

“Проблемы подземного строительства и направления развития  
тампонажа и закрепления горных пород”

Восточноукраинский национальный университет  
имени Владимира Даля  
Антрацитовский факультет горного дела и

## Проблемы подземного строительства направления развития тампонажа и закрепления горных пород



Материалы  
научно-практической конференции  
30 - 31 марта 2006 г.

2006

г. Антрацит

*Восточноукраинский национальный университет  
имени Владимира Даля  
Антрацитовский факультет горного дела и транспорта*

*30 л е т и ю  
Научной школы по тампонажу и  
закреплению горных пород  
П О С В Я Щ А Е Т С Я*

**ПРОБЛЕМЫ ПОДЗЕМНОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА И НАПРАВЛЕНИЯ  
РАЗВИТИЯ ТАМПОНАЖА И  
ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

*Материалы  
научно-практической конференции  
30 - 31 марта 2006 г.*

г. Антрацит

УДК 622.25:622.235

Д 64

Проблемы подземного строительства и направления развития тампонажа и закрепления горных пород: Материалы научно-практической конференции. – Луганск: Изд-во Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, 2006. - 221с.

В материалах докладов изложен круг актуальных проблем подземного строительства и направления дальнейшего развития тампонажа и закрепления горных пород, разработка и использование прогрессивных технологий в шахтном и подземном строительстве, создание образцов новой техники, опыт организации подземного строительства.

Материалы докладов представляют интерес для научных работников, проектировщиков, производственников, аспирантов и студентов, занимающихся вопросами проведения горных выработок, тампонажа и закрепление горных пород.

Материалы сборника печатаются языком оригинала в авторской редакции.

Сборник печатается в соответствии с решением Ученого совета Восточноукраинского национального университета им. В. Даля. (протокол № 9 от 28 апреля 2006 г.)

*Редакционная коллегия*

Рябичев В.Д., к.т.н., (главный редактор); Должиков П.Н., д.т.н, проф. (ответственный секретарь); Кипко Э.Я., д.т.н., проф.; Гребенкин С.С., д.т.н., проф., Попов И.В., к.т.н.; Сбитнев В.П., к.т.н., доц.; Смородин Г.М., к.т.н.

**ISBN**

ВНУ им. В. Даля, 2006



*Участникам международной  
научно-практической конференции*

*«Проблемы подземного  
строительства и направления  
развития тампонажа и  
закрепления горных пород»*



**АНТРАЦИТ**

## ***Дорогие друзья!***

*От имени Восточнoукраинского национального университета имени Владимира Даля сердечно поздравляю Вас с открытием международной научно-практической конференции «Проблемы подземного строительства и направления развития тампонажа и закрепления горных пород».*

*От всей души выражаю слова искренней признательности всей **Научной школе по тампонажу и закреплению горных пород** за организацию конференции и поздравляю ее с **30-летием научной деятельности**.*

*Ваши научные труды, конструкторские разработки и высокие производственные показатели по достоинству оценены в нашей стране и далеко за ее пределами. Мне приятно отметить, что всемирно известный **Комплексный метод тампонажа обводненных горных пород** сегодня получил дальнейшее развитие в нашем университете на кафедре горного дела. Я выражаю уверенность, что профессорско-преподавательский состав кафедры горного дела продолжит лучшие традиции Научной школы в науке и подготовке людей уникальной профессии горных инженеров. Все Ваши научные и педагогические достижения послужат делу развития угольной промышленности и, в особенности, нашей родной Луганщины.*

*Надеюсь, что Ваша научно-практическая конференция внесет свой вклад в развитие новых технологий в горном деле, а каждого участника обогатит новыми знаниями, повысит целеустремленность и трудолюбие, даст новые ориентиры и направления в научной и практической работе для процветания Украины.*

*Искренне желаю Вам плодотворной работы, успешных докладов и заседаний, наполненных творчеством, поиском и результатами в развитии горного дела.*

*С уважением  
Ректор  
Восточнoукраинского национального  
университета им. Владимира Даля,  
докт. техн. наук, профессор*



*А.Л. Голубенко*

*30 марта 2006г.*

## СОДЕРЖАНИЕ

		стр.
1. Кипко Э.Я., Должиков П.Н.	Истоки и направления развития научной школы по тампонажу и закреплению горных пород	9
2. Шашенко А.Н., Роечко А.Н., Солодянкин А.В.	Центры подготовки и Научные школы шахтостроителей Украины	14
3. Власов С.Ф.	Научная школа по струйному закреплению дисперсных пород	22
4. Страданченко С.Г., Шубин А.А., Легостаев С.О.	Исследование деформационных свойств закладочного материала на основе фиброаполнителя	29
5. Тельних Н.Н., Попов А.В. Цаплин Е.Г., Комашнев В.Н.	Новая технология усиления существующих фундаментов	33
6. Дмитриенко В.А., Романова М.И., Бадалян Г. Г.	Особенности упрочнения глинистых грунтов тампонажными составами.	41
7. Должиков П.Н., Рябичев В.Д., Пронский Д.В., Сбитнев В.П.	Промышленный эксперимент по тампонажу анормальных зон в теле дамбы шламоотстойника	46
8. Цаплин Е.Г.	Оценка скорости миграции токсичных веществ в глиноцементных тампонажных растворах	51
9. Спичак Ю.Н., Линник Г.О.	Новый способ гидроизоляции действующих железнодорожных тоннелей	56
10. Должиков П.Н., Сморозин Г.М.	Особенности предварительного тампонажа обводненных пород на малых глубинах	62
11. Харьковский Б.Т., Свистун Т.В.	О возможности использования глинистой фракции породных отвалов в тампонажных растворах	67
12. Должиков П.Н., Шубин А.А.	Эффективные способы тампонажа и закладки крупных подземных пустот	69

13. Дмитриенко В.А.,  
Бауэр М.А.,  
Казак О.Ю. Оценка точности определения пластической 75  
прочности растворов коническим пластомером
14. Попов И.В.,  
Рябичев В.Д. О начальном градиенте фильтрации 81  
глиноцементных тампо-нажных растворов
15. Попов И.В.,  
Кипко А.Э. Изменение реологических и структурно-механи- 88  
ческих характеристик глиноцементных растворов в  
процессе тампонажа трещиновато-пористых горных  
пород
16. Должиков П.Н.,  
Сбитнев В.П., Перспективы и основные направления применения 94  
геофизических методов исследования горного  
массива
17. Должиков П.Н.,  
Маслов В.Л. Опыт проектирования и проведения природо- 98  
охранных мероприятий при закрытии угольных  
шахт Донбасса
18. Пронский Д.В.,  
Должиков Ю.П. Критерии моделирования и экспериментальный 102  
стенд для исследования процесса тампонажа  
аномальных зон горного массива
19. Новик Е.Б.,  
Пшеничный Ю.А. Опыт водоизоляции бетонной крепи вертикальных 106  
стволов на объектах ГОАО «Грест Донецк-  
шахтопроходка»
20. Соболев Е.Г.,  
Должиков П.Н.,  
Кипко А.Э. Магнитодинамическая интроскопия горного масси- 114  
ва – новое направление в горной геофизике.
21. Шашенко А.Н.,  
Солодянкин А.В.,  
Гапеев С.Н.,  
Гавриш А.К.,  
Терещук Р.Н.,  
Хозяйкина Н.В.,  
Пашко А.Н. Компьютерное моделирование геомеханических 118  
процессов
22. Савенко А.И.,  
Хорошавин В.А. Изменение упругодеформированного состояния 130  
кровли ликвидированных горных выработок в усло-  
виях трещинно-порового характера фильтрации  
подземных вод

23. Страданченко С.Г.,  
Прокоров А.Ю.,  
Басакевич С.В. О возможности применения анкер-инъекторных конструкций для крепления элементов армировки и упрочнения породного массива 132
24. Бабиюк Г.В.,  
Диденко М.А. Шахтные исследования развития зоны неупругих деформаций вокруг проводимой горной выработки 137
25. Чесноков А.В.,  
Чесноков В.В.,  
Косоногова Л.Г.,  
Должиков Ю.П. Разработка новой конструкции анкерной полимерной крепи на основе высокопрочных жгутов и оборудования для ее изготовления 145
26. Борщевский С.В.,  
Дрюк А.А.,  
Сиравчев А.Ж. К вопросу об увеличении водонепроницаемости монолитной бетонной крепи вертикальных стволов большого диаметра 152
27. Соловьев Г.И.,  
Гребенкин С.С.,  
Толкачев А.Ф.,  
Гребенкина А.С.,  
Мальшева Н.Н.,  
Соловьев Д.Г.,  
Панфилов Ю.Н.,  
Ковшевский А.П. Обеспечение устойчивости конвейерного штрека продольно-балочной крепью усиления в зоне влияния очистных работ 162
28. Барташевский С.Е.,  
Чубенко А.Н. Повышение эффективности организации горно-подготовительных работ на базе совершенствования обменно-транспортных операций 167
29. Пивень Ю.А. Технические решения по расположению и проведению вентиляционных штреков при подготовке крутых угольных пластов 169
30. Петренко Ю.А.,  
Новиков А.О.,  
Овчаренко Н.А. Оценка влияния выпуска породы при перекреплении выработок на их последующую устойчивость 173
31. Петренко Ю.А.,  
Гребенкин А.С.,  
Касьян Н.Н.,  
Новиков А.О. Способ сохранения устойчивости выработок на основе активного управления напряженно-деформированным состоянием вмещающего массива («крепь-охрана») 177
32. Негрей С.Г. Результаты испытаний способа предотвращения вторичного пучения пород почвы горной выработки 181



33. Плешко М.С.,  
Армейсков В.Н. Исследование различных способов анкерного уп- 185  
рочнения монолитной бетонной крепи вертикаль-  
ных стволов на численных моделях
34. Сахно И.Г. Оценка эффективности армировки слоистого пород- 189  
ного массива анкерной крепью
35. Косарев В.В.,  
Мизин В.А. Новая проходческая техника ДОНГИПРО- 195  
УГЛЕМАША для решения задач своевременной и  
качественной подготовки фронта очистных работ
36. Мизин В.А.,  
Сытник А.В.,  
Данилов Н.Н. Опыт создания поддирочно-погрузочных машин 204
37. Соловьев Г.И. Особенности взаимодействия продольно-балочной 211  
каркасной крепи усиления с породами кровли на  
контуре подготовительной выработки
38. Войлов Ю.Г.,  
Базовой М.Н. Повышение надежности передачи информации по 216  
сети 0,4 кВ программно-алгоритмическими мето-  
дами

## **ИСТОКИ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ПО ТАМПОНАЖУ И ЗАКРЕПЛЕНИЮ ГОРНЫХ ПОРОД**

*Э.Я. Кипко, П.Н. Должиков,  
Антрацитовский факультет горного дела и транспорта,  
ВНУ им. В.Даля, г. Антрацит*

При строительстве горнодобывающих предприятий выполняются большие объемы работ по проведению горных выработок. В большинстве случаев строительные работы выполняются в обводненных условиях. Поэтому технологический процесс проведения горных выработок предусматривает разработку и осуществление мероприятий по предупреждению и ликвидации притоков подземных вод в выработки. Эффективное применение спецспособов проходки в значительной мере определяет сроки и технико-экономические показатели строительства шахт в целом.

На протяжении десятилетий совершенствованием и созданием новых специальных способов проведения горных выработок занимались многочисленные институты и коллективы ученых, среди которых приоритетное место занимало предприятие нового типа – объединение «Спецтампонажгеология». Коллектив ученых и высококвалифицированных инженеров под руководством доктора технических наук, профессора Кипко Эрнеста Яковлевича, в результате выполнения большого объема научно-исследовательских работ в области подземной гидродинамики, физико-химии и реологии тампонажных растворов, а также конструкторских и тематических работ по созданию прогрессивных методов изоляции напорных водоносных горизонтов научно обосновал, разработал и широко внедрил новый комплексный метод тампонажа (КМТ) обводненных горных пород при строительстве и эксплуатации горнодобывающих предприятий. В основу КМТ положено применение новых, универсальных в широком диапазоне гидрохимизма подземных вод глиноцементных растворов.

Объединение «Спецтампонажгеология» было создано по решению Министерства угольной промышленности СССР в 1980 году в г. Антрацит на основе геологоразведочного управления. На СТГ были возложены функции головного предприятия по научно-исследовательским, проектным и тампонажным работам в системе Минуглепрома СССР, генеральным директором объединения был назначен Э.Я. Кипко. Именно высокий статус предприятия определил и его структуру, и его прогрессивность. СТГ, как предприятие нового типа, выполняло работы от формулировки технической идеи до ее реализации и контроля качества работ.

В структуру СТГ, насчитывающего около 3000 человек, входили пять управлений по буровым и тампонажным работам, расположенные в городах Антрацит, Красный Луч, Ровеньки, Краснодон и выполняющие работы на всей территории СССР. Флагманом объединения было Специализированное

шахтостроительное управление по научно-исследовательским, проектно-конструкторским и строительным работам.

Именно СШСУ работали ученые и самые высококвалифицированные инженеры – около 300 человек, которые определяли имидж и техническую политику объединения. Здесь работали четыре современные лаборатории, аналитический и информационно-патентный отделы, научно-техническая библиотека, проектные и конструкторские отделы. Научные и конструкторские разработки СШСУ позволили создать систему полных инженерных, технических и экономических расчетов по параметрам и процессам водоизоляции, составляющих основу комплексного метода тампонажа.

Приоритетные направления деятельности СТГ включали в себя: горное, промышленное и гражданское строительство, охрану окружающей среды, реконструкцию угольной отрасли.

Наиболее широкое промышленное внедрение КМТ находит при проходке вертикальных шахтных стволов в условиях трещиноватых обводненных горных пород. Первыми триумфальными работами по применению КМТ в горном строительстве были работы на шахте-новостройке «Нагольчанская» № 1-2 в г. Антрацит.

Успех нового метода тампонажа позволил широко развить данное направление работ и применить на шахтах «Должанская - Капитальная», «Ждановская - Капитальная»; им. Вахрушева, «Западная - Капитальная», «Краснокутская», им. Засядько, им. Космонавтов и многих других. Всего протампонировано около 300 вертикальных стволов и много других горных выработок.

Общие объемы тампонажных работ, выполняемых СТГ ежегодно, возрастали. Одновременно объединение работало на 20-25 производственных участках, при этом средний годовой объем приготовленного и закачанного тампонажного раствора на строящихся объектах составлял 220-250 тыс. м<sup>3</sup>, а объем буровых работ составлял 60-70 тыс. погонных метров. Такие масштабы производства, грандиозность проектов и успехи в их реализации принесли объединению всемирную известность и несомненный авторитет среди специалистов и зарубежных тампонажных фирм.

За всеми успехами объединения стояла кропотливая, ежедневная, творческая работа всего многотысячного коллектива. Благодаря организаторскому таланту Э.Я. Кипко, в городе Антраците трудились известные ученые и специалисты, среди которых необходимо отметить огромный вклад в общее дело Акульшина Г.Г. (главный инженер), Лиенко Н.А. и Филиппева Е.С. (заместители генерального директора), Венгерова А.С. (главный геолог), Сухова В.К. и Минко Ф.Ф. (производственный отдел), Скобелкина В.И., Тельных Н.Н. и Ткаченко С.И. (ШСУ № 1), Саламатова С.М., Кондратьева А.Н. и Лушниковой О.Ю. (ШСУ № 2), Скалыги В.И. и Копыл Н.И. (ШСУ № 3), Андрийчук Н.Ф. (ШСУ № 4), Лагунова В.А., Спичака Ю.Н., Попова И.В., Попова А.В., Смородина Г.М., Литовченко В.Н., Кипко А.Э., Должикова П.Н. (СШСУ) и многих других. Научно-производственный коллектив объединения трудился с энтузиазмом, круглосуточно, без выходных,



Учасники міжнародної научно-практичної конференції  
г. Антарцит, 2006



выполняя важные производственные задачи на 150-180% от плана. Многие трудовые успехи объединения были отмечены Минуглепромом СССР: награждением переходящим Красным Знаменем, награждением работников правительственными орденами, медалями и почетными грамотами. В 1983 году группе ведущих специалистов объединения – Кипко Э.Я., Полозову Ю.А., Лагунову В.А., Лушниковой О.Ю., Попову И.В. была присуждена Государственная премия СССР в области науки и техники.

Генеральный директор объединения Э.Я. Кипко, совмещая свою научно-трудовую деятельность, более 20 лет работал профессором кафедры шахтного и подземного строительства Шахтинского филиала Новочеркасского политехнического института. За эти годы им была создана научная школа по борьбе с подземными водами в горном деле. Лучшие сотрудники объединения обучались в аспирантуре НПИ и затем защищали кандидатские диссертации в Москве, Туле и Днепрпетровске. Под руководством Кипко Э.Я. были защищены 24 кандидатские диссертации. В СТГ подготовлены и успешно защищены 6 докторских диссертаций: Кипко Э.Я. (1974 г.), Спичак Ю.Н. (1987 г.), Полозов Ю.А. (1989 г.), Лагунов В.А. (1992 г.), Лушников О.Ю. (1986 г.), Должиков П.Н. (1999 г.). Учеными тампонажниками опубликованы более 800 научных работ, в том числе 15 монографий, получены около 100 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Научная школа и ее научные труды широко известны во всем мире, на протяжении многих лет «Спецтампонажгеология» входила в Международную ассоциацию по шахтным водам (IMWA). Используя опыт работ СТГ, сегодня широко применяется КМТ в горном деле в Польше, Китае, России.

Благодаря неустанному, творческому труду Научной школы КМТ получил значительное развитие и расширение области применения. Кроме угольной промышленности и градостроительства он применялся в горно-химической отрасли, цветной металлургии, на карьере «Мир» объединения «Якуталмаз», на строительстве Байкало-Амурской магистрали, на строительстве Днепрпетровского метрополитена. Наиболее широкое внедрение КМТ получил при предварительном тампонаже горных пород вокруг горных выработок, ликвидации остаточных водопритоков в шахтные стволы и горизонтальные выработки, ликвидации погашенных горных выработок, укреплении массивов неустойчивых горных пород, ремонте плотин, шламохранилищ и хвостохранилищ обогатительных фабрик, решении экологических проблем горнодобывающих регионов. И это все огромная заслуга Научной школы по тампонажу и закреплению горных пород.

В последние годы в связи с реструктуризацией угольной отрасли объемы производства СТГ резко сократились, работы полностью прекращены. Однако были организованы новые предприятия, например, ООО «Тисса», ООО «Геотехника», ООО «Сфера», ООО «А+ЛТД», в основе работы которых лежат теоретические положения, разработки и технологии КМТ. На этих предприятиях продолжается дальнейшее развитие и совершенствование тампонажных работ. Научная школа по борьбе с подземными водами продолжает свою деятельность на Антрацитовском факультете горного дела и транспорта Восточноукраинского нацио-

нального университета им. В. Даля на кафедре горного дела, руководимой профессором Должиковым П.Н.

Сегодня практически все сотрудники кафедры горного дела вышли из Научной школы по тампонажу и закреплению горных пород. Здесь продолжают лучшие традиции, научные и конструкторские разработки по развитию КМТ. Наша кафедра молодая, однако, только за последние 2 года мы опубликовали 64 научные работы, из которых 8 монографий. В следующем году на кафедре открывается аспирантура, где будет продолжена подготовка кандидатов наук. Сегодня есть определенные трудности с бюджетным финансированием научных работ, однако мы работаем по хозяйственным договорам на выполнении НИР и договорам о научно-техническом содружестве. В высоком научном потенциале кафедры горного дела заложен успех развития Научной школы, созданной проф. Кипко Э.Я.

Приятно отметить, что за время работы Должикова П.Н. профессором кафедры строительных геотехнологий и горных сооружений Донбасского государственного технического университета и там выполнен большой объем НИР по современной горной тематике, подготовлены две кандидатские и одна докторская диссертация на основе КМТ.

В этом плане сегодня идет процесс объединения научных усилий наших кафедр, обмен опытом, взаимная поддержка материально-технической базой. И это, несомненно, даст эффективный результат в научной и педагогической работе.

Анализ современных научных проблем горного дела и успехов ученых, воспитанников Кипко Э.Я., показал, что КМТ сегодня развивается по следующим направлениям.

На кафедре горного дела АФГТ ВНУ им. В.Даля под руководством профессора Должикова П.Н.:

- разработка комбинированного способа ликвидации техногенно-активизированных пустот вокруг горных выработок;
- обоснование технологических параметров тампонажа аномальных зон в породных массива вязкопластичными растворами;
- выявление геодинамических зон породного массива и контроль качества их тампонажа геофизическими методами;
- обеспечение инженерной и экологической безопасности территорий вокруг ликвидируемых выработок закрываемых шахт;
- разработка комбинированного способа устройства противооползневых конструкций на гидротехнических сооружениях и откосов карьеров.

