб.ст «Инициатива в науке как

новая развития системы знаний», Казань, 2019, С.270-275

7. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Алгоритмический подход управления сложными системами на примере производственных систем // ДАН АН РУз, г.Ташкент, №1, 2017 С.33-35

8. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Алгоритмическая модель управления на основе алгебры над таблицами функционирования // ISSN 2181-8460 «Проблемы вычислительной и прикладной математики». Центр разработки программных продуктов и аппаратно-программных комплексов (Ташкент) № 2 (4). 2016. С.19-23

9. Kabulov A.V., Normatov I.H., Kalandarov I.I. Algorithmic method of the conversion functioning tables (FT) for control industrial systems. // ISSN 2308-4804 International scientific journal "Science and World", № 8(24), 2015. - Vol. 1 - P. 14-17

10. Каландаров И.И., Бобоев А.А., Меликулов С.Е., Тогаев С.Ф. Микропроцессорная система с распределенным управлением // В сборнике: Образовательная система: вопросы продуктивного взаимодействия наук в рамках технического прогресса сборник научных трудов. Казань, 2019. С. 357-359

11. Кабулов А.В., Каландаров И.И., Болтаев Ш.Т., Сайманов И. Задача синтеза управляющего агрегата для реализации алгоритмов информационной безопасности и криптографии. // Приоритетные направления развития науки и образования сб.ст Международной научно-практической конференции, 2018, г. Пенза С.75-80.

УДК 630.86

ПРИМЕНЕНИЕ ТОРРЕФИКАТА ДЛЯ СБОРА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

САВИНА Т. Е.¹, ЯКУПОВ И. Ш.², КРАЛИН В. С.

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

²ООО «БЕТОН - СЕРВИС»

Аннотация. В настоящее время техногенные катастрофы, связанные с разливом нефтесодержащих продуктов, являются серьезной экологической проблемой. В статье рассматривается получение сорбента из измельченной термомодифицированной древесины и его использование для сбора нефти и нефтепродуктов предпочтительно с водной поверхности.

Ключевые слова: нефтесорбент, гидрофобность, нефтеемкость, экологическая безвредность, рециклирование, торрефикат.

APPLICATION OF TORREFICATE FOR OIL AND OIL PRODUCTS COLLECTION

SAVINA TATYANA EVGENYEVNA¹, YAKUPOV ILSHAT SHAKIRYANOVICH²,
KRALIN VICTOR SERGEYEVICH

¹Ural state mining University

²LLC "CONCRETE - SERVICE"

Abstract. Currently, man-made disasters related to the bottling of oil-containing products are a serious environmental problem. Article considers production of sorbent from ground thermomodified wood. And its use for collecting oil and petroleum products is preferably from the water surface.

Keywords: oilsorbent, hydrophobicity, oilcapacity, ecofriendly, recycling, torrefikat.

Одна из актуальных экологических проблем сегодняшнего времени это загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами. Утечка нефти может произойти во время разведки и добычи, при транспортировке нефти и нефтепродуктов, а также при хранении. Наибольшую опасность представляют разливы нефти.

В результате разлива нефти выделяются токсичные вещества, негативно воздействующие на все живые организмы, для самораспада которых требуются десятки лет. Подобные бедствия пагубно сказываются не только на экологии, но и наносят экономический ущерб.

В настоящее время наиболее эффективным методом ликвидации нефтяных разливов, как показывает мировая практика, является применение сорбентов для очистки поверхности воды и почвы от нефти. Сорбция – процесс поглощения одного вещества (сорбата) поверхностью или всем объемом другого вещества (сорбента). Кроме адсорбционной емкости, гидрофобности, стойкости, плавучести, для нефтесорбентов важны такие показатели, как объемный вес, экологическая безвредность и себестоимость [1].

Нефтяные сорбенты можно разделить на четыре основных класса: минеральные, сорбенты на основе графита, органические природные и синтетические.

В таблице 1 приведено сравнение эффективности нефтяных сорбентов этих классов по следующим характеристикам:

- сорбционная емкость по нефти;
- объемный вес (насыпная плотность);
- экологическая безвредность (биоразлагаемость, рециклирование);
- себестоимость

Таблица 1

Характеристики	Минеральные	Производные (вспененный графит и др.)	Органические природные	Синтетические
1. Сорбционная емкость	+	+++	++	+++
2. Объемный вес	+++	+++	+++	+
3. Экологическая безвредность	+++	+	++	+
4. Себестоимость				

По анализу данных таблицы 1, более перспективными по совокупности характеристик, являются органические сорбенты. К этой группе относятся: продукты из древесины, мох и модифицированный торф, макулатура, шерсть и т.п. Сорбенты на основе природного сырья, хотя и уступают в нефтеемкости синтетическим сорбентам, в большей степени соответствуют экологическим требованиям (биоразложение, утилизация путем сжигания). Недостатки вспененного графита в высокой себестоимости и большом объемном весе.

Высокая нефтеемкость у модифицируемого торфа, мха, а также шерсти, она составляет 8-10 кг нефти на один килограмм сорбента. Кроме того, природная упругость шерсти дает возможность отжимать из неё большую часть легких нефтепродуктов и использовать шерстяной сорбент несколько раз, пока он не пропитывается битумом, после чего его использование становится невозможным. Существенными недостатками являются дороговизна шерсти, недостаток её количества и специфические условия хранения (защита от насекомых и грызунов). Недостатком сорбента из торфа является гидрофильность, для придания гидрофобности возникает необходимость обрабатывать его водоотталкивающими средствами.

В последние годы активно ведутся разработки по получению нефтяных сорбентов на основе возобновляемого сырья –отходов лесной и сельскохозяйственной промышленности. Целлюлозосодержащее растительное сырье интересно тем, что целлю-

лоза имеет сложную надмолекулярную структуру. Структурные элементы - микрофибриллы, образованы несколькими сотнями макромолекул целлюлозы. Микрофибриллы имеют аморфно-кристаллическое строение. Кристаллические участки придают прочность, аморфные – способность к сорбции [2]. Аморфная область целлюлозы в целом формируется поверхностными молекулами её микрофибрилл и их фрагментов, обладающих полимикрокристаллической пористой структурой [3].

Дугой основной составляющей растительной биомассы является лигнин, который обеспечивает жёсткость клеточных стенок и является межклеточным связующим веществом. Структура растительных материалов характеризуется наличием пор, среди которых присутствуют открытые (сообщающиеся) поры-каналы, пронизывающие весь объем, и несообщающиеся поры-ячейки [4].

В качестве эффективных дешёвых сорбентов может использоваться древесный опил, показавший свою эффективность при ликвидации аварий, возникавших в результате разлива нефтепродуктов на водных объектах. Полученные данные [5] показывают, что более высокой сорбционной ёмкостью обладает сосновый опил с размером частиц 1-2 мм. С увеличением влажности опила более 20%, его сорбционная способность по нефти снижается при любой дисперсности.

Одним из основных недостатков органических сорбентов связанным с их использованием на водной поверхности является низкая гидрофобность и как следствие низкая плавучесть материала. Отсутствие гидрофобности также снижает способность сорбента поглощать нефть вследствие высокого поглощения воды. Перспективным направлением в области развития гидрофобности материалов является модификация их поверхности, в частности физическая, заключающаяся в термообработке. Гидрофобность поверхности обеспечивает плавучесть материала, а это определяющее качество сорбентов, которые используются для сбора нефти на воде.

Для получения термомодифицированных частиц древесины на основе опила и щепы была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка конвекционного типа, 1500x1200x1500. Гравитационное перемешивание в замкнутой камере достигается вращением барабанов, рис. 1.