Под руководством профессора Спичак Ю.Н. в ООО «А+ЛТД» развиваются направления:

- создание инженерных барьеров и ПФЗ вокруг протяженных горных выработок на основе высокоэффективных ресурсосберегающих тампонажных растворов;
- обоснование технологических параметров противотрационных барьеров при строительстве и эксплуатации хранилищ радиоактивных и токсичных отходов;

- применение КМТ в условиях сейсмической активности.

Успешно развиваются научные работы под руководством к.т.н. Попова А.В. в ООО «Тисса» по совершенствованию составов тампонажных растворов: укреплению просадочных работ в основаниях фундаментов зданий и сооружений методом инъекционного уплотнения. Это далеко не полный перечень новых направлений работ.

Конечно же, такой объем научных разработок и их востребованность и внедрение на горных и строительных объектах говорит о высокой перспективности КМТ, о его будущем, о будущих кандидатах и докторов наук, которые свой труд, своим знания посвятят развитию специальных способов строительства не только в нашей стране, но и за ее пределами. А для этого есть серьезная база созданная за 30 лет Научной школой по тампонажу и закреплению горных пород.

УДК [622.25/.27:539.2/.8](091)

## **ЦЕНТРЫ ПОДГОТОВКИ И НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ ШАХТОСТРОИТЕЛЕЙ УКРАИНЫ**

***А.Н. Шашенко, А.Н. Роечко., А.В. Солодянкин,  
Национальный горный университет, г. Днепрпетровск***

Образование в Украине центров науки и образования, различающихся географическим положением, неразрывно связано с историей страны, ее основными событиями и периодами – освоением крупных горнодобывающих бассейнов, развитием промышленности в годы первых пятилеток или восстановлением хозяйства СССР после Великой Отечественной войны.

Так, в период бурного развитие горного дела в центре и на востоке Украины открывается в 1899 г. Высшее горное училище в Екатеринославе (далее – Днепрпетровский горный институт - ДГИ, Национальный горный университет - НГУ), ставшее впоследствии крупнейшим центром образования, науки и культуры. В годы восстановления и последующего широкомасштабного строительства новых горнодобывающих предприятий образованы Донецкий горный институт в 1926 г. и Криворожский горнорудный институт в 1929 г. В годы восстановления хозяйства страны после Великой Отечественной войны в 1946 г. в Киеве открыто два горных факультета. В 1957 г. в Ворошиловске (ныне – Алчевск) образован горно-металлургический институт.

Есть и еще одна общая черта, присущая разным географическим центрам - это наличие одной научной школы – школы геомеханики и шахтного строительства. Общий объект исследований, общая идея, общая область знаний, которыми занимаются ученые и инженеры-шахтостроители - то, что их объединяет, заставляя всю жизнь заниматься самым увлекательным и полезным делом – получением новых знаний и воплощением их в конкретные дела и

объекты.

Основы горной науки в области горного давления и рудничного крепления были заложены в 1904 г. профессором М.М. Протодяконовым. Наиболее важным результатом работ, выполненных им, является создание научного подхода к вопросам расчета и выбора параметров рудничного крепления, обоснование новых методологических приемов исследования природы горного давления.

Дальнейшее развитие этого научного направления связано с работой в ДГИ в 30-е годы А.Н. Динника – академика АН Украины и СССР. А.Н. Динник возглавил новое течение исследователей в горном деле, основанное на применении соотношений теории упругости. Это позволило ему установить величину горного давления на крепь стволов шахт и напряжений вокруг горизонтальных выработок. Он первым предположил, что горную породу для определенных условий можно рассматривать как упругую изотропную среду, к которой применимы уравнения теории упругости, а величину горного давления можно определять как результат совместного действия крепи и горных пород с учетом их физико-механических свойств. Среди множества гипотез о распределении напряжений в нетронутом породном массиве наибольшее распространение получила гипотеза А.Н. Динника.

Огромный вклад в дальнейшее развитие днепропетровской школы геомеханики и шахтного строительства принадлежит профессору Ф.А. Белаенко – первому доктору наук кафедры шахтного строительства ДГИ, образованной в 1930 г. Под руководством Ф.А. Белаенко проводится изучение свойств горных пород, исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) массива вокруг протяженных и очистных выработок в шахтных условиях, моделирование геомеханических процессов, изучение давления горных пород на крепь ствола. Ф.А. Белаенко решает задачу взаимодействия крепи шахтного ствола и боковых пород в совершенно новой постановке: с позиций теории пластичности с учетом фактора времени. Им разработан метод расчета крепи вертикальных стволов для пород разной крепости и материала крепи. В 60-е годы под руководством Ф.А. Белаенко и Ф.И. Кучерявого проводятся исследования физики взрывного разрушения пород с использованием уникальной сверхскоростной фотоустановки СФР.

Решением проблем обеспечения устойчивости выработок на больших глубинах занимается научная школа под руководством профессора А.П. Максимова, среди основных направлений исследований которой: изучение природы пучения почвы пород и устойчивости выработок, результатом которой явилась гидродинамическая теория пучения пород почвы, определение НДС вокруг горизонтальных и вертикальных выработок и расчет шахтных крепей, научное обоснование и внедрение комбинированных крепей типа АНТ, ШСНТ, позволяющие использовать несущую способность массива пород приконтурной зоны.

Исследования профессора Л.Я. Парчевского направлены на изучение геомеханических процессов в зоне влияния выработанного пространства лав, а также на применение методов теории вероятностей в задачах геомеханики. Говоря



о научной школе геомеханики НГУ, необходимо также отметить важные результаты в области сдвижения горных пород и реологических проблем горного давления, полученные доцентом Ж.С. Ержановым и профессором М.И. Розовским.

С 1990 года кафедрой заведует профессор А.Н. Шашенко. Ее современное название – кафедра строительства и геомеханики. С 80-х гг. на кафедре формируются новые направления. Исследования с использованием теории вероятностей в геомеханике, начатые Л.Я. Парчевским, позволили создать новое научное направление в геомеханике – статистическую геомеханику, разработана бифуркационная теория “пучения” пород, предложена новая теория прочности горных пород, развиваются направления исследований НДС горных пород и различных проявлений горного давления вблизи капитальных, подготовительных и очистных выработок на основе компьютерных моделей.

В этот же период Мирером С.В. и Масленниковым Е.В. разработаны метод и оригинальная акустическая аппаратура для непрерывного контроля состояния массива впереди забоя выработки, проводимой по выбросоопасным углям. Метод акустического прогноза и аппаратура впоследствии опробованы для прогнозирования зон аномальных концентраций напряжений при ведении проходческих работ по выбросоопасным песчаникам, в зонах геологических нарушений. В настоящее время на кафедре активно проводятся теоретические и практические исследования по созданию системы геомониторинга.

С 1993 г. на кафедре под руководством профессора В.В. Соболева работают специалисты в области теории взрыва и разрушения горных пород, выполняются исследования, направленные на получение искусственных алмазов, а также использование энергии лазера для инициирования взрывных зарядов. В настоящее время под руководством В.В. Соболева активно проводятся исследования новых закономерностей, свойств и явлений, которые обнаруживаются в термодинамично метастабильных конденсированных системах под действием различных полей и лазерного излучения. На основе установленных закономерностей открыт новый класс инициирующих ВВ и разработана технология их получения. В.В. Соболеву принадлежит оригинальная теория возникновения внезапных выбросов угля и газа.

В последние годы, благодаря активному развитию вычислительной техники и программного обеспечения, кафедра развивает направление исследования геомеханических процессов численными методами.

Развитие научной школы геомеханики НГУ связано также с деятельностью двух научных школ руководимых профессорами В.И. Бондаренко и И.А. Садовенко. Под руководством В.И. Бондаренко развиваются такие направления школы геомеханики, как исследование закономерностей протекания геомеханических процессов при подземной разработке месторождений полезных ископаемых, физико-химическое закрепление слабых водонасыщенных пород вокруг горных выработок. Основные направления научной деятельности И.А. Садовенко: дальнейшее развитие учения о многофункциональной природно-технической системе «геологическая среда-комплекс инженерных сооружений»,

исследование геомеханических и фильтрационных процессов в породном массиве при разработке месторождений полезных ископаемых и подземном строительстве.

За всю историю существования кафедры строительства и геомеханики ее сотрудниками опубликовано более 1700 научных трудов, получено более 100 авторских свидетельств и патентов, написано около 60 монографий и брошюр, защитилось более 60 кандидатов и более 10 докторов наук.

Научные школы ДГИ развивались не только в стенах института, но и давали начало развитию других научных центров, имеющие в настоящее время свои научные школы и направления научных исследований.

Так, в 1931 г. ученые института приняли участие в создании горнорудного научно-исследовательского института (НИГРИ), который в 1936 г. был передислоцирован в Кривой Рог. Научная школа НИГРИ широко известна своими исследованиями в области объемного моделирования геомеханических процессов, а также научному обоснованию и применению способов обеспечения устойчивости подземных выработок рудных шахт.

Институт геотехнической механики НАН Украины также был создан на базе ДГИ в 1967 г. Направления научных исследований на первом этапе определялись главным образом тематикой научных работ ДГИ. Работы выполнялись под руководством известных ученых - чл.-корр. АН Украины Н.С. Полякова, Ф.А. Абрамова, профессора В.Н. Потураева и др. На современном этапе в области геомеханики и шахтного строительства основные направления научных исследований института такие: механика разрушения предельно напряженных горных пород при малоэнергоемких воздействиях (акад. А.Ф. Булат); проблемы механики горных пород и массивов, геомеханика сложных, в т.ч. газонасыщенных напряженных породных структур, создание моделей и изучение динамики горного давления, способы управления горного давления с использованием его энергии (д.т.н. Зорин А.Н., Глушко В.Т., Колесников В.Г., Минеев С.П.); исследование предельно-напряженного массива горных пород, совершенствование способов обеспечения устойчивости выработок глубоких шахт, математическое моделирование геомеханических процессов (проф. В.В. Виноградов); вопросы механики горных пород в сложных горно-геологических условиях, геомеханический контроль свойств и состояния породного массива (проф. Усаченко Б.М., д.т.н. Скипочка С.И., Паламарчук Т.А., Яланский А.А.).

В 1929 г. была создана кафедра строительства шахт и подземных сооружений в Донецком горном институте (ныне – Донецкий национальный технический университет). В разное время на кафедре работали профессора К.В. Панько, В.П. Беликов, Б.Н. Крамарев, М.И. Большинский, А.Г. Гузеев, П.Я. Таранов, кандидаты наук, доценты, главным образом – бывшие выпускники кафедры. Для кафедры характерен высокий уровень научных исследований и высокий уровень их внедрения в производство.

С 1995 г. кафедрой заведует профессор Н.Р. Шевцов. На современном этапе на кафедре сформировались и развиваются три основных научных направления:

- разработка научных основ, способов и технологий сооружения шахтных стволов и капитальных горных выработок (профессор В.В. Левит);

- безопасность и эффективность буровзрывных работ (проф. Н.Р. Шевцов);
- взрывозащита угольных шахт (профессор Н.Р. Шевцов).

По результатам исследований за всю историю кафедры опубликовано более 30 монографий, справочников и брошюр, получено более 150 авторских свидетельств и патентов на изобретения, опубликовано более 1000 статей. В аспирантуре подготовлено более 40 кандидатов технических наук, 7 из которых в дальнейшем стали докторами технических наук.

В 1971 г. в Донецком политехническом институте была создана кафедра “Горная геомеханика”. В разное время на кафедре работали профессора М.П. Зборщик (первый ее заведующий), К.В. Кошелев, С.С. Гребенкин.

За период существования кафедры горной геомеханики на протяжении 70-х гг. здесь сформировались две научные школы под руководством профессоров М.П. Зборщика и К.В. Кошелева. С 80-х главными направлениями научной деятельности кафедры были: разработка способов охраны подготовительных выработок на основе локальной разгрузки массива пород; обеспечение устойчивости подготовительных выработок в региональных зонах разгрузки; разработка способов и средств контроля состояния массива горных пород. За последние годы к этим направлениям деятельности кафедры прибавились:

- разработка технологии и комплексной механизации отработки угольных пластов (проф. С.С. Гребенкин). Наиболее значимые достижения этого научного направления состоят в создании типоразмерного ряда механизированных крепей и комплексов для очистных забоев крутонаклонных и крутых пластов;

- разработка геоинформационных технологий прогноза и оценки геомеханического состояния массива горных пород (доц. Пилюгин В.И.). Развитием этого направления является создание геомеханических основ дегазации угленосной толщи;

- разработка современной технологии предотвращения самовозгорания породных отвалов и терриконов (проф. Зборщик М.П.).

В рамках научной и педагогической деятельности только за два последних года кафедрой издано 5 монографий и 3 учебных пособия. Сотрудники кафедры принимают участие в разработке создаваемой в рамках международного проекта системы комплексного мониторинга безопасности горнодобывающих объектов.

Перспективное научное направление кафедры связано с геомеханическим обеспечением строительства метрополитена на подработанных площадях Донецка. В мировой практике строительство метро в таких условиях аналогов не имеет.

В 1948 г. в Киевском политехническом институте основана кафедра шахтного строительства, первым заведующим которой стал профессор А.Г. Михайлов. Направление его исследований - шахтный способ добычи нефти. Основное направление научных исследований кафедры связано, главным образом, с геомеханикой породного массива в сложных условиях городской застройки. С 1993 г. этой кафедрой, имеющей современное название геостроительства и горных технологий заведует профессор В.Г. Кравец.

В настоящее время научная работа проводится по таким направлениям:

- геотехническая оценка состояния окружающей среды, прогнозирование и предотвращение процессов сдвижений в зоне влияния горных работ и подтопления;
- геотехнические аспекты строительства и эксплуатации сооружений в сложных грунтовых условиях;
- геодинамическая оценка влияния линий метрополитена неглубокого заложения на устойчивость зданий и сооружений;
- разработка физико-химических методов утилизации отходов производства;
- развитие специфических вопросов управления НДС горного массива с применением современных средств взрывания систем удлиненных зарядов;
- управления кренами высотных сооружений и зданий геотехническими способами.

В Криворожском техническом университете кафедра шахтного строительства была создана в 1954 г. Первые научные исследования на кафедре связаны с именем первого заведующего – к.т.н., доцента М.В. Гуминского и были направлены на изучение проблем горного давления, устойчивости капитальных выработок на больших глубинах, разработку и внедрение на рудниках Кривбасса конструкций анкерного и набрызг-бетонного крепления. Основанная М.В. Гуминским научная школа оказалась довольно результативной. Свыше 30 его аспирантов защитили кандидатские диссертации. Среди его учеников – доктора наук, профессора А.М. Задорожний и ныне работающий на кафедре В.Ф. Ключков, основавшие свои научные школы.

Проблематика научной школы, руководимой А.М. Задорожним - разработка эффективных технологий реконструкции действующих шахт. Среди основных научных достижений школы – разработка конструкций предохранительных полков для углубки стволов шахт, научное обоснование параметров малогабаритных гидравлических подъемников для углубки, обоснование эффективной организации строительства новых горизонтов железорудных шахт при их реконструкции.

Докторская диссертация В.Ф. Ключкова посвящена физико-техническим основам взрывного разрушения напряженных пород при проведении выработок. С 1966 г. школа, руководимая В.Ф. Ключковым, подготовила 16 кандидатов наук.

За время своего существования в аспирантуре при кафедре подготовлено более 70 научных работников и преподавателей, шестеро из которых стали докторами наук. Учеными кафедры опубликовано несколько десятков книг – монографий, учебных пособий, справочников; сотни научных трудов.

Сегодня кафедрой строительных геотехнологий (современное название) заведует кандидат технических наук, доцент Б.Н. Андреев. Важными направлениями научной деятельности в настоящее время являются выработка экономически обоснованной концепции строительства подземных рудников из карьерного пространства, разработка технологических решений и проектов сооружения подземных объектов, эксплуатируемых в условиях интенсивных



технологических нагрузок – погрузочных экскаваторных камер, перегрузочных узлов.

В Донбасском государственном техническом университете кафедра шахтного строительства была создана в 1967 г. В начале научные интересы кафедры были направлены на совершенствование буровзрывных работ при проведении горных выработок. Под руководством И.А. Тихомирова - первого заведующего кафедрой - создана лабораторная база для исследований буровзрывных работ, получены важные результаты в области механизма взрывного разрушения пород.

С 80-х годов исследования проводились научной школой под руководством профессора Г.Г. Литвинского (заведует нынешней кафедрой «Строительная геотехнология и горные сооружения») в рамках которой получены следующие результаты:

- установлены закономерности статики и кинетики и разработана новая классификация проявлений горного давления;
- разработана новая теория прочности горных пород, основанная на составлении дифференциальных уравнений разрушения и явном учете структурного строения породы в виде произвольных систем открытых и сдвиговых трещин;
- даны основы реономной микромеханики деформирования и разрушения горных пород;
- предложены и обоснованы новые нетрадиционные способы обеспечения устойчивости выработок, основанные на управлении напряженным состоянием и прочностью массива горных пород вокруг выработок (крепь «Монолит», активная разгрузка и упрочнение массива, скважинная разгрузка; борьба с пучением методом АРПУ, бутовая полоса предварительного распора для охраны выработок).
- разработаны и внедрены новые методы и приборы для испытаний пород, методы и способы контроля состояния массива;

По проблемам строительства подземных сооружений, механики и взрывного разрушения горных пород защищено более 20 кандидатских и 2 докторские диссертации. Всего на кафедре опубликовано более 600 научных статей, получено свыше 230 авторских свидетельств и патентов на изобретения, издано 6 монографий и учебных пособий.

Самобытная научная школа геомеханики и шахтного строительства по борьбе с подземными водами в горном деле была создана в ГОАО "Спецтампонажгеология". Это акционерное общество (до 1996 г. – производственное объединение) было создано в 1980 году на базе управления "Спецтампонажгеология", которое в свою очередь являлось правопреемником Донбассантрацитовского управления шахтной геологии, технического и разведочного бурения, основанного в 1927 г. ПО "Спецтампонажгеология"

являлось головной организацией в системе Минуглепрома СССР по научно-исследовательским, проектным и строительным работам в области тампонажа обводненных горных пород.

ГОО "Спецтампажгеология" была единственная в Украине специализированная организация по тампонажу обводненных горных пород в области шахтного и подземного строительства. Как показал более чем 25-летний опыт работы, создание специализированной организации явилось новой формой организации производства, представляющей замкнутый цикл от выполнения научных исследований и разработок на их основе проектов, до производства своими силами тампонажных работ и полной ответственности за их качество. В своей деятельности "Спецтампажгеология" на протяжении многих лет основное внимание уделяла шахтному строительству и в особенности сооружению вертикальных шахтных стволов.

Для кардинального решения проблемы подавления водопритоков при строительстве шахт в сложных горногеологических условиях в "Спецтампажгеологии" с 1965 г. были начаты соответствующие комплексные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. В связи с охватом широкого круга решаемых проблем и расширением области применения разработок, эти работы с 1969 г. выполнялись совместно с ведущими специалистами Главгосэкспертизы Госстроя СССР, учеными Свердловского и Московского горных институтов и работниками института "Южгипрошахт".

В результате глубоких теоретических и экспериментальных исследований и промышленных испытаний был разработан и внедрен принципиально новый метод подавления водопритоков при сооружении капитальных горных выработок - "Комплексный метод тампонажа обводненных горных пород".

Первым доктором наук по направлению этих исследований и основателем научной школы стал Э.Я. Кипко, ныне профессор, академик Академии строительства и Академии горных наук Украины, Лауреат государственной премии СССР. Им впервые была создана научная школа по борьбе с подземными водами в горном деле, которая оказалась чрезвычайно плодотворной. За прошедшие 30 лет под руководством непосредственно Кипко Э.Я., а впоследствии и его талантливых учеников защитилось 6 докторских и 26 кандидатских диссертаций.

Работы ученых всех школ широко известны в научных кругах далекого и близкого зарубежья, а открытые ими новые научные направления являются дальнейшим развитием научной школы геомеханики и шахтного строительства, значительные результаты и достижения внесли весомый вклад в совершенствование технологии строительства горнодобывающих предприятий и подземных сооружений.

## НАУЧНАЯ ШКОЛА ПО СТРУЙНОМУ ЗАКРЕПЛЕНИЮ ДИСПЕРСНЫХ ПОРОД

*С.Ф.Власов, Национальный горный университет, г. Днепропетровск*

В этом году исполняется десять лет научной школе, одним из основных направлений которой является разработка специальных способов закрепления дисперсных пород с помощью высоконапорных струй закрепляющих растворов. Это было вызвано тем, что широко применяемые до 90-х годов способы закрепления такие как: искусственное замораживание, электрохимическое закрепление, цементация, стена в грунте и др. не позволяли обеспечить высокое качество выполняемых работ при решении ряда горно-технических задач. Эти задачи были связаны с повышением устойчивости зданий и сооружений, созданием гидроизоляционных оболочек вокруг подземных сооружений в условиях фильтрации подземных вод, вскрытием котлованов в обводненных породах густо застроенных районов и др.

Идея струйной технологии закрепления пород заключается в направленном изменении физико-механических свойств и состояния дисперсных водонасыщенных пород под воздействием высоконапорных струй твердеющих растворов, обеспечивающее безопасное ведение горных работ и строительство подземных сооружений в особо сложных условиях.

Сотрудниками лаборатории специальных способов закрепления пород НГУ был выполнен большой объем работ по обоснованию теоретических основ, разработке средств, способов и технологии струйного закрепления дисперсных пород. По результатам выполненных исследований были защищены докторская диссертация С.Ф.Власова, кандидатские - С.В.Ткачука, В.Н.Почепова, А.Б. Владыко, С.Е. Тимченко, О.А. Устивицкого. Представлена к защите диссертационная работа Н.А. Максимовой-Гуляевой.

### **Основные научные результаты:**

➤ Создана теория расчета рабочих параметров струйной технологии закрепления слабых дисперсных пород в зависимости от физико-механических свойств закрепляющего раствора и закрепляемой дисперсной породы. Свойства закрепляемой с помощью струйной технологии породы, ранее описываемые в рамках теории динамики грунтов, впервые были описаны с помощью теории турбулентных струй. Это позволило при определении глубины проникания струи в породу учесть турбулентный характер распространения струи и установить зависимость изменения скорости струи вдоль оси ее распространения.

➤ Использовано понятие "ударная вязкость" для слабых дисперсных пород. Для проведения исследований по определению ударной вязкости этих пород была разработана методика и создана лабораторная установка, на которой впервые были получены зависимости ударной вязкости от степени влажности для связных и несвязных дисперсных пород. Установлено, что при увеличении влажности до

25 % ударная вязкость для связных пород уменьшается на 50 - 80 Дж/м<sup>2</sup> за счет ослабления поверхностных связей между частицами породы, а у несвязных - возрастает на 40-60 Дж/м<sup>2</sup> за счет увеличения поверхностных сил в межпоровом пространстве дисперсной породы.

➤ Установлены граничные условия проникания высоконапорной струи закрепляющего раствора в слабую дисперсную породу, что позволяет определять конечную глубину распространения струи раствора в этой породе:

$$h = \sqrt{\frac{2,73 \cdot d_0^3 \cdot u_0}{\pi \cdot d_1 \cdot \omega \cdot c \cdot \left(1 + \frac{\rho_2}{\rho_1}\right) \cdot k}}$$

➤ На основании теоретических и экспериментальных исследований различных форм и геометрических размеров насадок, которые можно применять при струйной технологии закрепления дисперсных пород, были определены рациональные геометрические размеры и формы насадок, предотвращающие возникновение явления кавитации при высоких давлениях и обеспечивающие оптимальное качество струи.

➤ Установлены новые закономерности проникания высоконапорных струй в слабые дисперсные породы в зависимости от соотношений плотностей закрепляющего раствора и обрабатываемой породы, ударной вязкости этой породы, скоростей поднятия и вращения рабочего инструмента, расхода и давления струи закрепляющего раствора, геометрической формы сопла, формирующего струю, на основании которых были разработаны способы струйного закрепления пород, подтвержденные патентами Украины (рис. 1-2).

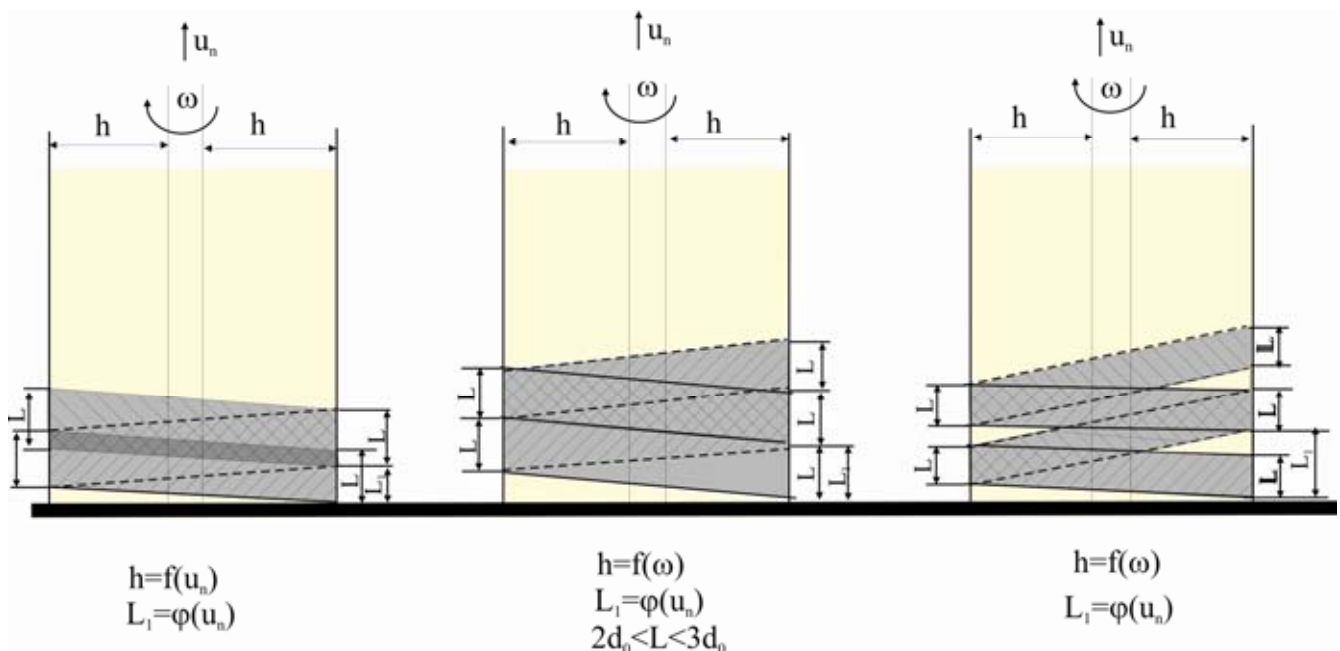


Рис. 1. Зависимость формирования закрепленного элемента от скорости вращения и поднятия рабочего инструмента



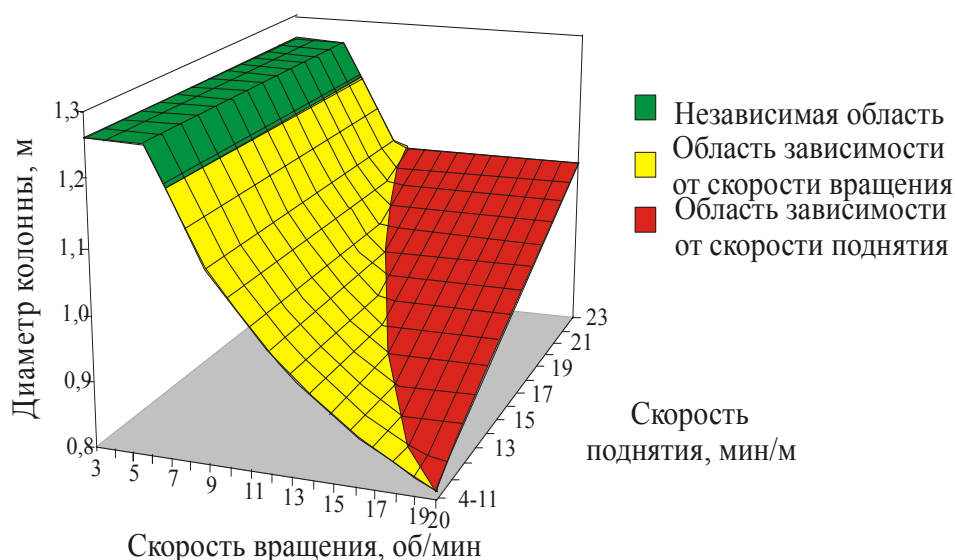


Рис. 2. Зависимость диаметра закрепленной колонны от скоростей вращения и поднятия струйного монитора

➤ Получена зависимость экспериментальной функции, входящей в теорию турбулентных струй, от соотношения плотностей двух перемешивающихся сред, что позволило учесть при теоретических расчетах отличие плотности струи закрепляющего раствора от плотности закрепляемой породы.

➤ Получена критериальная зависимость, включающая видоизмененный критерий Рейнольдса, критерий Фурье и критерий, описывающий соотношение плотностей закрепляющего раствора и обрабатываемой породы, что позволило пересчитывать давление нагнетания и расход закрепляющего раствора, время действия и глубину проникания струи, полученные в процессе моделирования, для натуральных условий.

➤ На основании лабораторных исследований определено оптимальное водоцементное отношение суспензий на цементном базисе, применяемых для струйной технологии закрепления дисперсных пород, обеспечивающее необходимую прочность закрепленной породы.

➤ Установлены закономерности влияния качества и количества закрепляющих растворов на прочность пороцементных элементов, позволяющие определить рациональные параметры процесса закрепления при решении различных горнотехнических задач.

➤ Определены рациональные параметры магнитной обработки цементных растворов, используемых в струйной технологии закрепления пород при решении различных горно-технических и строительных задач. В результате выполненных экспериментов доказано, что целесообразнее подвергать магнитной обработке цементный раствор, а не воду для его затворения. Рациональные параметры магнитной обработки цементных растворов, при которых наступает оптимальное изменение их физико-механических свойств, таковы: индукция магнитного поля -  $B=0,36$  Тл, скорость обработки жидкой среды в магнитном поле - 1,79 м/с.

➤ Впервые разработана классификация слабых дисперсных пород в зависимости от глубины проникания в них высоконапорной струи закрепляющего раствора (табл. 1), учитывающая ударную вязкость этих пород и позволяющая производить предварительный выбор способов и технологических параметров струйного закрепления.

Таблица 1

Классификация пород по степени проницаемости

Дисперсные породы		Коэффициент ударной вязкости при $W=2\%$ , Дж/м <sup>2</sup>	Относительная глубина проникания струи в сравнении с глубиной проникания в глину	Степень проницаемости пород
Классы	Группы			
1	<i>Глинистые породы</i> Глина Лессовидный суглинок Лесс	Связные	> 400	1-1,5
			604	1
			480	1,13
			447	1,17
2	<i>Пески мелкозернистые</i> Пески нерасчлененного неогена	Несвязные	100-400	1,5-3
			239	1,59
	Пески харьковской свиты Среднемиоценовые пески		129	2,18
3	<i>Пески крупнозернистые</i> Пески бучакской свиты Нижнесарматские пески Пески киевской свиты	Несвязные	< 100	> 3
			55	3,48
			47	3,81
			31	4,45

➤ Получены закономерности изменения физико-механических свойств (прочности на одноосное сжатие и плотности цементного камня, времени начала и конца схватывания и вязкости) цементных растворов и полученного из них цементного камня от величины индукции магнитного поля. Доказано, что прочность на одноосное сжатие цементного камня, полученного из активированных магнитным полем растворов, при изменении индукции последнего от 0 до 0,6 Тл

описывается произведением экспоненциальной и степенной зависимостей, имеющей экстремум в точке  $B = 0,36$  Тл и которые аппроксимируется выражением:

$$\sigma = \sigma_0 + k \cdot B^{2,499} \cdot \exp(-l \cdot B).$$

➤ Впервые установлена зависимость прочности закрепленных среднезернистых песков влажностью 2 - 27 % от прочности цементного камня, получаемого из используемого твердеющего раствора. Эта зависимость с высокой степенью точности выражается экспоненциальной зависимостью вида:

$$\sigma_n = k \cdot \exp(l \cdot \sigma_p).$$

➤ Для среднезернистых песков установлена связь количества цементного раствора в закрепленных элементах (рис. 3) с первоначальной влажностью породы. Зависимость прочности на одноосное сжатие омоноличенного элемента от количества закрепляющего раствора в нем выражается линейной функцией вида:

$$\sigma_{сж} = 0,99 \cdot c + 0,0189.$$



Рис. 3. Образцы закрепленных грунтов

➤ Теоретически обоснованы и практически установлены зависимости толщины противодиффузионных завес от плотности нагнетаемого раствора и породы, ударной вязкости породы, диаметра сопла и скорости поднятия струйного монитора.

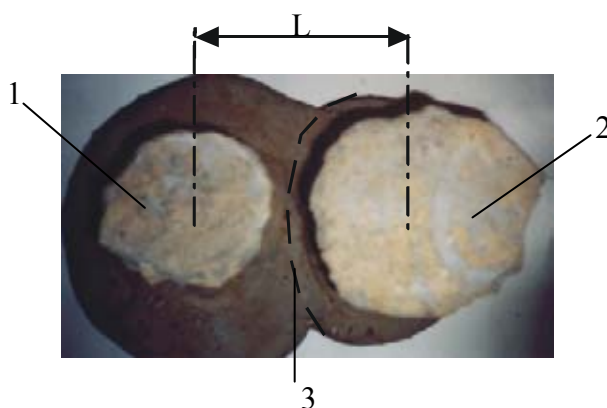


Рис. 4. Сочленение двух закрепляемых растворо-грунтовых элементов:  
1,2 – элементы закрепления; 3 – контактная зона;  
L – расстояние между центрами элементов.

➤ На основании теории движения вязкой несжимаемой турбулентной струй в трубопроводе разработаны компьютерные программы расчета коэффициента потерь давления в установке для струйного закрепления пород (рис. 5). Сделан расчет технологических параметров струйного закрепления с применением активизации используемых для этого твердеющих цементных растворов магнитным полем.

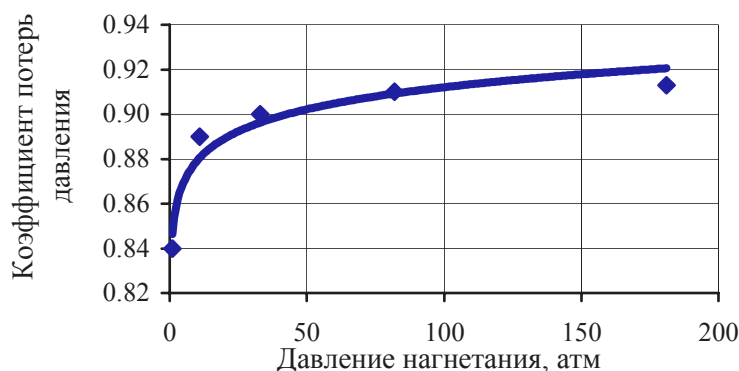


Рис. 5. Зависимость коэффициента потерь давления в установке струйного закрепления пород от давления нагнетания.

#### **Практическое значение.**

➤ Разработаны основы управления свойствами и состоянием слабых дисперсных пород с помощью высоконапорных струй закрепляющих растворов, что позволило создать эффективные способы (патенты № 10333 А; 10392 А; 15071 А; 20380А), технологию и средства струйного закрепления, обеспечивающие необходимую безопасность при решении различных горно-технических задач в процессе освоения подземного пространства городов Украины.

➤ Разработаны два способа струйного закрепления дисперсных пород с обработкой цементных растворов магнитным полем, в зависимости от конкретных требований, предъявляемых к омоноличиваемым элементам:

1) активизация цементных растворов производится непосредственно в процессе закрепления пород (для получения породо-растворных конструкций переменного сечения);

2) с предварительной активизацией цементных растворов в магнитном поле (для получения конструкций постоянного сечения).

➤ Разработаны компьютерные программы по определению технологических параметров и схемы струйного закрепления пород при проведении вертикальных стволов и горизонтальных выработок неглубокого заложения, создании гидроизоляционной завесы вокруг подземных камер, закреплении оснований под зданиями и сооружениями. Технологические схемы согласованы институтом Днепрогипрошахт и утверждены ДонУГИ (1997г.).

➤ Разработан, смонтирован и опробован в полигонных условиях опытный образец установки по струйному закреплению дисперсных пород на базе

буровой УРБ-2А-2 и шасси ЗИЛ-131, которая позволяет выполнять работы по закреплению с поверхности на глубину до 30 м.

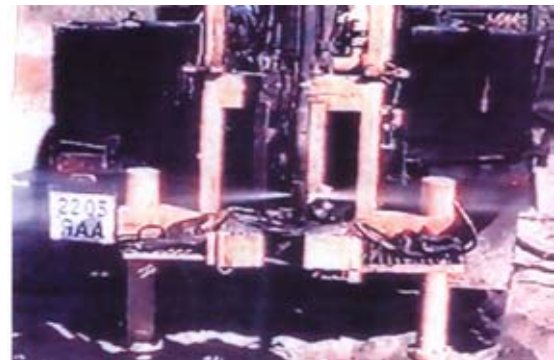


Рис. 6. Установка для струйного закрепления пород.

➤ Результаты исследований в виде рекомендаций внедрены в проекты Днепрогипрошахт, Днепрометропроект и Укртоннельстройэко. Результаты исследований также прошли технологическую апробацию в фирме "Бауэр" (Германия) при строительстве Берлинского метрополитена (1996 г.).



а)



б)

Рис. 7. Закрепленные с помощью струйной технологии растворо-породные элементы: а) с вращением струйного монитора; б) без вращения струйного монитора.

➤ Проведены испытания экспериментальной установки при закреплении песков на трассе станции открытого заложения «Набережная им. Ленина» Днепропетровского метрополитена, которые подтверждают обоснованность и достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций (рис. 7).

### *Литература*

Всего опубликовано 100 научных трудов и авторских свидетельств, 10 патентов, в том числе 2 монографии.

Результаты исследований опубликованы в Украине и России.

Основные публикации:

1. Власов С.Ф. Теория и технология струйного закрепления пород //Металлургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск, 1997, № 7.- С.4-5.
2. Власов С.Ф., Почепов В.Н. Установка для струйного закрепления пород //Вибрации в технике и технологиях. Днепропетровск, 1998, № 3. – С.29-31.
3. Власов С.Ф. Струйное закрепление пород в подземном строительстве // Коммунальное хозяйство городов, К.: Техника,1999. – С.25-28.
4. Власов С.Ф., Устивицкий О.А. Обоснование эффективности струйных способов закрепления дисперсных пород //Науковий Вісник. Дніпропетровськ: НГУ України, 2000, № 6. – С.23-26.
5. Власов С.Ф., Тимченко С.Е. Влияние магнитного поля на некоторые физико-химические свойства цементных растворов, используемых при струйной технологии закрепления пород // Науковий Вісник. Дніпропетровськ: НГУ України, 2001, № 4. – С.5-7.
6. Власов С.Ф., Садовенко И.А., Максимова-Гуляева Н.А.. Обоснование возможности использования струйной технологии закрепления грунтовых склонов на основе анализа противооползневых мероприятий // Науковий Вісник. Дніпропетровськ: НГУ України, 2002, № 5. – С.31 -33.
7. Власов С.Ф., Тимченко С.Е., Сидельников А.А. Применение физико-технических и термодинамических показателей свойств лессов для прогнозирования их стойкости / Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво)/ Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій Держбуду України, - 2004, - вип. 61, т. 2, С. 294-299.
8. Власов С.Ф., Тимченко С.Е., Рябичев В.Д. Интенсификация процессов струйного закрепления пород при магнитной обработке цементных растворов. Днепропетровск. Изд-во НГУ, 2005.-128 с.

УДК 622.281.4

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЗАКЛАДОЧНОГО  
МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ФИБРОПОЛНИТЕЛЯ**

*С.Г. Страданченко, А.А. Шубин, С.О. Легостаев,  
Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического  
университета, Россия*

Массив закладки определенным образом взаимодействует с окружающими породами, образуя сложную пространственно-временную систему «закладка – породы». Главные структурные элементы такой системы – породы почвы и кровли, рудный массив и массив закладки, значительно различающиеся по свойствам.



Расчет нормативной прочности закладки базируется на знании напряженно-деформированного состояния природного и искусственного массивов, характера их взаимодействия и сводится к решению трех задач:

- нахождению нагрузок на массив закладки;
- определению напряжений в закладочном массиве как составном элементе системы «массив – закладка»;
- установлению необходимой прочности материала несущих элементов, исходя из требуемой степени надежности, характера напряженного состояния, влияния технологических факторов.

Нагрузку на искусственный массив, его элементы в зависимости от гипотезы горного давления задают как вес породы в объеме свода естественного равновесия, слабого прослойка, столба пород до поверхности или находят через смещения вмещающих пород в условиях совместного деформирования горного и искусственного массивов. Учитывают стадийность выемки, пространственное положение рассчитываемого элемента из закладки, защитное влияние окружающего горного массива, возможность образования локальных областей пластических деформаций в поддерживаемых породах вследствие высокой податливости искусственного массива, трудности заполнения пустот под кровлю. Размеры подработки массива горных пород при определении нагрузок на несущие опоры из закладки ограничивают пределами призабойной области пониженных напряжений в связи с отставанием формирования во времени и пространстве зоны опорного давления в закладочном массиве, плавностью оседания подработанных пород.