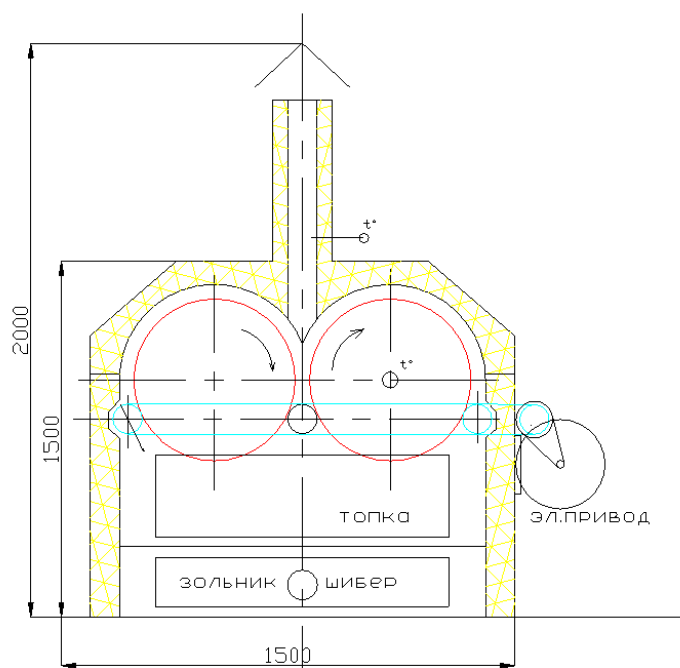


Рисунок 1 – Схема установки

В отличие от установок подобного типа, сушка, термомодификация и остывание продукта происходят в одной камере. Установка применялась для получения торрефиката (torrefy - обжигать, сушить) из опила и щепы сосны, ели, березы, осины, рис. 2.



Рисунок 2 – Установка для термомодификации древесины

Продолжительность цикла термомодификации для различных древесных пород представлена в таблице 2.

Таблица 2

Древесное сырье, влажность 60-90%	Продолжительность цикла, мин.			Итого, мин.
	Вид частиц	Размер частиц		
ОПИЛ				
Ель	45-60	25-30	60	130-150
Сосна	45-55	25-35	60	130-150
Береза	55-65	30-40	60	145-165
Осина	55-60	25-35	60	140-155
ЩЕПА, максимальный размер 10x20x50 мм				
Ель	55-65	30-35	60	145-160
Сосна	60-65	30-35	60	150-160
Береза	65-70	35-40	60	160-170
Осина	55-60	30-35	60	145-150

На рисунке 3, 4 показаны готовые продукты, полученные на установке из щепы и опила сосны.



Рисунок 3 – Термомодифицированная щепа



Рисунок 4 – Термомодифицированный опил

На рисунке 5 рассматривается термомодифицированная частица опила сосны, увеличенная в 500 раз.

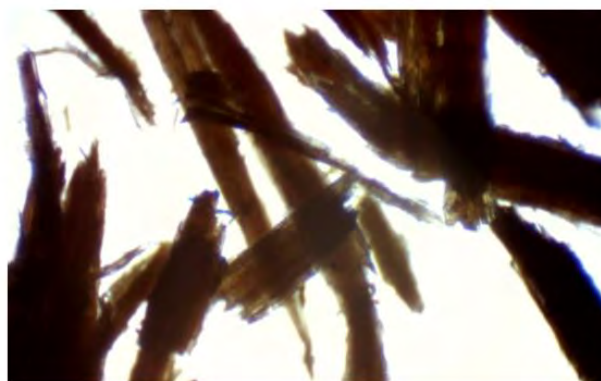


Рисунок 5 –Частица термомодифицированный опила

Образцы различных термомодифицированных древесных частиц использовались для замера пор и определения нефтеемкости. В качестве нефтепродукта было использовано отработанное масло 10W-40 Лукойл. В результате физико химических преобразований при испарении влаги во время термообработки продукт приобрел гидрофобные свойства. Нефтеемкость образцов торрефиката представлена в таблице 3.

Таблица 3

Порода древесины	Вид частиц	Размер частиц	Нефтеемкость, т/т (масса др. частиц/1т нефтепродуктов)
Осина	опил		2,7
Осина	щепа	7-10мм	2,9
Береза	опил		2,9
Береза	щепа	7-10мм	3,15
Сосна	опил		3,1
Сосна	щепа	7-10мм	3,3
Ель	опил		3,2
Ель	щепа	7-10мм	3,4

Как показали исследования, нефтепоглощение в большей степени происходит не за счет внутренних пор, а за счет огромного количества целлюлозных волокон по наружному периметру термомодифицированного продукта, на которые налипают большие молекулы нефтепродуктов, т. е. за счет адгезии. Нефтеемкость образцов от 3,0 тонн нефти на 1 тонну термомодифицированных древесных отходов следует считать экономически целесообразной.