На массив закладки в зависимости от условий применения воздействуют статические (гравитационные и тектонические) силы и динамические (от взрывных работ) нагрузки, накладывающиеся на имеющееся статическое поле напряжений. Искусственные массивы могут испытывать деформации сжатия, растяжения, сдвига, изгиба и «работать» в условиях одноосного, двухосного и объемного напряженных состояний. Для удобства определения и контроля прочности независимо от характера деформаций искусственного массива ее приводят к пределу прочности на одноосное сжатие.

В общем случае, о деформативных свойствах закладочного материала при приложении нагрузки судят по его модулю деформации, т.е. по отношению напряжения к относительной деформации, вызываемой его действием. Чем выше модуль деформации, тем менее деформативен материал. Массивы руды и закладки при деформировании проявляют упруго-вязкие свойства. Описание их поведения под нагрузкой обычно производят также по модулю деформации, т. е. усредненному значению модуля пропорциональности, соответствующему уровню нагружения, близкому к предельному.

На практике, при определении модуля деформации материала закладки используют в основном эмпирические зависимости. В настоящей работе не ставится цель подтверждения или проверки этого параметра, а величина его принимается на основании опытных данных для проведения комплексных расчетов. Рассмотрению подлежал вариант анализа изменения модуля

деформации бетона – как материала закладки, после введения в него дисперсных волокон<sup>1</sup>

Если предположить, что деформация фибробетона равна сумме деформаций материала фибр и отдельных участков бетона, то первоначально, следует определить модуль деформации полости заполненной дисперсным волокном. Для этого представим ее в виде идеализированной системы, включающей одиночную фибру и два блока бетона с заданными механическими характеристиками. В связи с тем, что наличие пор в бетоне предопределяет не сплошной контакт с фиброй, введем параметр  $\varphi$ , представляющий собой относительную площадь взаимодействия компонентов [1].

Тогда выражение для определения площади поперечного сечения полости занимаемой фиброй может быть записано в виде:

$$S_n = S_\phi + S_p(1 - \varphi), \quad (1)$$

где  $S_n$ ,  $S_\phi$ ,  $S_p$  – площади поперечного сечения, соответственно полости, фибры, а также пар и пустот в бетоне.

Сила, удерживающая фибру в полости, равна

$$F_\phi = S_\phi \cdot \sigma_\phi = S_\phi \cdot E_\phi \frac{\Delta\delta}{\delta} = S_\phi E_\phi \varepsilon_n, \quad (2)$$

где  $E_\phi$  – модуль деформации фибры;  $\Delta\delta$  и  $\varepsilon_n$  – абсолютная и относительная деформация материала в полости;  $\delta$  – толщина фибры;  $\sigma_\phi$  – напряжения в фибре от действующей силы.

Сила, действующая на контакте «закладка (матрица)–фибра» равна

$$F_\kappa = S_\kappa \cdot \sigma_\kappa = S_\kappa \cdot E_\delta \frac{\Delta\delta}{\delta} = S_\kappa E_\delta \varepsilon_n, \quad (3)$$

где  $S_\kappa$  – площадь контакта матрицы с фиброй:  $S_\kappa = \varphi S_\phi$ ;  $E_\delta$  – модуль деформации материала закладки;  $\sigma_\kappa$  – напряжение на контакте от действующей силы.

Считая, что напряжения на контакте равны напряжениям в фибре, общая сила действующая на полость может быть записана в виде

$$F_o = F_\phi + F_\kappa = S_\phi \cdot \varepsilon_n (E_\phi + \varphi E_\delta), \quad (4)$$

откуда, учитывая выражение (1) следует, что модуль деформации полости с фиброй равен

$$E_n = \left(1 - \frac{S_p}{S_n}\right) (E_\phi + \varphi E_\delta). \quad (5)$$

Рассмотрим, как изменится модуль деформации бетона после введения в него дисперсных волокон.

Опуская известные положения закона Гука, а также учитывая тот факт, что при сжатии бетона с фиброй, происходит деформация системы на величину  $\Delta l$ :

$$\Delta l = \Delta h + \Delta \delta ,$$

где  $\Delta h, \Delta \delta$  – абсолютные деформации бетона и полости с фиброй, окончательно получаем выражение для модуля деформации закладочного материала на фиброоснове  $E_o$

$$E_o = \frac{E_\delta}{1 + \frac{E_\delta \delta}{E_n h}} = \frac{E_\delta}{1 + \frac{E_\delta \delta}{(1 - \frac{S_p}{S_n})(E_\phi + \phi E_\delta) h}} \quad (6)$$

где  $l$  – размер бетона с полостью;  $E_o$  – модуль деформации системы «закладочный материал–фибра»;  $h$  – размер блока материала заполнителя без фибр.

Анализ вышеприведенных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

- введение в материал закладки тонкодисперсных волокон снижает его модуль деформации на допластической стадии;
- увеличение размера волокон приводит к уменьшению модуля деформации системы;
- большой модуль деформации волокон материала незначительно увеличивает модуль деформации закладки с фиброаполнителем;
- полученное выражение для определения модуля деформации закладочного материала на фиброоснове может быть использовано при установлении количественных и качественных показателей состояния деформативности системы на допластической стадии и позволит осуществлять подбор параметров фибр для заданных качественных характеристик материала закладки.

Промышленные эксперименты согласуются с теоретическими данными и показывают, что разрушение материала на основе фиброаполнителя происходит не сразу, а постепенно. Вначале в закладочном материале образуются микротрещины, число которых постепенно увеличивается. Образование сплошной трещины происходит при более значительной величине деформации, чем в обычном бетоне. Фибра как бы поддерживает материал закладки, помогая ему сопротивляться растягивающим напряжениям.

### *Литература*

1. Кипко Э.Я., Быков Н.Л., Шубин А.А. Деформируемость трещиноватых и трещиновато-пористых горных пород после тампонажа // Шахтное строительство. - 1990. - №11. – С. 9 – 13.

## **НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УСИЛЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ФУНДАМЕНТОВ**

***Н.Н. Тельних, А.В. Попов, Е.Г. Цаплин, В.Н. Комашнев,  
ООО «ТИССА», г. Антрацит***

Укрепление оснований фундаментов зданий и сооружений всегда представляет собой сложную инженерную задачу, от правильного решения которой во многом зависит дальнейшая безопасная эксплуатация объектов.

Техногенная и экологическая безопасность инженерных сооружений определяется, как правило, геодинамическим состоянием горного массива, на котором они сооружены.

Просадочные явления в грунтах в разной степени воздействуют на любые технические объекты и сооружения: от потери их механической прочности (деформация сооружения, просадка) до полного разрушения.

По степени опасности воздействия на технические объекты и сооружения просадочные явления можно разделить на следующие группы:

-когда объекты сооружены на грунтах, в литологическом составе которых присутствуют лессы, склонные к изменению своих физико-механических свойств при замачивании (так называемое техногенное водопроявление, связанное с изменением естественного уровня грунтовых вод);

-когда объекты сооружены на грунтах, в литологическом составе которых присутствуют разности пород, склонные к плавунным свойствам;

-когда объекты сооружены в зоне геодинамической активности тектонических структур или в так называемой геодинамической зоне (ГДЗ).

Наиболее опасные просадочные явления наблюдаются, несомненно, в геодинамических зонах. Над геодинамической зоной (ГДЗ) в результате постоянно протекающих геодинамических процессов происходит разуплотнение грунтов с образованием нескольких разнонаправленных систем трещин отрыва грунтов или разрыва с образованием пустот. При определённых условиях происходит разрушение сооружения. Однако, кроме потери механической прочности и разрушения объектов и сооружений, зачастую возникают побочные явления и процессы, создающие экологический и экономический ущерб, во много раз превышающий ущерб от самого разрушения. Например, загрязнение окружающей среды токсичными техногенными отходами, уничтожение в завалах ценнейшего оборудования и, наконец, самое страшное - это человеческие жертвы под обломками внезапно обвалившегося здания.

К традиционным способам улучшения свойств грунтов относятся:

- трамбование,
- силикатизация,
- смолизация,
- цементация,

-электрохимическое закрепление.

Области и границы применимости каждого из перечисленных способов широко освещены в специальной литературе.

Распространенным способом строительства зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях является способ с использованием буронабивных и буроинъекционных свай. Сооружаемые сваи могут достигать глубины залегания коренных скальных пород и в этом случае они являются совершенными. Если протяженность свай не превышает глубины залегания четвертичных отложений, то они являются несовершенными или висячими.

Расчет несущей способности висячих свай сводится к расчету сопротивления грунта в основании сваи и боковой поверхности за счет сил сцепления с грунтом.

$$F = F_{осн} + F_{бок} \quad (1)$$

Отсюда следует, что несущая способность висячей сваи находится в непосредственной зависимости от её длины и диаметра. Как правило, висячие сваи имеют диаметр 500-800 мм и длину до 8-20м.

На предприятии «ТИССА» получили теоретическое обоснование и нашли широкое применение висячие сваи небольшого диаметра с цементным уширением (рис.1.)

Из представленной на рис.1 схемы следует, что расчет несущей способности такой сваи по боковой поверхности следует производить с учетом прочности контакта цементного уширения с цементным камнем затрубного пространства, то есть обоймы сваи-инъектора.

$$F_{бок} = f_{изг} + F_{цемент} \quad (2)$$

Вклад цементных уширений в несущую способность свай определяется соотношением :

$$F_{цем} = \pi d \sum \sigma_{изг} \Delta h_{цем} \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр скважины,  $\sigma_{изг}$  – прочность цементного камня на изгиб;  $\Delta h_{цем}$  – толщина цементных уширений на контакте с цементом обоймы сваи-инъектора.

Для определения толщины цементных уширений  $\Delta h_{цем}$  на контакте с цементной обоймой целесообразно воспользоваться выражением для относительной деформации грунтов при уплотнении за счет давления нагнетания инъекционного раствора:

$$\Delta h_{цем} = \frac{P}{E} m \quad (4)$$

где:  $P$  - давление нагнетания, (МПа);

$E$  - модуль деформации грунта, (МПа);

$m$  - мощность слоя грунта, м;

$\Delta h$  - толщина цементного уширения, м.

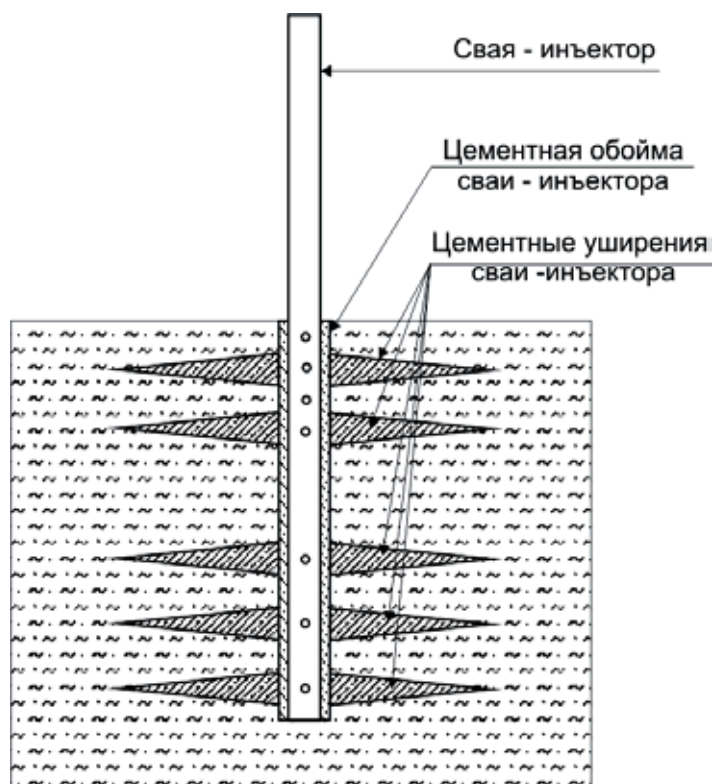


Рис. 1 Схема образования цементных уширений при инъекции цементно-силикатного раствора через перфорации сваи инъектора к расчету несущей способности сваи.

Отличительной особенностью свай малого диаметра с цементными уширениями, или микросвай, является то, что они могут применяться для усиления фундаментов уже существующих сооружений, а не только на начальной стадии строительства.

Примером для рассмотрения рационального применения технологии закрепления массива горных пород с использованием микросвай, являются работы, выполненные ООО «ТИССА» в городе Таганроге, при укреплении оснований фундаментов несущих колонн строящегося здания ОНЛЗ (Отделение непрерывного литья трубных заготовок) мартеновского цеха Таганрогского металлургического завода. Необходимость выполнения данного вида работ обусловлена просадками, которые произошли в результате выноса обводненного грунта (пльвуна) при строительстве отстойника окалины.

Строительство отстойника окалины велось вблизи колонн здания ОНЛЗ, в пролёте Б-В.

Отстойник окалины представляет собой вертикальный шахтный ствол диаметром 22м и глубиной 17м с железобетонными стенами толщиной 500мм. По мере проходки ствола, происходило укрепление его стен монолитным железобетоном с металлической внутренней изоляцией. Строительство ямы окалины выполняли методом опускного колодца. Когда ножевая часть опускного колодца достигла глубины 14м, произошел вынос обводненного грунта внутрь ствола до отметки 7,8м, что привело к образованию зоны обрушения несущего



слоя грунта вплоть до проседания дневной поверхности (на территории строящегося сооружения).

О естественном «залечивании» зоны обрушения и усреднении плотности грунта в зонах нарушений не могло быть и речи. Проседание дневной поверхности сопровождалось проседанием колонн здания ОНЛЗ на 25-40см. Деформация закреплённого на них рельсового пути стала несовместима с эксплуатацией мостового крана. Дальнейшее бездействие могло усугубить создавшуюся ситуацию и привести к более масштабному проседанию дневной поверхности, дальнейшему опусканию колонн на значительную глубину и к деформации железобетонных конструкций перекрытия строящегося цеха.

Для предотвращения проявляющихся негативных явлений, а именно просадок колонн и искривления кранового пути, рассматривались несколько вариантов решения этих двух сложных задач. На основании анализа технико-экономических показателей предложенных вариантов было принято решение для прекращения просадок:

- укрепить основания фундаментов колонн методом послойной цементации с увеличением несущих свойств всего массива, а выравнивание кранового пути осуществить за счет устройства прокладок под опорные рёбра подкрановых балок.

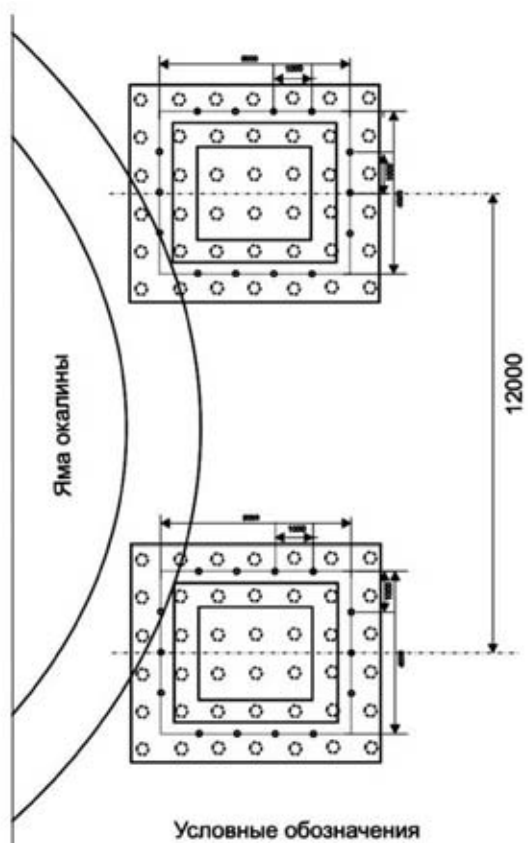
Для послойного закрепления массива было принято решение использовать цементно-силикатный раствор на основе сульфатостойкого цемента и суспензию на основе особо тонкодисперсного минерального вяжущего вещества «Микродур R-F». Суспензия ОТДВ и цементно-силикатный раствор должны подаваться к закрепляемым зонам грунтового массива через манжетные колонны методом манжетного поэтажного инъецирования.

Для осуществления данной технологии ООО «ТИССА» совместно с ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко (Госстрой РФ город Москва) был разработан проект укрепления оснований фундаментов, выполнение которого должно было предотвратить сложившуюся ситуацию. Проект предусматривал укрепить грунт с одновременным сооружением висячих микросвай, проходящих через уступ фундамента колонн на глубину 14 м. Для сооружения таких свай использовали перфорированные металлические толстостенные трубы диаметром 89 мм.

Проектные схемы расположения свай и конструкция скважин приведены на рис. 2 и 3.

При нагнетании цементно-силикатного раствора проект предусматривал выполнение следующих задач:

- заполнение зон нарушений грунта по глубине скважины, что должно предотвратить дальнейшее проседание колонн;
- частичное уплотнение грунта вблизи скважины, что способствовало бы увеличению несущей способности грунта;
- создание жестких цементных «уширений» в зонах перфорации, что позволило бы увеличить несущие способности свай.



- Существующие сваи диам. 300мм
- Проектируемые сваи диам. 132мм

Рис. 2. План расположения свай и нагнетательных скважин.

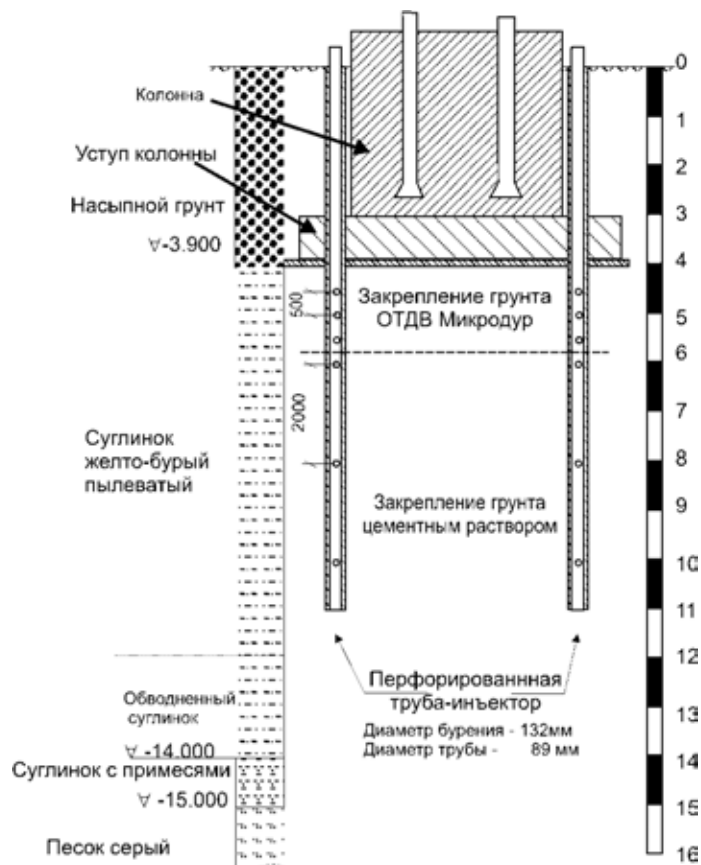


Рис. 3. Схема расположения и конструкция нагнетательных скважин.

Нагнетание ОТДВ «Микродур R-F» должно обеспечить заполнение пор и микротрещин в суглинках непосредственно под подошвой фундамента, способствовать дополнительному увеличению несущей способности грунта и препятствовать проявлению его просадочных свойств.

Предполагаемый проектный объем нагнетания цементно-силикатного раствора составлял  $120\text{ м}^3$ , а суспензии ОТДВ «Микродур R-F» -  $40\text{ м}^3$ .

Для исчерпывающей информации о состоянии и составе грунта была пробурена разведочная скважина с отбором керна, до глубины 14м. Бурение скважины в здании ОНЛЗ выполняли станком СКБ-4 вблизи уступа колонны 8'.

В результате бурения разведочной скважины было установлено, что обводненные пески не встречаются до глубины 14м. Однако в интервале глубин от 12 до 14м, грунты представлены сильно обводненными суглинками. Таким образом, в результате бурения разведочной скважины, было выявлено следующее сложение грунтов:

- в интервале 0 – 3 м – насыпные неустойчивые грунты;

- в интервале 3 – 4 м – железобетон уступа колонны;
- в интервале 4 – 7 м – слабые суглинки;
- в интервале 7 – 9 м – очень плотные суглинки;
- в интервале 9 – 11 м – влажные суглинки.