Библиографический список

1. Горожанкина Г.И., Пинчукова Л.И. Сорбенты для сбора нефти: сравнительные характеристики и особенности применения. Трубопроводный транспорт нефти. 2000. № 4. - С. 12-17.
2. Кудайбергенов К.К. [и др.] Углеродные сорбенты для ликвидации аварийных разливов нефти // Физика и химия углеродных материалов. Нанотехнология: материалы VI Международного симпозиума. – Алматы, 2010. - С. 119-122. 47.
3. Л.Г.Смирнова [и др.] Изучение структуры и сорбционных свойств некоторых видов целлюлозы // Коллоидный журнал. - 2003. - Т. 65, № 6. С. 11-14.

4. С. Ф. Якубовский [и др.] Особенности микроструктуры отходов сухой окорки сосны как сырья для получения нефтяных сорбентов // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. - 2011. - N 11. С. 154-15.

5. Филина Н.А. Исследование сорбционных свойств древесных отходов для сбора нефтепродуктов с последующей утилизацией их в виде топливных брикетов/ Н.А. Филина, С.Я. Алибеков// Экология и промышленность России. - 2012. - №4. С.56-58.

УДК 502.3

АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ ВЫБРОСОВ ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ, СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩИХСЯ НА ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ ГРАНИТА

ДОРОФЕЕВА О. Ю.¹, МОСКВИНА О. А.¹, ЦЕЙТЛИН Е. М.¹
¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Аннотация. Анализ эффективных вариантов пылеулавливания выбросов дробильно-сортировочных комплексов предприятий нерудной промышленности, специализирующихся на добыче и переработке гранита.

Ключевые слова: гранит, дробильно-сортировочный комплекс, выброс, пылеулавливание.

ANALYSIS OF EQUIPMENT FOR DUST COLLECTION OF EMISSIONS THE CRUSHING AND SCREENING SYSTEMS MINING ENTERPRISES SPECIALIZING ON EXTRACTION AND PROCESSING OF GRANITE

DOROFEEVA O. U.¹, MOSKVINA O. A.¹, TSEYTLIN E. M.¹
¹Ural State Mining University

Annotation. Analysis of effective options for dust collection of emissions from crushing and sorting complexes of non-metallic industry enterprises specializing in the extraction and processing of granite.

Keywords: granite, crushing and sorting complex, emission, dust collection.

Гранит является одной из самых плотных, твёрдых и прочных пород [1]. Широко используется в строительстве и как декоративный камень. Гранитный щебень применяют для фундаментных работ, для бетонов, в производстве железобетонных изделий, при строительстве дорог.

Предприятия нерудной промышленности, специализирующиеся на добыче и переработке гранита, осуществляют разработку месторождений строительного камня открытым способом с применением буровзрывных работ. Добытая горная масса из карьеров транспортируется карьерными автосамосвалами или железнодорожным транспортом на переработку в дробильно-сортировочные комплексы. Продуктом переработки строительного камня являются щебень различных фракций, а также дробленый песок.

Дробильно-сортировочные комплексы предприятий нерудной промышленности предназначены для дробления руды, сортировки по крупности дробления, получения и отгрузки готовой продукции. На всех этапах технологического процесса при дроблении, грохочении, сортировки на фракции, транспортировке материала в атмосферный воздух выделяется пыль неорганическая с содержанием 70-20% SiO₂. Места образования и выделения пыли на дробильно-сортировочном и конвейерном оборудовании в

соответствии с действующим природоохранным законодательством должны быть оснащены аспирационными системами [2].

Цель исследования: анализ эффективных вариантов пылеулавливания выбросов дробильно-сортировочных комплексов предприятий нерудной промышленности, специализирующихся на добыче и переработке гранита.