В результате бурения разведочной скважины было установлено, что оптимальная и целесообразная глубина бурения инъекционных скважин составляет 11м. Это связано с тем, что ниже отметки 12м, как упоминалось выше, грунты представлены сильно обводненными суглинками на границе текучести, что при инъекции может повлечь за собой необоснованный перерасход инъекционного раствора. В связи с изменением глубины скважины, изменилась длина инъектора. Для увеличения несущей способности сваи в инъекторах было добавлено количество зон перфорации. Были установлены следующие этапы нагнетания:

- на первом этапе инъектировали грунты в интервале глубин 4 – 11 м цементно-силикатным раствором (снизу-вверх);

- на втором этапе инъектировали грунты в интервале глубин 4 – 6 м (непосредственно под подошвой фундамента) суспензией ОТДВ «Микродур R-F».

Исходя из глубины, была разработана конструкция скважин. Интервал 0 – 3м – диаметр бурения 190мм, установка кондуктора Ø 159 мм. Интервал 3 – 11м - бурение Ø132 мм. По достижении проектной глубины - 11м, в скважину устанавливали сваю-инъектор длиной 11м из перфорированной трубы Ø 89мм и цементировали затрубное пространство для создания цементной обоймы сваи-инъектора. Для предотвращения попадания цементного раствора внутрь сваи-инъектора перфорацию закрывали резиновыми манжетами. Затвердевания цементной обоймы длилось 48 часов, после чего производили нагнетание раствора непосредственно уже из сваи-инъектора через перфорацию трубы в грунт массива. Нагнетание цементно-силикатного раствора в грунт через перфорацию сваи-инъектора, осуществляли с производительностью 0,3 л/сек. Давление нагнетания в скважине не превышало 1МПа. При этом давление разрыва цементной обоймы сваи-инъектора не нормировалось.

Для выделения зоны (уровня) перфорации и контроля за нагнетанием цементирующего раствора, только в выделенную зону, предназначено двойное пакерующее устройство(рис. 4).

Всего было пробурено 28 скважин на глубину 11 метров.

Для выполнения буровых и инъекционных работ использовано следующее оборудование:

1. Буровая установка УРБ 2-А2.
2. Буровой станок СКБ-4.
3. Растворомешалка  $V = 1,0 \text{ м}^3$  для приготовления цементно-силикатного раствора.
4. Миксер  $V = 0,2 \text{ м}^3$  для приготовления суспензии ОТДВ «Микродур R-F».

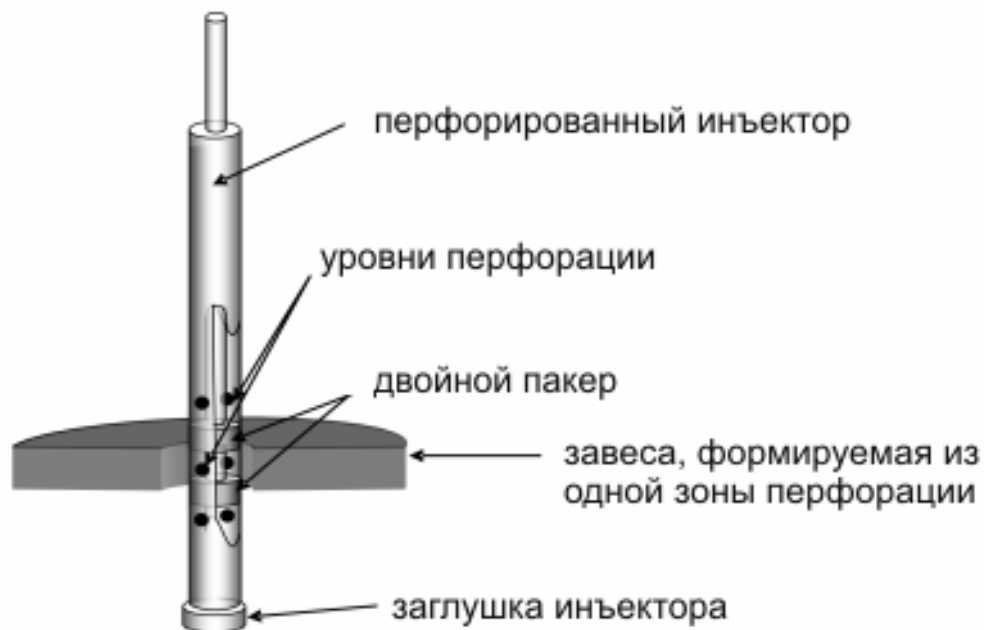


Рис. 4. Устройство и принцип действия двойного пакерующего устройства

5. Насос НБ-4 для нагнетания цементно-силикатного раствора и суспензии ОТДВ.

Контроль плотности цементно-силикатного раствора осуществляли ареометром АБР-1, а контроль сроков схватывания определяли прибором «Игла Вика».

Мониторинг свойств сложенности грунтов в процессе бурения скважин под сваи выявил зоны слабых грунтов, а кое-где и пустоты.

При нагнетании в скважины, расположенные вблизи одной из колонн, наблюдался выход цементного раствора в зумпф отстойника окалины, что подтвердило предположение о наличии пустот в грунтовом массиве основания колонн и решение о необходимости нагнетания цементно-силикатного раствора в горизонт 4-6 м было правильным.

Во всех случаях основанием для прекращения нагнетания являлось достижение давления в скважине 1,0 МПа. при этом наблюдалось остаточное давление в скважинах до 0,3 МПа.

После выполнения инъекционных работ было произведено бурение контрольной скважины с отбором керна. Отбор керна производили установкой УРБ2-А2 с использованием грунтоотборника без вращения и без промывки.

Отбор керновых проб в контрольной скважине показал, что грунт в основании колонны неоднородный, и имеет нарушения структуры. Распространение цементного раствора происходило по ослабленным зонам грунта, что способствовало формированию однородного массива и увеличению его несущей способности в основании колонн.

Расчеты увеличения несущей способности свай за счет цементных уширений показали, что для колонны 8 они составили 651,5 тс, а для колонны 9 –

592 тс. Если учесть, что проектные максимальные вертикальные нагрузки на колонны 8' и 9' не должны превышать 449,2 тс, то выполненные работы можно считать эффективными.

После двухнедельной выдержки по окончании всех работ были проведены контрольные испытания прогонкой мостового крана разной нагруженности. Испытаниями не выявлены какие-либо просадки закрепленных фундаментов колонн 8' и 9' ОНЛЗ Мартеновского цеха ТАГМЕТа.

## **ВЫВОДЫ**

1. Восстановление несущей способности оснований фундаментов здания ОНЛЗ в осях 8' и 9' по ряду В осуществлено при использовании комплекса мероприятий, которые включают устройство буроинъекционных микросвай с цементными уширениями и инъектирование в грунт укрепляющих цементно-силикатных растворов и суспензии ОТДВ «Микродур R-F».

2. Бурением инъекционных скважин обнаружены неоднородности грунтового массива, а в ряде случаев и пустоты под уступами колонн, что потребовало корректировки проектных решений и использование дополнительного объема цементно-силикатного раствора для ликвидации пустот и укрепления разуплотненных зон в интервале глубин 4-6 м.

3. При выполнении инъекционных работ миграция укрепляющих растворов на значительные расстояния наблюдалась при обработке грунта на глубинах 4 – 7 м, что свидетельствует о формировании разуплотнений именно в этом интервале глубин после выноса грунта в строящийся отстойник окалины.

4. Достижение при инъектировании остаточного давления во всех инъекционных скважинах позволяет заключить о достаточном заполнении пустот и укреплении разуплотненных зон, что обеспечивает значительное увеличение несущей способности грунтов в основании колонн осей 8' и 9' ряда В ОНЛЗ мартеновского цеха Таганрогского металлургического завода.

5. Теоретический расчет несущей способности буроинъекционных свай с цементными уширениями показал высокую эффективность укрепительных работ.

6. Использование сульфатостойкого портландцемента при укрепительных работах позволяет избежать сульфатной коррозии цемента под действием подземных вод и прогнозировать эффективность укрепительных мероприятий на длительный период времени.

## ***Литература***

1. СНиП 2.02.03 – 85 «Свайные фундаменты».
2. Основания и фундаменты: Справочник/ Г.И. Швецов, И.В. Носков, А.Д. Слободян, Г.С. Госькова; Под.ред. Г.И. Швецова. – М.: Высш. шк., 1991. – 383 с.
3. Волженский А.В. и др. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства). – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.,

4. Современные проблемы шахтного и подземного строительства. – Донецк: Норд-пресс.- Выпуск №6. – 2005 . - с.

5. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт. Издание второе, переработанное и дополненное. – Днепропетровск, НГУ, 2004. – 415 с.

УДК 622. 016

## **ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ТАМПОНАЖНЫМИ СОСТАВАМИ**

*В.А. Дмитриенко, М.И. Романова, Г.Г. Бадалян,  
Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического  
университета, Россия*

На площадках строительства шахт, монтаж временных и постоянных подъемных машин и копров, проходческих лебедок и т.п., требует возведения массивных фундаментов, а в условиях просадочных грунтов еще и устройства свайного основания. Все это также приводит к значительным затратам. Поэтому единственным путем сокращения затрат на временные объекты является повышение их мобильности и многократное использование.

В пределах городской застройки стоимость земли под строительство существенно возрастает, следовательно, приоритетным направлением будет возведение новых высотных зданий на месте старых и ветхих, для чего потребуются укрепление откосов котлованов и повышение несущей способности оснований фундаментов.

В связи с этим заслуживает внимания опыт немецкой фирмы «ISCHEBССК» по применению буровых и впрессовываемых анкерных свай «TITAN». Так как при монтаже временных сооружений, использование грунтовых анкеров и свай, вместо устройства массивных фундаментов, позволит значительно сократить затраты. Но глубина заделки анкеров в этом случае, как показывают расчеты, должна находиться в пределах 2-х – 3-х метров.

Несмотря на неоспоримые преимущества технологии, и опыта применения анкерных свай TITAN им присущи серьезные недостатки - очень высокая стоимость анкерных штанг из специальной стали и не всегда востребованная высокая несущая способность при длине более 6 метров.

По предварительным оценкам, использование в качестве анкерного стрежня водо-газопроводной сварной трубы диаметром 1,5', может обеспечить несущую способность 100 – 120 кН, этого вполне достаточно для закрепления 4 - 6 анкерами большинства проходческого оборудования, опор временных ЛЭП и т.п.

Исследования анкеров длиной до 2 м показали, что в этом случае выполнить допрессовывание цементного раствора с давлением до 6,0 МПа не представлялось возможным - происходило выдавливание цементного раствора вдоль трубы, без существенного повышения давления. Попытки герметизации



устья скважин при вибрирующем стержне не дали положительных результатов.

Максимальное давление опрессовки, которого удалось достичь в песчаных грунтах, составило 2,1 МПа, в глинистых оно не превышало 0,8 МПа. Это объясняется тем, что при смешивании песка с цементным раствором, образуется состав с более высокими структурно-механическими характеристиками, а интенсивное отфильтровывание жидкой фазы в массив, еще больше увеличивает их. Смешивание же разрыхленных глинистых грунтов с цементным раствором, хотя и повышает вязкость, но динамическое воздействие трубы резко увеличивает подвижность смеси.

Кроме этого в песчаном грунте раствор вдоль стержня имеет почти одинаковую структуру по длине и небольшие колебания по прочности, в среднем 18,0 – 22,0 МПа (при марке цемента М500). В глинистых грунтах структура цементного камня пористая с включениями плохо перемешанных частиц грунта, причем размер частиц иногда превышает 5 мм, прочность раствора при этом составляет лишь 8 МПа. Следует также отметить, что, излив раствора из скважины в песчаном грунте составляет 10 – 15%, а в глинистом превышает 50%.

При определении физико-механических свойств грунтов возле контура впрессованного цементного тела анкера отмечен целый ряд аномальных значений пластической прочности грунта  $R_m$ , причем как в сторону увеличения, так и уменьшения от среднего значения. При использовании двухступенчатой насадки на анкерный стержень, наблюдалось наибольшее увеличение пластической прочности грунта вблизи контура анкера, в связи с более глубоким проникновением раствора в массив.

Минимальные значения  $R_m$ , отмечены при использовании цементного раствора без добавок пластификатора и ускорителей схватывания. Это очевидно приводило к отфильтровыванию большого количества жидкой фазы из раствора и увеличению пластичности приконтурного слоя грунта. Не исключены также процессы диффузионного выщелачивания солей из глинистых пород, что, как правило, сопровождается уменьшением сопротивления сдвигу грунта.

Таким образом, можно отметить, что необходимо тщательное изучение поведения массива грунта с учетом особенностей строения глинистых пород, при нагнетании в него цементного раствора.

Структуры глинистых грунтов сложны и разнообразны, в большинстве случаев они представляют собой сочетание трех фаз - твердой (минеральной), жидкой и газообразной. На 95% они состоят из глинистых минералов, которые представляют собой соединения водных силикатов слоистого или слоисто-ленточного строения, образовавшиеся в результате химического выветривания горных пород. В зависимости от состава и кристаллического строения глинистых минералов ярче других проявляются водно-физические свойства. На этой основе выделяют три группы глинистых минералов: каолинита, монтмориллонита и гидрослюды.

Наиболее гидрофильны минералы группы монтмориллонита из-за особенностей кристаллической решетки, отдельные пакеты которой имеют симметричное строение. Это приводит к образованию высокой влажности и

пористости пород, содержащих минералы этой группы, а отсюда к высокой активности глинистых суспензий, высокой пластичности, сжимаемости, набухаемости, емкости обмена и т.д.

Минералы группы каолинита менее гидрофильны так как их кристаллическая решетка прочна, каждый пакет состоит из 5 элементарных слоев, при этом первый представлен атомами кислорода, а последний гидроксильной группой, что обеспечивает устойчивую связь соседних пакетов. В связи с этим глинистые каолинитовые породы характеризуются меньшей влажностью, пластичностью и набухаемостью. Они более плотны, менее сжимаемы.

Гидрослюдистые минералы занимают промежуточное положение, поэтому глинистые породы гидрослюдистого состава по своим свойствам находятся между двумя группами пород, описанных выше.

Наличие глинистых минералов с их огромной удельной поверхностью обуславливает особый тип связей между частицами. Связность глинистых пород, как показывают исследования последних лет формируются за счет совместного действия ионно-гидростатических, капиллярных и молекулярных сил.

Значительная часть воды в глинистой породе находится в связанном состоянии в виде абсорбированных пленок, обволакивающих минеральные частицы высокодисперсных фракций.

Адсорбированные пленки исключают возможность установления истинных контактов минеральных зерен. Эти контакты всегда пластифицированы пленкой связанной воды, которая обволакивает минеральные частицы (гидрогели кремнезема и органических веществ). В результате между минеральными частицами глинистых пород устанавливается особый тип структурных связей водно-коллоидный. Он придает глинистым породам пластичность, высокую чувствительность к влажности, обратимость и восстанавливаемость и другие специфические свойства.

Из вышесказанного можно заключить, что для повышения прочности структуры глинистых грунтов необходимо механическое уплотнение, что и происходит при формировании впрессовываемого тела вокруг анкерного стержня под действием давления цементного раствора. Однако глинистые грунты за счет своей дисперсности при уплотнении ведут себя особо. В начале за счет уплотнения происходит сближение частиц, возрастает энергия межчастичных связей молекулярной природы, но при дальнейшем сближении на расстоянии меньше двойного радиуса действия электростатических сил (т.е. при перекрытии гидратно-ионных оболочек) вступают в действие силы кулоновского отталкивания ионных сфер соседних частиц с зарядами одного и того же знака. Действием этих сил обусловлена способность глинистых пород к набуханию (при гидратации) и усадкам (при дегидратации). Образующиеся структурные связи являются коагуляционно-конденсационными.

Кроме этого при упрочнении глинистых грунтов цементацией необходимо учитывать, что цементирующие вещества, обладают молекулярным сходством с поверхностью минеральных частиц. В природных условиях это могут быть гидрогели кремнезема, появляющиеся на поверхности частиц твердой фазы за счет

гидролиза силикатов, а также органические (в основном гуминовые) вещества которые поляризуются в присутствии ионов кальция и цементируют частицы твердой фазы в пределах площадок микроконтактов с минимальной толщиной ионно-гидратных пленок. При этом возникают коагуляционно-цементационные структурные связи, повышающие прочность породы.

Наибольшей прочности глинистые породы достигают при формировании в них цементационного типа структурных связей, при этом цементирующее вещество (минеральные вещества из перенасыщенного порового раствора) замещают ионно-гидратные пленки на площадках микроконтактов частиц (т.е. возникает контактный тип цементации). Затем может происходить инкрустирование пор и трещин породы, частично или полностью заполнится поровое пространство. По мере вытеснения коагуляционно-цементационных структурных связей цементационными, глинистые породы приобретают свойства полутвердого тела, что наблюдается в глинах третичного возраста. Покровные отложения четвертичного возраста еще не имеют такой стадии консолидации, поэтому формирование в них цементационного типа структурных связей возможно только частично и при наличии высокой пористости.

Для изучения влияния свойств грунта на условия формирования «впрессовываемого тела» и деформирование массива, разработана экспериментальная установка для исследования на физических моделях условий развития полости в зоне заделки анкерных стержней при нагнетании цементного раствора.

Поскольку механические свойства глинистых грунтов в основном зависят от их влажности и плотности структуры, как указывалось ранее, то первоначально эксперименты проведены на трех моделях с варьированием этих факторов.

На рис. 1 представлена модель деформирования суглинка объемной массой скелета  $\rho = 1590 \text{ кг/м}^3$ , влажностью  $W = 23,5 \%$  при давлении  $P = 0,84 \text{ МПа}$ , где просматриваются две зоны пластических деформаций с четкими границами смещений грунта модели и зона трещинообразования, в результате можно отметить, что на участках пластических деформаций по плоскостям сдвига наблюдается глубокое проникновение цементного раствора в грунт до 50 – 70 мм, в зоне же трещинообразования диффузия раствора не превышает 5 мм.

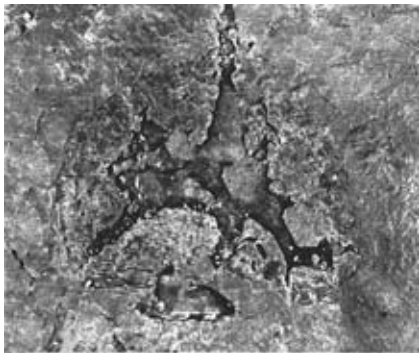


Рис 1. Модель деформирования суглинка минимальной плотности

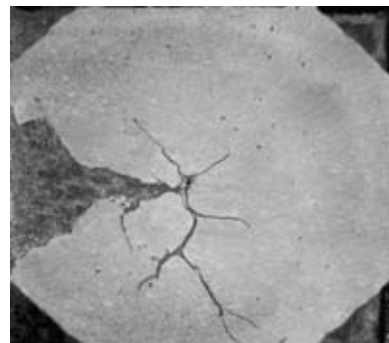


Рис. 2. Деформирование модели грунта максимальной плотности

Измерения пластической прочности грунта модели по контакту с «впрессовываемым телом» показывают, что в местах проникновения тампонажного состава пластическая прочность структуры суглинка, уже через трое суток увеличилась в 1,6 раза, а уплотненного грунта за пределами деформированной зоны в 1,4 раза по сравнению с первоначальной. В местах непосредственного контакта суглинка с участками проникновения нагнетаемого состава пластическая прочность снижается почти на треть, за счет увлажнения грунта отфильтрованной из цементного раствора водой.

На рис. 2 приведена модель с максимально уплотненным грунтом  $\rho = 1687 \text{ кг/м}^3$ , влажностью  $W = 8,9 \%$ , на которой зоны деформации практически отсутствуют, диффузия цементного раствора не превышает 1-2 мм, да и то только в устье трещин, несмотря на то, что давление нагнетания составляло 2,2 МПа. Более высокого давления нагнетания достичь не удалось из-за разрушения модели.

На аналогичной модели, но с объемной массой скелета  $\rho = 1630 \text{ кг/м}^3$ , влажностью  $W = 14,2 \%$ . (рис. 3), наблюдается формирование системы трещин, практически без зоны смещений. Однако на этой модели даже при отсутствии зон сдвиговых деформаций имеется ряд участков с глубоким диффузионным проникновением цементного раствора. В этом эксперименте для более четкого наблюдения за контуром развития полости зоны заделки в цементную суспензию добавлялся магнетит, что позволило легко просматривать диффузионное проникновение цементного раствора даже в трещинах и при более низком давлении нагнетания, чем во втором эксперименте. Аномального снижения пластической прочности грунта по контакту сформированной полости и раствора, также не отмечено.