Объектом исследования является модель горного предприятия (далее – МГП), созданная в рамках данной работы. Для создания МГП использованы следующие критерии: предприятие относится к субъектам крупного предпринимательства, является юридическим лицом, имеет лицензию на разработку недр и зарегистрировано на территории Свердловской области. Статистические данные, по результатам которого была создана МГП, выбирались из открытых данных сайта Федеральной налоговой службы РФ и сайта Управления Федеральной службы государственной статистики по Свердловской области и Курганской области, Публичных реестров объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду (НВОС) [3, 4].

Анализ вариантов эффективного пылеулавливающего оборудования для МГП был проведен по ключевым категориям: эффективность, среднерыночная стоимость, срок эксплуатации.

По данным на март 2020 г. на территории Свердловской области зарегистрировано 130 действующих организаций с основным видом деятельности – добыча декоративного и строительного камня, известняка, гипса, мела и сланцев (ОКВЭД 08.11). Из них 25 предприятий относятся к субъектам крупного предпринимательства (19% от общего числа) [3]. Анализ Публичных реестров объектов ОНВ показал, что только 4 предприятия из 25 внесено в реестры (16% от общего числа), при этом в их составе находится от 1 до 4 объектов НВОС II и III категории [4]. Таким образом, в качестве МГП использовано предприятие, добывающее строительные материалы, срок действия лицензии на разработку недр которого составляет 20 лет. В составе рассматриваемой модели горного предприятия имеется 2 объекта НВОС II категории. Исходя из вида деятельности, в выбросах предприятия присутствуют загрязняющие вещества 21 наименования. Выброс загрязняющих веществ осуществляется из 22 организованных и 58 неорганизованных источников выбросов. Исходя из состава добываемого природного материала загрязняющим веществом, вносящим наибольший вклад в уровень загрязнения атмосферы (64 % от общего валового выброса) является пыль неорганическая: 70-20 % SiO_2 . Пылегазоочистным оборудованием оснащены 14 источников выбросов.

В современных технологиях цели очистки газов и улавливания содержащихся в них примесей для последующей утилизации часто объединяются. Соответственно, при проектировании технологических процессов и обосновании использования тех или иных аппаратов для газоочистки решаются две глобальные задачи [5]:

- обеспечение высокой эффективности очистки от загрязняющих веществ;
- уловленные при газоочистке вещества должны с минимальными дополнительными затратами направляться на утилизацию.

При выборе пылегазоочистных устройств (ПГОУ) определяющими параметрами являются:

- эффективность работы;
- расход исходных материалов (поглотителей, сорбентов) и количества получаемых в процессе очистки продуктов (уловленных загрязнителей);
- оптимальный режим работы и соответствующая ему рабочая поверхность или рабочий объем аппарата;
- основные конструктивные размеры аппарата;
 - энергозатраты на реализацию процесса очистки.

Таблица 1 – Обзор пылеулавливающего оборудования для заданной МГП на примере аппаратов сухой газоочистки.

Название аппарата	Размер улавливаемых частиц пыли	Эффективность пылеулавливания	Средний срок эксплуатации оборудования	Среднерыночная стоимость оборудования (на 2020 год)	Достоинства	Недостатки в использовании на ДСК, перерабатывающих гранит
Пылеосадительные камеры	50 мкм	40-50 %	10 лет с учетом соблюдения правил эксплуатации и условий обслуживания	от 15 тыс. руб до 500 тыс. руб. в зависимости от производительности	простота конструкции, низкое гидравлическое сопротивление (низкие энергозатраты)	могут применяться только в качестве первой предварительной стадии очистки газов от крупнодисперсных частиц
Инерционные (жалюзийные) пылеуловители	Более 30 мкм	до 90 %	10 лет с учетом соблюдения правил эксплуатации и условий обслуживания	от 30 тыс. руб. до 500 тыс. руб. в зависимости от производительности	простота конструкции, большая эффективность очистки по сравнению с пылеосадительными камерами	высокое гидравлическое сопротивление, абразивный износ жалюзи, могут применяться только в качестве первой предварительной стадии очистки газов от крупнодисперсных частиц
Центробежные пылеуловители (циклоны)	Больше 5-10 мкм	80-95 %	более 10 лет с учетом соблюдения правил эксплуатации и условий обслуживания	от 25 тыс. руб. до 700 тыс. руб. в зависимости от типа и производительности	простота конструкции и надежность в работе, высокая эффективность очистки	невысокая стойкость к абразивному износу
Фильтрующие пылеуловители (рукавные фильтры)	0,5 мкм и более	99,9 % и выше	более 10 лет с учетом соблюдения правил эксплуатации и условий обслуживания	от 200 тыс. руб. до 10-ков млн. руб в зависимости от производительности комплектации	высокая эффективность очистки от высокодисперсной пыли	быстрый износ тканей и закупорка пор, влекущее резкое увеличение гидравлического сопротивления
Аппараты электрической очистки газов (электрофильтры)	частицы любых размеров, включая субмикронные	до 99 %	более 15 лет с учетом соблюдения правил эксплуатации и условий обслуживания	от 800 тыс. руб. до 10-ков млн. руб. в зависимости от производительности комплектации	могут применяться при концентрации частиц в газе от 50 г/м ³ , возможна автоматизация процесса очистки, низкие энергозатраты	работа только на постоянном токе, степень очистки газа зависит от проводимости пыли