Рис. 3. Деформирование модели грунта средней плотности

цементных составов с минимальной водоотдачей, поскольку их проникающая способность в данном случае принципиального значения не имеет из-за ничтожно

Таким образом, установлено, что формирование полости тела» существенно зависит от плотности и влажности массива грунта. Поскольку эти параметры могут легко определяться даже в полевых условиях, то целесообразно разработать методику проектирования параметров установки анкеров в глинистых грунтах с учетом именно этих факторов, так как расчеты по пределу текучести и углу внутреннего трения будут весьма условны из-за их изменения по мере удаления от анкерного стержня.

Весьма важным фактором повышения надежности закрепления анкеров в глинистых грунтах является разработка

малой прочности уплотненного грунта по сравнению с характеристиками цементного камня «впрессованного тела». В связи с этим на кафедре в настоящее время выполняется комплекс исследований по разработке новых тампонажных составов.

УДК 622.257.1

## **ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ТАМПОНАЖУ АНОМАЛЬНЫХ ЗОН В ТЕЛЕ ДАМБЫ ШЛАМОТСТОЙНИКА**

*П.Н. Должиков, В.Д. Рябичев, Д.В. Пронский, В.П. Сбитнев,  
Антрацитовский факультет горного дела и транспорта  
ВНУ им. В.Даля, г. Антрацит*

Продолжительная и интенсивная эксплуатация подземных и гидротехнических сооружений, подземная разработка полезных ископаемых и ряд других техногенных воздействий на горный массив обуславливают изменение его изначально сложившейся гидрогеомеханической картины. Процесс преобразования горного массива имеет локальный характер и связан с образованием аномальных зон, то есть зон с изменившимися физико-механическими свойствами пород. Породы аномальных зон характеризуются пониженными прочностными и повышенными фильтрационными свойствами по сравнению с вмещающим их нормальным, неразуплотненным массивом.

Как показывает анализ геофизических исследований на различных инженерных объектах, развитию аномальных зон наиболее подвержены дисперсные грунты, в частности – пески, супеси и суглинки. Развитие таких зон в инженерном сооружении или вблизи него влечет за собой развитие аварийной ситуации [1].

Ликвидация аномальных зон в песчано-глинистых грунтах до сих пор была малоразрешима. Существующие способы закрепления и упрочнения дисперсных пород (силикатизация, электрохимическое закрепление, метод напорных струй) используются, как правило, при строительстве или для обеспечения строительства (сооружение грунтовых подпорных стен, укрепление откосов, упрочнение оснований и т.д.) и не связаны с ликвидацией локальных аномальных структур в массиве, который вмещает уже эксплуатирующиеся инженерные объекты.

Предложен новый способ ликвидации аномальных зон в дисперсных грунтах вязкопластичными растворами. Сущность способа заключается в поинтервальном инъецировании в аномальную зону вязкопластичного глиноцементного раствора. При этом, в ее наиболее ослабленных местах происходит гидроразрыв с образованием системы фильтрационных каналов. Под действием перепада давления тампонажного раствора, заполнившего каналы

течения, происходит фильтрационное уплотнение пород аномальной зоны и ее переход из деконсолидированного в консолидированное состояние.

Ранее, аналитическими и стендовыми исследованиями были установлены зависимости основных физико-механических свойств деконсолидированных пород от технологических параметров их тампонажа – давления нагнетания, радиуса распространения раствора, объема раствора и т.д., необходимых для разработки методики проектирования [2]. Для их подтверждения был проведен натурный эксперимент по тампонажу аномальных зон в теле дамбы шламоотстойника шахты «Суходольская-Восточная». Для достижения поставленной цели натурального эксперимента ставились и решались следующие задачи:

1. Подтвердить зависимости фильтрационно-прочностных свойств деконсолидированных пород от давления нагнетания, установленных стендовыми испытаниями.

2. Обосновать технологические параметры тампонажа аномальных зон вязкопластичными растворами, установленные аналитическим путем.

Грунтовая дамба пруда-отстойника сооружена из местного материала – бурого суглинка. Дамба имеет клинообразную форму (рис. 1). Протяженность ее вдоль гребня – 220 м, высота в центральной части – 15 м, ширина в нижнем основании – 11 м, а ширина гребня – 6,5 м.

В результате длительной эксплуатации отстойника, его заполнений и спусков, в теле грунтовой дамбы образовались зоны разуплотнений и повышенной фильтрации промышленных вод. Это неоднократно отмечалось визуальными наблюдениями на основе геофизических исследований. Физико-техническое состояние дамбы было признано аварийным.

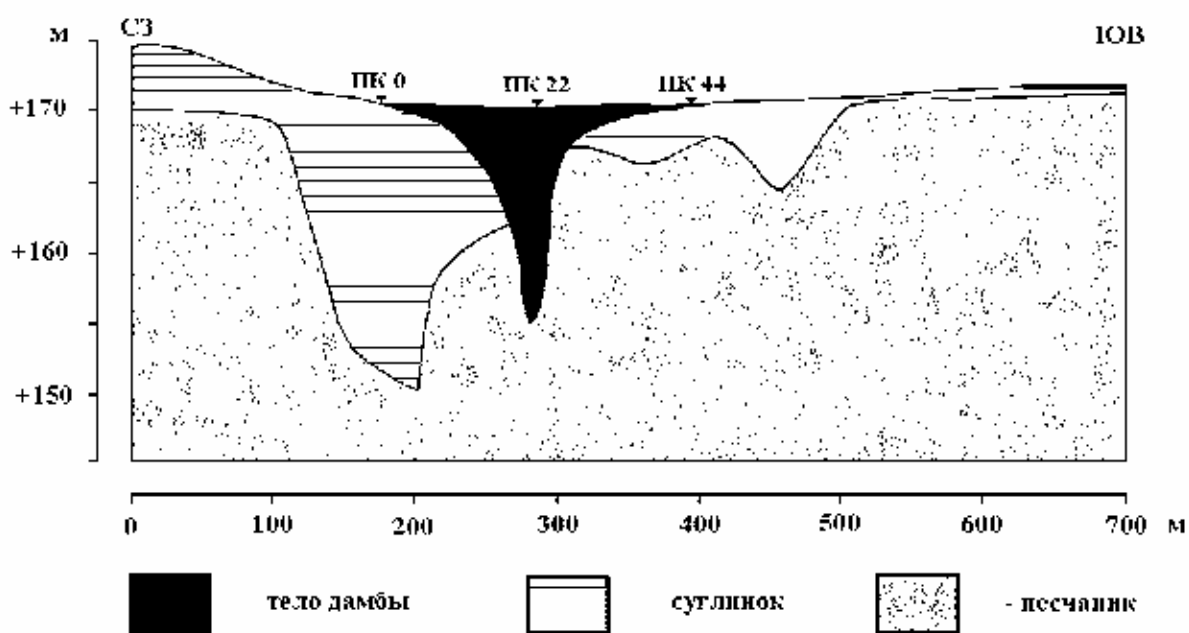


Рис. 1. Геологический разрез вдоль гребня дамбы пруда отстойника



Перед производством тампонажных работ был выполнен комплекс работ по выявлению и параметризации аномальных зон в теле дамбы. Этот комплекс включал в себя визуальное обследование, бурение разведочных скважин и магнитодинамическую съемку по гребню дамбы.

Магнитодинамическая съемка производилась пошагово с помощью магнитодинамического интроскопа массивов МДИМ-1. Съемка осуществлялась вдоль гребня грунтовой дамбы, который был разбит на 44 пикета (ПК0-ПК44). Расстояние между пикетами – 5 м. На каждом пикете производились замеры полного вектора геомагнитной индукции на двух высотах – 0,2 и 1,3 м. Высота 1,3 м являлась границей зоны диссимиляции. По результатам измерений были построены графики, позволяющие по ширине и амплитуде аномальных всплесков, по сравнению с фоном, параметризовать зоны разуплотнений в грунтовой дамбе.

Весь изыскательский комплекс показал наличие в теле дамбы трех аномальных зон, характеризующихся повышенной фильтрацией техновод (1,5-1,9 м<sup>3</sup>/сут): с ПК20 по ПК23 на глубинах от поверхности 6, 9 и 7 м. Основные свойства нормальных и деконсолидированных пород дамбы представлены в табл. 1.

По уравнениям, полученным в результате аналитических и стендовых исследований, были рассчитаны технологические параметры тампонажа (табл. 2).

Таблица 1

Физико-механические свойства пород дамбы шламоотстойника

Свойство	Состояние пород дамбы	
	нормальное	аномальное
Плотность абсолютно сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	1,73	1,53
Коэффициент деконсолидации, ед.	1,00	1,13
Коэффициент фильтрации, м/сут	0,02	0,43
Сцепление, кПа	22,6	19,8
Угол внутреннего трения, град.	18,2	16,7

Для производства тампонажных работ применялся вязкопластичный глиноцементный раствор, свойства которого наиболее близки к тампонируемым аномальным породам. Такой раствор представляет собой высококонсистентную систему, состоящую из глины, цемента, структурообразователя и воды. Достоинствами глиноцементного раствора являются: низкий коэффициент фильтрации, быстрый набор пластической прочности, отсутствие осадок и относительно небольшая стоимость (до 85-90 % глины) [3].

Основные технологические параметры тампонажа аномальных зон дамбы шламоотстойника

Наименование параметра	Значение параметра
Предельное давление раствора в скважине, МПа	1,9
Эффективное давление раствора в скважине, МПа	0,1
Давление нагнетания раствора на насосе, МПа	1,25
Предельный радиус распространения раствора, м	2,2
Эффективный радиус распространения раствора, м	2,0
Общее количество тампонажных скважин	9
Объем тампонажного раствора на одну скважину, м <sup>3</sup>	1,96
Общий объем тампонажного раствора, м <sup>3</sup>	17,64

С ПК20 по ПК23 по гребню дамбы в шахматном порядке были пробурены тампонажные скважины (рис. 2). Глубина каждой составляла 10 м. Исходя из эффективного радиуса распространения раствора из одной скважины  $R_{эф} = 2$  м и необходимости перекрытия контуров влияния раствора для создания непроницаемой завесы общее количество скважин составило  $N_{скв} = 9$ . Геометрическое расположение скважин было следующим:

- количество рядов скважин вдоль гребня дамбы – 2;
- расстояние между рядами скважин – 3,2 м;
- расстояние между рядами скважин – 3,2 м;
- расстояние между скважинами одного ряда – 3,6 м.

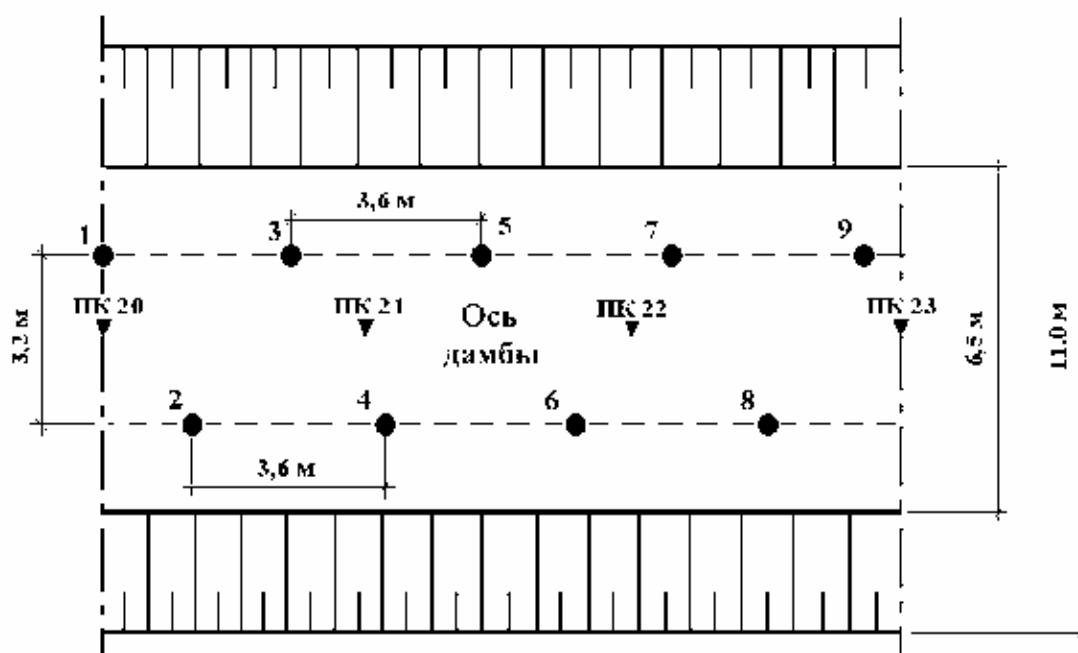


Рис. 2. Схема расположения тампонажных скважин на гребне дамбы шламоотстойника

Бурение скважин осуществлялось буровой установкой УРБ-2А2. Конструкция тампонажных скважин приведена в табл. 3. Устье скважины обсаживалось стальным кондуктором длиной 8 м.

Таблица 3

### Конструкция тампонажных скважин

№ скважины	Глубина скважины, м	Интервал бурения, м	Диаметр бурения, м	Диаметр обсадных труб, мм
1-9	10	0-8 8-10	151 93	146 -

Была принята полуциркуляционная схема нагнетания глиноцементного раствора заходками в направлении сверху-вниз. Для нагнетания раствора применялся насос НБ-32. Величина тампонажной заходки 2 м. Последовательность инъецирования раствора в отдельную скважину показана на рис. 2. Ввиду небольшой глубины залегания аномальных зон возникала опасность прорыва тампонажного раствора за пределы зоны инъецирования и разрушения стенок дамбы. Для предотвращения такой ситуации, применялся «щадящий» режим инъецирования. То есть в процессе нагнетания раствора учитывались прочностной и скоростной критерии ограничения технологического режима (по давлению нагнетания и расходу раствора), поэтому прорывов из стенок грунтовой дамбы и выхода его на поверхность практически не наблюдалось. При необходимости, управление процессом тампонажа осуществлялось за счет небольшого изменения рецептуры глиноцементного раствора.

Контроль качества проведенных работ по тампонажу аномальных зон в теле дамбы вязкопластичными растворами проводился путем применения магнитодинамических исследований вдоль гребня и бурения контрольных скважин с отбором керна. Проведенный комплекс исследований показал, что под действием давления тампонажного раствора в каналах гидрорасчленения произошла консолидация пород аномальной зоны и изменение их физико-механических свойств в сторону близким к первоначальным.

Промышленный эксперимент подтвердил аналитические и стендовые исследования с относительной ошибкой не более 14 %, что допустимо для практики, в связи с чем, была разработана новая методика проектирования технологических параметров тампонажа аномальных зон в дисперсных грунтах вязкопластичными растворами, которая позволяет гарантированно стабилизировать массив пород и предотвратить аварийную ситуацию на объекте.

### *Литература*

1. 3. Соболев Е.Г., Должиков П.Н., Пронский Д.В. Магнитодинамические исследования при тампонаже аномальных зон неглубокого залегания // Науковий вісник НГУ. – 2003. №2. – с. 29-32.

2. Должиков П.Н., Рябичев В.Д., Пронский Д.В. Исследование параметров и процесса тампонажа зон разуплотнений горных пород // Науковий вісник НГУ. – 2004. №1. – с. 35-37.

3. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт: Учеб. пособие / Э.Я. Кипко, П.Н. Должиков, Н.А. Дудля и др. – Днепропетровск: НГУ, 2004. – 415 с.

УДК 622.257.12

## ОЦЕНКА СКОРОСТИ МИГРАЦИИ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В ГЛИНОЦЕМЕНТНЫХ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРАХ

*Е.Г. Цаплин, ООО «ТИССА», г. Антрацит*

В последнее время в нашей стране, как и во всем мире, охрана окружающей среды от техногенных загрязнений приобретает первостепенную роль.

Донбасский регион (Донецкая и Луганская области) очень специфический, так как на небольшой площади сконцентрированы такие отрасли промышленности, как химическая, нефтехимическая, металлургическая и угольная. Поэтому здесь особенно остро стоит проблема состояния природной среды. Опасность загрязнения подземных вод возникает в связи с фильтрацией в водоносные пласты сточных вод и жидких отходов вредных промышленных производств.

Очевидным способом локализации источников токсичных вод и защиты горных выработок от мигрирующих загрязнений является тампонаж путей фильтрации загрязнений. Наиболее эффективным для этих целей является комплексный метод тампонажа, использующий глиноцементные тампонажные растворы. При этом очевидно, что совершенная завеса из непроницаемого тампонажного раствора не гарантирует абсолютной защиты окружающей среды от загрязнений токсичными веществами вследствие миграции ионов за счет диффузии.

В связи с этим поставлена задача - получить зависимости, позволяющие оценить вклад диффузии при миграции токсичных ионов в глиноцементном тампонажном растворе, рассчитать срок службы тампонажной завесы при миграции ионов только за счет диффузии и разработать рекомендации по регулированию скорости диффузии ионов в глиноцементном тампонажном растворе.

Оценка скорости диффузии ионов в глиноцементном тампонажном растворе требует решения уравнения диффузии с учетом равновесной адсорбции ионов на глинистых минералах.

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} - nD \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} = \frac{\partial N}{\partial t} \quad (x>0, t>0) \quad (1)$$

где:  $C$  – концентрация ионов в жидкой фазе тампонажного раствора;

$N$  – количество адсорбируемого вещества;  
 $n$  – пористость тампонажного материала.

Если рассматривать процесс равновесной адсорбции, при котором

$\frac{\partial N}{\partial t} = K \frac{\partial C}{\partial t}$ , где  $K$  – константа равновесия адсорбции и ввести обозначение  $D_T$  – кажущийся коэффициент диффузии:

$$D_T = \frac{nD}{(1+K)}, \quad (2)$$

то уравнение (1) сводится к виду:

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} - D_T \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} = 0 \quad (3)$$

При решении уравнения следует учесть однородность тампонажного материала, что позволит рассматривать одномерный процесс диффузии. Другие предположения, которые позволят упростить решение задачи миграции ионов:

- коэффициент диффузии ионов в тампонажном растворе достаточно мал по сравнению с коэффициентом диффузии воды и концентрацию солей в воде на контакте с тампонажным материалом можно считать постоянной;
- до начала диффузии концентрация токсинов в тампонажном растворе равна 0;
- размер завесы достаточно велик и влияние противоположной границы завесы не сказывается на процессах, происходящих на контакте с пластовой водой, т.е. принимается полубесконечная модель завесы.

Граничные условия:

$$\left. \begin{array}{l} C(0,t) = 0 \\ \int_0^{\infty} |C(x,t)|^2 dx - \text{существует} \end{array} \right\} t > 0;$$

Начальные условия:

$$C(x,0) = C_e \quad (x > 0);$$

где:  $C(x,t)$  – распределение концентрации ионов по ширине завесы:

$C_b$  – концентрация ионов в пластовой воде;

$D$  – коэффициент диффузии ионов в воде;

$n$  – пористость тампонажного материала.

Решение данного уравнения имеет вид:

$$C(x,t) = C_e \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_T t}} \right) \right] \quad (4)$$

В качестве критерия срока службы тампонажной завесы, очевидно, следует принять время, за которое на внешней границе завесы в жидкой фазе тампонажного раствора реализуется концентрация ионов, равная предельно-допустимой концентрации (ПДК)  $C_d$ . При подстановке ПДК в (4) имеем:

$$C_d = C_e \left[ 1 - \operatorname{erf} \left| \frac{x}{2\sqrt{D_T t}} \right| \right]; \quad (5)$$

или:

$$\bar{C} = \frac{C_d}{C_e} 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D_T t}}\right). \quad (6)$$

Из соотношения (6) следуют расчетные формулы для определения необходимых размеров тампонажной завесы или срока ее службы исходя из заданных размеров:

$$\left. \begin{aligned} x &= 2\sqrt{D_T t} \operatorname{arccerf}(1 - \bar{C}) \\ t &= \left[ \frac{x}{\operatorname{arccerf}(1 - \bar{C})} \right]^2 \frac{1}{4D_T} \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

При достаточно больших  $t$ , выражение (7) упрощается к виду:

$$x = \sqrt{\pi D_T t} (1 - \bar{C}); \quad (8)$$

$$t = \frac{1}{\pi D_T} \left( \frac{x}{1 - \bar{C}} \right)^2. \quad (9)$$

Если подставить в (9) значение коэффициента диффузии согласно (2), получим выражение, из которого следуют пути повышения эффективности защитных свойств тампонажного раствора для условий токсичных вод:

$$t = \frac{1 + K}{\pi n D} \left( \frac{x}{1 - \bar{C}} \right)^2. \quad (2.31)$$

Из приведенных зависимостей следует, что для повышения эффективности защитных свойств завесы целесообразно применять тампонажные растворы с малым водо-твердым отношением ( $n \rightarrow 0$ ) при высокой адсорбционной способности твердого ( $K \rightarrow 1$ ).

Отсюда следуют пути разработки изолирующих тампонажных растворов, эффективных для защиты окружающей среды от токсичных и радиоактивных загрязнений. Очевидно, перспективными являются смеси, содержащие большое количество твердого (глины) и при этом целесообразно применение добавок соответствующих сорбентов (цеолит, вермикулит).

В настоящее время в СТГ разработаны три рецептуры глиноцементных тампонажных растворов, отвечающих требованиям гидроизоляции и имеющих малый коэффициент диффузии.

Состав №1 – глиноцементный, на основе глин Часов-Ярского месторождения.

Состав №2 – глиноцементный с добавкой цеолита Сокирницкого месторождения.

Состав №3 – глиноцементный с добавкой золы уноса Кураховской ТЭС.

Для оценки эффективности защитных свойств разработанных рецептур проведены работы по определению коэффициентов диффузии изолирующих растворов.

Методика исследований заключалась в следующем:

- образцы тампонажного раствора помещали в раствор солей в специальных

кассетах, допускающих односторонний контакт со средой;

- после определенного срока экспозиции образцы извлекали и подвергали послойному анализу химического состава;
- полученные данные аппроксимировали выражением (4) и при максимальной сходимости расчетных и экспериментальных данных определяли коэффициент диффузии.

В табл. 1 приведены составы и технологические характеристики исследованных тампонажных растворов.

В табл. 2 приведены значения кажущегося коэффициента диффузии, полученные в результате исследований.

На рис. 1 приведены зависимости срока службы тампонажной завесы в зависимости от требуемого уменьшения концентрации ионов на внешней границе завесы для двух значений коэффициента диффузии:

- $D=0.01$  – сравнимый с коэффициентом диффузии воды;
- $D=0.001$  – максимальный из экспериментально полученных значений.

Таблица 1

Составы и основные характеристики изолирующих растворов на основе глин Часов-Ярского месторождения

№ п/п	Тип изолирующего раствора	Состав, кг на 1 м <sup>3</sup>					Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, через 10 сут. кг/см <sup>2</sup>
		глина	цемент	цеолит	зола	вода		
Без уплотнения								
1	Глино-цементный	500	100	-	-	800	1400	5,2
2	Глино-цементно-цеолитовый	400	60	100	-	840	1400	10,8
3	Глино-зольно-цементный	340	60	-	600	600	1600	8,8
После уплотнения								
4	Глино-цементный	560	110	-	-	770	1440	14,4
5	Глино-цементно-цеолитовый	445	67	110	-	820	1440	10,8
6	Глино-зольно-цементный	377	67	-	667	550	1660	18,6



Результаты лабораторных определений значений коэффициентов диффузии ионов калия и бария в изолирующих растворах

№ рецепт.	Коэффициент диффузии ионов калия			Коэффициент диффузии ионов бария		
	см <sup>2</sup> /с	м <sup>2</sup> /год	Г <sub>ху</sub>	см <sup>2</sup> /с	м <sup>2</sup> /год	Г <sub>ху</sub>
1	9,83*10 <sup>-7</sup>	3,10*10 <sup>-3</sup>	0,899	9,80*10 <sup>-8</sup>	3,12*10 <sup>-4</sup>	0,999
2	3,18*10 <sup>-7</sup>	1,00*10 <sup>-7</sup>	0,985	6,90*10 <sup>-8</sup>	2,19*10 <sup>-4</sup>	0,984
3	8,30*10 <sup>-8</sup>	2,64*10 <sup>-4</sup>	0,936	6,40*10 <sup>-8</sup>	2,02*10 <sup>-4</sup>	0,879
4	2,60*10 <sup>-8</sup>	8,37*10 <sup>-5</sup>	0,926	1,10*10 <sup>-8</sup>	3,55*10 <sup>-5</sup>	0,911
5	2,10*10 <sup>-8</sup>	6,73*10 <sup>-5</sup>	0,883	1,00*10 <sup>-8</sup>	3,17*10 <sup>-5</sup>	0,836
6	1,1*10 <sup>-8</sup>	3,70*10 <sup>-5</sup>	0,896	3,0*10 <sup>-9</sup>	2,71*10 <sup>-5</sup>	0,826

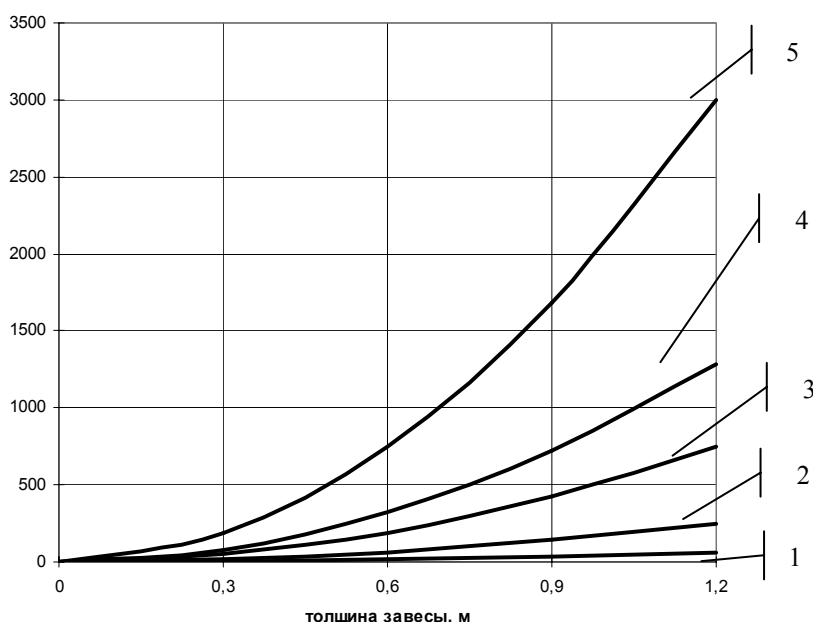


Рис.1. Зависимость срока службы от толщины завесы для различных условий.

- 1-диффузия ионов K<sup>+</sup> при отсутствии завесы;
- 2-диффузия ионов Ba<sup>2+</sup> в глиноцементном растворе;
- 3-диффузия ионов Ba<sup>2+</sup> в глиноцементном растворе с добавкой цеолита;
- 4-диффузия ионов K<sup>+</sup> в глиноцементном растворе;
- 5-диффузия ионов K<sup>+</sup> в глиноцементном растворе с добавкой цеолита.

#### Выводы

Из приведенных данных следует, что коэффициент диффузии ионов в жидкой фазе глиноцементных растворов по крайней мере на порядок меньше коэффициента диффузии ионов в воде. Поэтому глиноцементные тампонажные

растворы являются эффективным материалом для локализации источников токсичных вод и защиты горных выработок от мигрирующих загрязнений.

Из полученных результатов исследований также следует, что применение адсорбирующих добавок (цеолита) в тампонажных растворах не приводит к значительному уменьшению коэффициента диффузии. Эффективнее применять смеси с уменьшенной пористостью, т.е. влажностью, как, например, глино-зольно-цементные (уплотненные и не уплотненные) растворы.

### *Литература*

1. Мироненко В.А., Мальский Е.В., Румынин В.Г. Изучение загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах. - Л.: Недра, 1988. - 279 с.

2. Кульчицкий Л.И., Усъяров О.Г. Физикохимические основы формирования свойств горных пород. - М.: Недра, 1981. - 178 с.

3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука. 1970. - 720 с.

УДК 622.257.

## **НОВЫЙ СПОСОБ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ**

*Ю.Н. Спичак, Г.О. Линник, СО «А-Плюс ЛТД», г. Антрацит*

С 60-х годов 19в. до середины 20в. в Украине были построены и действуют в настоящее время более 40 железнодорожных тоннелей с различной протяженностью. Большая часть тоннелей эксплуатируется в Карпатах, остальные - в Крыму и на территории Донецкой и Приднепровской железных дорог.

Многие тоннели сооружены в сложных горно-геологических условиях, обусловивших их остаточную обводненность. Последнее способствует коррозии и деформации тоннельной обделки, уменьшает ее долговечность. В зимнее время из-за остаточных водопритоков уменьшаются габариты действующих тоннелей из-за их оледенения, что приводит к необходимости скалывания и своевременной уборки льда.

С целью снижения остаточных водопритоков в действующие ж/д тоннели применяют традиционные способы цементации или химизации обводненной тоннельной обделки, бурение капотажных скважин, проходку дренажных штолен, эффективность применения которых не всегда обеспечивает осушение тоннелей.

Учитывая вышеизложенное, совместное инженерно-строительное общество А-Плюс ЛТД (г. Антрацит, Луганская область) предложило Укрзалізнице выполнять гидроизоляцию обводненных интервалов обделки действующих ж/д тоннелей с помощью нового способа [1] бентонито-цементными растворами [2],

до этого успешно примененного этим предприятием в Тайване при строительстве автодорожного Пин Лин тоннеля в экстремальных гидрогеологических и сейсмических условиях.

*Лутугинский тоннель* расположен на 107-109 км между станциями Сборная и Врубовка железнодорожной линии Северск-Лихая, Родаковской дистанции пути Донецкой ж/д. Тоннель был построен в 1913-1915 г.г. под один путь широкой колеи 1524 мм. Длина тоннеля между порталами составляет 2062,88 п.м. В профиле тоннель двухскатный, в плане расположен по прямой. Тоннель оборудован искусственной вентиляцией шахтного типа.

Вентиляционный ствол пройден в районе центра тоннеля и соединен с ним горизонтальной сбойкой.

В ноябре 1986 года движение через Лутугинский тоннель было закрыто в связи с началом его реконструкции по проекту, разработанному институтом Гипротранспуть. В соответствии с проектом в течение 1986-1989 г.г. по своду обделки над зоной подвески контактного провода по всей длине тоннеля был нанесен слой эпоксидной смолы шириной 2м, выполнено нагнетание карбонатной смолы за обделку обводненных колец и сооружены камеры заобделочного дренажа с целью снижения водопритоков в тоннель.

Работы по нагнетанию карбонатной смолы за тоннельную обделку выполнил Армтоннельстрой. Однако, после производства вышеуказанных работ, остаточный водоприток в тоннеле остался прежним.

В 1994-1996г.г. с целью снижения водопритоков в Лутугинском тоннеле было пробурено несколько систем лучевых дренажных скважин в интервалах обводненной обделки. Но водоприток в тоннель после бурения дренажных скважин практически не уменьшился.

В 1984г. институт Гипротранспуть произвел съемку продольного профиля пути Лутугинского тоннеля. В результате был уточнен геологический разрез по оси этого тоннеля, представленный чередованием слоев обводненного песчанистого сланца и песчаника с прослоями водоносного известняка.

В последние годы гидрогеологическая ситуация в районе Лутугинского тоннеля осложнилась в связи с закрытием соседних шахт Врубовская и им. Ленина. Из-за прекращения работы систем водоотлива указанных шахт в этой местности повысился гидростатический уровень подземных вод, что обусловило увеличение водопритоков в рассматриваемый тоннель.

Для инженерной защиты тоннеля от водопритоков СО А-Плюс ЛТД предложило выполнить гидроизоляцию его обводненных участков путем инъекции расчетных объемов бентонитоцементного раствора в трещиноватые водоносные породы под заданным давлением с проектным расходом через горизонтально-восстающие скважины, пробуренные по контуру свода и стен

тоннеля, рис.1.

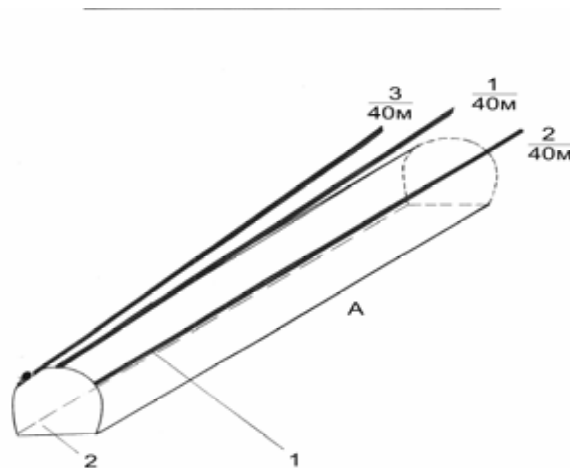


Рис. 1. Схема бурения инъекционных скважин для первичного нагнетания в интервале колец 19-30 Лутугинского железнодорожного тоннеля  
Согласно результатам комиссионного осмотра Лутугинского тоннеля были выделены шесть основных обводненных участков, приведенные в табл.1.

Таблица 1

Интервалы обводненной обделки Лутугинского тоннеля

№ участка гидроизоляции	Интервалы обводненных колец	Длина обводненного участка, м
1	19-40	133
2	42-49	59
3	88-90	17
4	99-101	18
5	187-190	26
6	216-230	94
Итого:		345

В соответствии с техническим заданием Донецкой железной дороги капитальный ремонт тоннеля 107-109км включает:

- ремонт системы электроснабжения тоннеля;
- гидроизоляция обводненных интервалов тоннеля.

С целью обеспечения потребностей Лутугинского тоннеля в электроэнергии (кроме постоянного освещения, оповестительной и заградительной сигнализации), СО А-Плюс ЛТД проложило с поверхности земли от трансформаторной подстанции 6/0,4 Кв с ЗРУ-0,4 Кв электрокабель силовой КШВЭБШв 3x70+1x35

по вентиляционному стволу глубиной 69м и далее по тоннелю в обе его стороны от горизонтальной сбойки с вентиляционным стволом на кольце 146 до колец 48 и 230 с установкой в тоннеле проектного количества автоматических фидерных выключателей типа АФВ.

С целью ликвидации остаточных водопритоков в тоннель его гидроизоляция выполняется в 3 этапа:

1й этап - первичное нагнетание бентонитоцементного раствора в обводненные трещиноватые породы через горизонтально-восстающие скважины длиной 40м, пробуренные по периметру свода тоннеля с железнодорожной платформы № 1, рис. 1;

2й этап - контрольное нагнетание бентонитоцементного раствора за тоннельную обделку через горизонтально-восстающие скважины длиной 20м, пробуренные навстречу скважинам для первичного нагнетания, рис.2;

3й этап - уплотнительное нагнетание бентонитоцементного раствора на участках влажной обделки через скважины длиной до 5-10м, пробуренные по периметру и площади свода и стен тоннеля, рис.3.

Раствор приготавливают в тупике ж/д станции Врубовка путем добавления расчетного количества бентонитовой глины в заполненные водой миксеры для получения в результате их перемешивания бентонитового раствора.

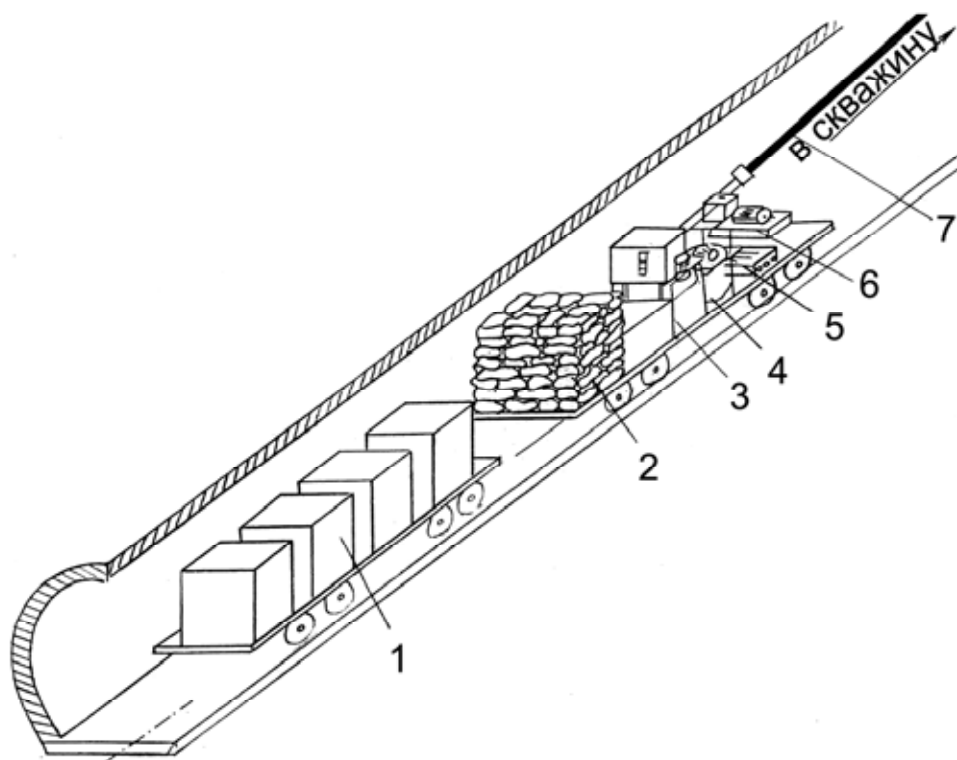


Рис. 2. Технологическая схема инъекции бентонитоцементного раствора в трещиноватый массив в интервале объводненных колец 19-25

1 – емкости 6м<sup>3</sup> с бентонитовым раствором; 2 – мешки с цементом;

3 – миксеры; 4 – агитатор; 5 – инъекционный насос;

6 – буровой станок; 7 – буровые штанги

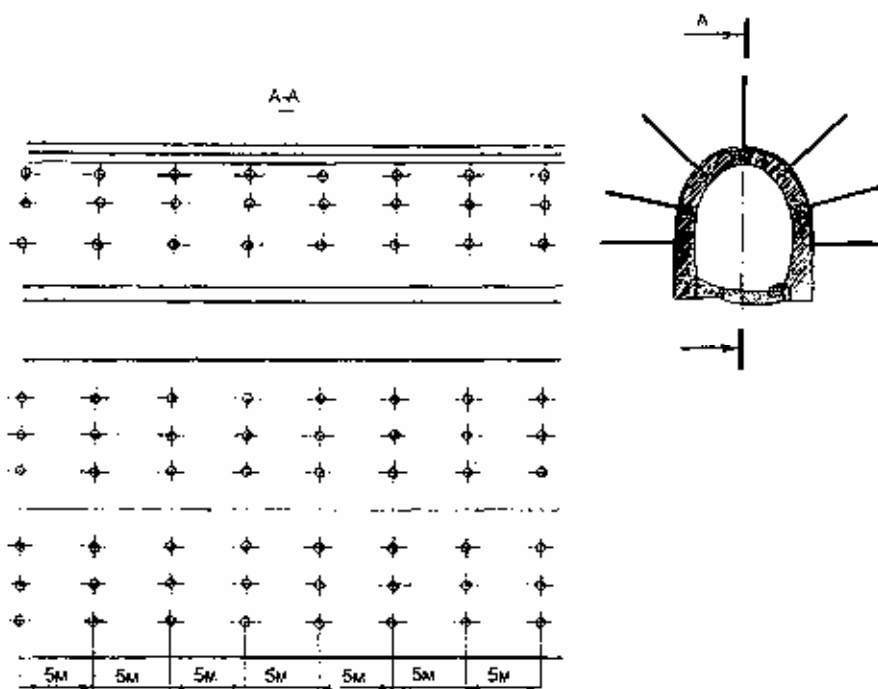


Рис. 3. Схема бурения инъекционных скважин для уплотнительного нагнетания бетонитоцементного раствора за тоннельную обделку

Готовый бентонитовый раствор сливают из миксеров в агитатор и шламывым насосом перекачивают по системе трубопроводов  $\varnothing 50\text{мм}$  в мерные емкости объемом  $6\text{м}^3$  каждая, расположенные на железнодорожной платформе №2.

Оборудование, необходимое для приготовления бетонитоцементного раствора, расположено на железнодорожной платформе №1, рис. 2. Перечень этого оборудования приведен в табл.2.

Таблица 2

Перечень оборудования для приготовления бентонитового раствора

№	Наименование оборудования	Ед.изм	К-во	Мощность, КВт
1	Миксер АМ-300	шт.	2	7,5
2	Агитатор А- 1200	шт.	1	4,0
3	Насос центробежный	шт.	1	7,5
4	Система трубопроводов $\varnothing 50\text{мм}$ с задвижками	м	50	-
5	Мерная емкость $6\text{м}^3$	шт.	4	-
6	Электроцит	шт.	2	-

Бетонитоцементный раствор готовят с помощью двух миксеров АМ-350 путем добавления цемента ПЦ-400 в бентонитовый раствор, подаваемый в

миксеры из мерных емкостей, с последующим его сливом в агитатор А-1200.

В зависимости от раскрытия и количества трещин, перебуренных инъекционными скважинами над сводом и вокруг стен тоннеля, состав бентонитоцементного раствора может изменяться путем увеличения расхода бентонитовой глины и цемента для приготовления бентонитоцементного раствора, с целью повышения прочности и водонепроницаемости обделки тоннеля.

Для окончательного приготовления бентонитоцементного раствора в агитатор А-1200 добавляют силикат натрия.