Зачастую, при проектировании ПГОУ используют упрощенный порядок расчета, произведенный на выборе типовых конструкций аппаратов на основе их паспортных данных (эффективность очистки, расход очищаемого газа, конструктивные параметры, энергозатраты) и заданных (требуемых) параметров проектируемой установки газоочистки [4].

Обзор пылеулавливающего оборудования по перечисленным параметрам работы для заданной МГП на примере аппаратов сухой газоочистки приведен в таблице 1.

Результаты исследования показали, что выбор оборудования для пылеулавливания выбросов дробильно-сортировочных комплексов по ключевым категориям зависит от необходимой степени очистки запыленного воздуха и, главным образом, от технической возможности внедрения того или иного оборудования на предприятии. Для рассматриваемой МГП было выбрано оборудование сухой газоочистки, вследствие того, что цеха дробильно-сортировочного комплекса в зимнее время не отапливаются, а значит установка аппаратов мокрой очистки газов невозможна. При проектировании оборудования наиболее оптимальным вариантом стали фильтрующие пылеуловители (рукавные фильтры типа ФТОР с системой регенерации рукавов импульсами сжатого воздуха).

Современное законодательство в области охраны атмосферного воздуха определяет достаточно жесткие условия функционирования горных предприятий. Несоблюдение требований законодательства в области охраны атмосферного воздуха может иметь катастрофические последствия, вплоть до приостановки деятельности горных предприятий. При этом, соблюдение требований законодательства приводит к значительному увеличению затрат.

Библиографический список

1. Геологический словарь: в 2-х томах/ Х. А. Арсланова, М. Н. Голубчина, А. Д. Искандерова и др. М.: Недра, 1978.
2. Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 №96-ФЗ (п.7 ст.16).
3. Федеральная налоговая служба России – Сведения о государственной регистрации юридических лиц и ИП [Электронный ресурс] URL: <https://egrul.nalog.ru/index.html>;
4. Публичный реестр объектов негативного воздействия на окружающую среду - Программно-техническое обеспечение учета объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду [Электронный ресурс] URL: <https://onv.fsgrn.ru/>;
5. Курс лекций по дисциплине «Процессы и аппараты защиты окружающей среды»: Часть 1 / сост. И. Г. Кобзарь, В. В. Козлова. Ульяновск: УлГТУ, 2007. 68 с.

Научное издание

Уральская горнопромышленная декада, 2-11 апреля 2020 года, г. Екатеринбург

IX Международная научно-техническая конференция
«ИННОВАЦИОННЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ
ПРИ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ
И НЕРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ»

6-7 апреля 2020 г.

Сборник докладов

Ответственный за выпуск
доктор технических наук, профессор Н. Г. Валиев

Редактор изд-ва *Л. В. Устьянцева*
Компьютерная верстка *Э. В. Шорина, В. В. Франц*

Подписано в печать
Печать на ризографе. Бумага писчая. Формат 60 × 84/8.
Усл. печ. л. 35,456. Уч.-изд. л. 18,44. Тираж 120. Заказ.

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет

Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