Нагнетание бентонитоцементного раствора в обводненный массив за обделку тоннеля производят с помощью насоса АНБ-22, всасывающего этот раствор из агитатора А-1200. Далее бентонитоцементный раствор подается через нагнетательный трубопровод из буровых штанг, проложенный от насоса АНБ-22 до устья тампонируемой инъекционной скважины, и через нее нагнетается в трещиноватые породы и за обделку тоннеля, рис.4.

В табл.3, приведены этапы, параметры и сроки выполнения гидроизоляции тоннельной обделки в интервале колец 19-40.

Примечание:

\* После проведения гидродинамических исследований в скважинах объемы нагнетания бентонитоцементного раствора в обводненный массив и за обделку корректируются.

\*\* Работа в тоннеле выполняется в ночную смену с 0-30 до 07-30. В дневное время приготавливается исходный бентонитовый раствор и выполняются ремонтные работы.

Конструкция инъекционных скважин для первичного и контрольного нагнетания бентонитоцементного раствора в трещиноватый обводненный вмещающий массив и за тоннельную обделку приведена ниже:

0-9м бурение скважины диаметром 112мм и ее обсадка зацементированной обсадной трубой;

9м-20м/40м бурение скважины диаметром 93мм до проектной глубины.

Таблица 3

Этапы нагнетания растворов

№	Этапы нагнетания раствора	Бурение скважин, м		Объем нагнетания раствора в скважину, м <sup>3</sup>	Срок выполнения работ, мес.
		ø112мм	ø93мм		
1	Первичное нагнетание	81	279	600*	3**
2	Контрольное нагнетание	-	360	400*	1,5**
3	Уплотнительное нагнетание	-	-	200*	0,5**
	Итого:	81	639	1100*	5**



## Этапы нагнетания растворов

№	Этапы нагнетания раствора	Бурение скважин, м		Объем нагнетания раствора в скважину, м <sup>3</sup>	Срок выполнения работ, мес.
		Ø112мм	Ø93мм		
1	Первичное нагнетание	54	126	250	1,5
2	Контрольное нагнетание	-	180	150	1
3	Уплотнительное нагнетание	-	-	50	0,5
4	Итого:	54	306	450	3

При возможности для уплотнительного нагнетания бентонитоцементного раствора за тоннельную обделку скважины не обсаживают зацементированными трубами. Нагнетание раствора за обделку тоннеля производят через пакерующие устройства ДАУ-1 диаметром 89мм, устанавливаемые в инъекционных скважинах.

В табл.4, приведены этапы, параметры и сроки выполнения гидроизоляции тоннельной обделки в интервале колец 42-49.

Водоснабжение оборудования для приготовления бентонитового раствора осуществляет Родаковская дистанция Донецкой ж.д. путем попеременного подвоза двух ж/д цистерн объемом по 60м<sup>3</sup> в тупик станции Врубовка.

В 2006 году намечается продолжить гидроизоляцию следующих обводненных интервалов обделки Лутугинского тоннеля.

*Литература*

1. Патент Украины 58930 А от 15.08.2003. Бюл.№ 8 «Спосіб водоізоляції та зміцнення обводнених порід при спорудженні гірничих виробок» Спичак Ю.Н.
2. Патент Украины 54812 А от 17.03.2003. Бюл.№ 3 «Склад зміцнювальний» Спичак Ю.Н.

УДК 622.257.1

**ОСОБЕННОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ТАМПОНАЖА  
ОБВОДНЕННЫХ ПОРОД НА МАЛЫХ ГЛУБИНАХ**

*П.Н. Должиков, Г.М. Смородин, Антрацитовский факультет горного дела и транспорта, ВГУ им. В.Даля, г. Антрацит*

Надежная изоляция водоносных горизонтов при сооружении горных выработок вблизи поверхности земли под рыхлым покровными отложениями

значительной мощности в Донбассе представляет собой сложную инженерную задачу. Водовмещающие породы карбона, залегающие в зоне выветривания на глубинах до 80-100 м, как правило, представляют собой единый или гидравлически связанный водоносный комплекс, ограниченный сверху рыхлыми покровными отложениями и не имеющий в этой связи, достаточно надежного верхнего водоупора. При этом особую сложность представляет граница (зона контакта) карбона и рыхлых отложений мощностью до 1-3м, которая, как правило, является наиболее слабой и интенсивно обводненной.

Формирование изоляционных завес в водоносных горизонтах зоны выветривания при выполнении предварительного тампонажа с поверхности осуществляется через 9-12 тампонажных скважин по наиболее распространенной схеме «снизу – вверх». Данная схема работ на малых глубинах является сложной и трудоемкой. В большинстве случаев тампонажные скважины на полную глубину крепятся обсадными колоннами диаметром 108 – 127 мм, которые при производстве тампонажа поинтервально перфорируются «снизу – вверх» согласно проектным интервалам тампонажа. Формирование изоляционных завес из отдельных скважин сопровождается прорывами тампонажного раствора на поверхность через покровные отложения и по затрубному пространству, что затрудняет достижение расчетных радиусов распространения тампонажного раствора и, тем самым, надежную водоизоляцию.

С целью обеспечения надежной защиты горных выработок от водопритоков в зоне выветрелых пород и повышении их устойчивости разработана и успешно апробирована в производственных условиях новая методика тампонажа водоносных горизонтов с применением искусственно создаваемого водоупорного слоя на контакте пород карбона и рыхлых покровных отложений, препятствующего прорывам тампонажного раствора на поверхность земли и, таким образом, обеспечивающего возможность формирования под его защитой из отдельных скважин изоляционных завес расчетных радиусов  $r_1$  и  $r_2$  (так как в выветрелой зоне горный массив по характеру трещиноватости изотропный, имеем  $r_1 = r_2$ ).

Защитный водоупорный слой создается путем укрепления пород на контакте с покровными отложениями цементными растворами с соотношением В:Ц=1:0,5 через тампонажные скважины, пробуренные с поверхности земли в соответствии с проектом тампонажа.

Необходимая толщина создаваемого водоупорного слоя рассчитывается исходя из прочностных характеристик зацементированного массива и конечного давления нагнетания тампонажного раствора при формировании из отдельной скважины завесы расчетного радиуса ( $r_1 = r_2$ ) в ближайшем водоносном горизонте. Расчет толщины ( $P_s$ ) водоупорного слоя выполняется по уравнению Н.Г. Трупака [1]:

$$P_s = \frac{\alpha \cdot \Delta P_y \cdot D_B}{4[\delta_{сж}]}$$

где  $\alpha$  - коэффициент перегрузки, учитывающий неоднородность зацементированного (в рассматриваемом случае) массива, в практических расчетах принимаемый равным 1,1-1,5;

$\Delta P_y$  - максимальное давление нагнетания тампонажного раствора при формировании изоляционной завесы расчетного радиуса в ближайшем к создаваемому водоупорному слою водоносном горизонте, МПа;

$D_b$  - диаметр создаваемого водоупорного слоя, определяемый из условия  $r_c \geq r_2 = r$ ;

$\delta_{сж}$  - предел прочности на скалывание зацементированной породы, МПа, в практических принимается равным 2-3 МПа.

Как показали практические расчеты толщина (мощность) водоупорного слоя составляет в пределах 3-6 м.

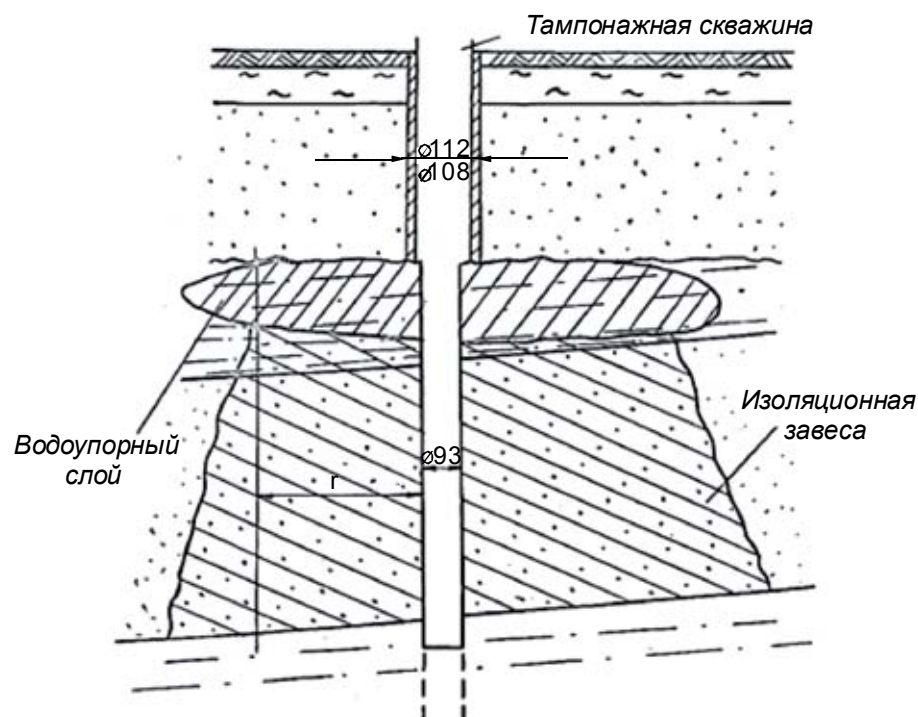


Рис. 1. Схема формирования изоляционной завесы на малых глубинах под защитой искусственного водоупорного слоя.

Формирование искусственного водоупорного слоя осуществляется по следующей схеме (рис. 1):

- тампонажная скважина бурится диаметром 112 мм до нижней границы покровных отложений, углубляется по породам карбона на 1-2 м и оборудуется кондуктором диаметром 108 мм. Кондуктор цементируется до выхода цементного раствора на поверхность по затрубному пространству;

- цементная пробка разбуривается и скважина диаметром 93 мм углубляется в интервале, соответствующем расчетной толщине создаваемого водоупорного слоя;

- через устье скважины или пакерующее устройство, устанавливаемое в нижней части кондуктора, в скважину закачивается расчетный объем цементного раствора.

В аналогичной последовательности выполняются работы по другим скважинам. В общем плане создание искусственного водоупорного слоя осуществляется по схеме «сгущения». При этом скважины второй очереди являются одновременно контрольными», что позволяет методами гидродинамических исследований определить фактические размеры создаваемого водоупорного слоя и оперативно управлять процессом его формирования, а по керну – прочностные характеристики данного слоя.

Тампонирующее водонесущих горизонтов в зоне выветривания под защитой искусственного водоупорного слоя выполняется по схеме "сверху вниз", что позволяет с увеличением глубин залегания водонесущих горизонтов применять все более высокие давления нагнетания для создания изоляционных завес расчетных размеров. При этом каждый ниже лежащий обводненный интервал сверху ограничен затампонируемыми породами, что совместно с созданным водоупорным слоем препятствует выходам тампонажного раствора на поверхность земли.

Тампонажные работы по предлагаемой методике выполняются в следующей последовательности:

- после разбурки цемента тампонажная скважина диаметром 93 мм углубляется на величину первой тампонажной заходки;

- через устье или пакерующее устройство в скважине выполняются гидродинамические исследования методом восстановления давления, на основании которых по методике комплексного метода тампонажа [2] определяются объемы и режимы нагнетания тампонажного раствора в данном обводненном интервале;

- по типовой технологии комплексного метода в тампонируемый интервал закачивается расчетный объем тампонажного раствора;

- после выдержки скважина разбуривается и углубляется на величину второй тампонажной заходки.

Тампонажные работы во второй и последующих заходках, а также по другим скважинам выполняются в той же последовательности.

Данная методика успешно реализована при выполнении тампонажных работ с поверхности земли на различных объектах, наиболее представительным объектом применения рассмотренной технологии является главный наклонный ствол шахты Садкинская ПО «Ростовуголь»

Вертикальный разрез на участке строительства главного наклонного ствола до глубины 80-90 м сложен неогеновыми водонасыщенными суглинками и песками мощностью до 25 м и интенсивно выветрелыми породами карбона: песчаниками, аргиллитами и алевролитами. Прогнозный водоприток из данных отложений составлял 20-30 м<sup>3</sup>/ч.

В аналогичных условиях выполнялся предварительный тампонаж на вспомогательном и людском наклонном стволах этой шахты. При этом,

тампонажные работы до типовой технологии предварительного тампонажа в обоих случаях сопровождались многочисленными выходами тампонажного раствора на поверхность, в связи с чем потребовалось сгущение сети тампонажных скважин и применение порционных нагнетаний.

На главном наклонном стволе в интервале глубин 130-190 м по оси выработки с поверхности земли пробурено 2 ряда скважин. Расстояние между рядами 10-13 м, между скважинами 10 м.

Для создания искусственного водоупорного слоя толщиной 5-6 м в скважины закачано 267 м<sup>3</sup> цементного раствора. В водоносные горизонты под покровными отложениями суммарной мощностью 40 м закачано 450 м<sup>3</sup> тампонажного раствора; при этом из 16 затампонированных скважин выход тампонажного раствора на поверхность зафиксирован только по одной скважине по причине некачественной цементации кондуктора.

Выполненные на главном наклонном стволе шахты Садкинская тампонажные работы с применением искусственного водоупорного слоя позволили решить две инженерные задачи: укрепление интенсивно выветрелых пород на контакте карбона с покровными отложениями и водоизоляцию ствола на участке протяженностью 60 м. Проходка выработки в затампонированном интервале осуществлена без осложнений и водопритокков.

Предлагаемый способ тампонажа водоносных горизонтов на малых глубинах при сооружении шахтных стволов позволяет:

- укрепить породы на контакте с рыхлыми покровными отложениями;
- изолировать тампонируемые породы от водоносных горизонтов в покровных отложениях;
- обеспечить надежное тампонирование водоносных горизонтов на малых глубинах в интенсивно выветрелых породах;
- предупредить выходы и прорывы тампонажного раствора на поверхность по затрубному пространству и через рыхлые отложения;
- отказаться от промежуточной обсадной колонны в скважинах и ее последующей перфорации при производстве тампонажа и тем самым упростить конструкцию тампонажных скважин;
- исключить из состава тампонажных работ целый ряд трудоемких и дорогостоящих процессов.

### *Литература*

1. Трупак Н.Г. Специальные способы проведения горных выработок. – М.: Недра. – 1976. – 376с.
2. Кипко Э.Я., Должиков П.Н., Дудля Н.А. и др. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт. Днепропетровск: НГУ. - 2004. – 415 с.

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛИНИСТОЙ ФРАКЦИИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ В ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРАХ**

*Б.Т. Харьковский, Т.В. Свистун, Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля, г. Луганск*

Комплексный метод тампонажа обводненных горных пород находит все более широкое распространение при проходке шахтных стволов и горных выработок, железнодорожных тоннелей, метрополитенов, а также на объектах градостроительства и гидротехнических сооружениях.

Успешное применение метода обусловлено глубокой теоретической проработкой, технологической обеспеченностью и высокой эффективностью результатов. Тампонаж обводненных пород при проходке шахтных стволов значительно сокращает сроки строительства и улучшает условия их эксплуатации.

Вместе с тем комплексный метод тампонажа сопряжен со значительными затратами, связанными с использованием ресурсов, в частности высококачественных глин для приготовления глиноцементных растворов. Жесткие требования к качеству глин для использования их в тампонажных растворах приведены в классификации глин по их пригодности [1]. Далеко не все глины местных месторождений отвечают этим требованиям, в результате глины для тампонажных растворов в ряде случаев приходится закупать и транспортировать к месту работ на значительные расстояния.

В то же время в отвалах шахт и обогатительных фабрик содержатся материалы близкие по химическому, минералогическому составу, другим свойствам к глинам, используемым в тампонажных растворах.

Одним из направлений снижения затрат на производство тампонажных работ могло бы стать использование для приготовления растворов отходов углеобогащения.

Безусловно, использование отвальных пород без предварительной подготовки невозможно из-за высокого содержания в них угольной фракции, серосодержащих соединений, тяжелых металлосодержащих минералов.

На кафедре экологии СНУ им. В. Даля разрабатывается метод комплексной утилизации отходов углеобогащения, использующий гидравлическое разделение породной массы на три фракции: угольную, песчано-глинистую и сульфидную, с последующим их раздельным использованием.

Сравнение аналитических показателей исследуемых песчано-глинистых фракций с требованиями классификации пригодности глин для тампонажных растворов

Группа пригодности	Химический состав		Гранулометрический состав			Минералогический состав	Рекомендуемая плотность
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	SiO <sub>2</sub> , %	частицы < 5 мкм, %	частицы > 50 мкм, %	число пластичности M <sub>p</sub>		
I	20 – 28	50 – 60	60	5	15 – 25	каолинит, карбонат, кварц, гидрослюда	1,18 – 1,22
II	18 – 24	55 – 65	40 – 80	5 – 9	6 – 18	каолинит, карбонат, мортморриллит, кварц, гидрослюда, полевой шпат	1,20 – 1,28
песчано-глинистая фракция ЦОФ «Черкасская»	21 – 23	48 – 62	3	7,8	7,0	кварц, гидрослюда	1,2
песчано-глинистая фракция ЦОФ «Горская»	18 – 20	37 – 49	35	15	–	кварц, гидрослюда	1,2
песчано-глинистая фракция ЦОФ им. «Известий»	21 – 24	48 – 62	28	10	6,2	кварц, гидрослюда	1,2
песчано-глинистая фракция ЦОФ «Суходольская»	28 – 29	50 – 52	32	12	8,0	кварц, гидрослюда	1,22

Исследования, проведенные на отвальных породах ряда обогатительных фабрик Луганской области (Черкасской, Суходольской, Горской ЦОФ, ЦОФ шахты им. Известий), показывают, что песчано-глинистая фракция, не содержащая угольных частиц и тяжелых сульфидных фракций по основным

характеристикам соответствует I и II группам классификации глин по степени пригодности для использования их в тампонажных растворах. Так по гранулометрическому составу при основных требованиях классификации по содержанию частиц < 5 мкм – 50 % и песчаных частиц размером > 50 мкм – 9 % в песчано-глинистой фракции указанных ЦОФ содержится соответственно 29 – 30 % и 14 % [2].

Сравнение аналитических показателей исследуемых песчано-глинистых фракций с требованиями классификации пригодности глин для тампонажных растворов приведены в табл. 1.

Содержание  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в глинах по классификации должно быть в пределах 50 – 65 % и 18 – 28 %, а в песчано-глинистой фракции составляет соответственно 48 – 62 % и 21 – 23 %. Близки к требованиям классификации и другие характеристики песчано-глинистой фракции.

На наш взгляд было бы целесообразно провести специальные исследования по возможности использования (частично или полностью) указанных вторичных материальных ресурсов в глиноцементных тампонажных растворах.

В случае успешных результатов таких исследований решаются одновременно две важные проблемы: удешевление работ по тампонажу обводнены горных пород (проблема ресурсосбережения) и утилизация отходов (проблема защиты окружающей среды).

### *Литература*

1. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт: Учеб. пособие/Э.Я. Кипко, П.Н. Должиков, Н.А. Дудля и др. – Днепропетровск: НГУ, 2004. – 415 с.

2. Харьковский Б.Т., Шпак Т.В. К вопросу использования отходов обогатительных фабрик // Вісник Східноукраїнського Державного університету. Науковий журнал. – Луганськ: вид-во Східноукр. держ. ун-ту, 2000 р. – № 4 (26) 2000 (перша частина). с. 223-226.

УДК 622.257.1

## **ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ТАМПОНАЖА И ЗАКЛАДКИ КРУПНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ**

*П. Н. Должиков, Антрацитовский факультет горного дела и транспорта  
ВНУ им. В.Даля, А. А. Шубин, Шахтинский институт Южно-Российского  
государственного технического университета, Россия*

Уплотнение скальных трещиноватых, и в том числе закарстованных, пород может выполняться многими, весьма разнообразными способами, к которым



относятся: цементация, глинизация, битумизация, силикатизация, а также замораживание. Иногда эти способы комбинируются. Каждый из способов имеет свои особенности и область применения, зависящую главным образом от природных факторов. Изучение этих факторов необходимо для выбора наиболее эффективного способа уплотнения как в техническом отношении (снижение водопроницаемости и повышение прочности пород), так и в экономическом (дешевизна, скорость и простота производства работ, дефицитность ингредиентов и т.п.).

Одним из наиболее эффективных способов, используемых в сложных горногеологических условиях, на разных этапах функционирования предприятия является тампонаж на основе глиноцементных растворов, проводимый по *комплексному методу* [1]. Разработанный учеными научной школы ГОАО "Спецтампонажгеология" под руководством доктора технических наук, профессора Э. Я. Кипко, он успешно применяется как для борьбы с водопритоками, так и для заполнения подземных пустот в период ликвидации выработок и закрытия шахт. Комплексный метод тампонажа предусматривает использование новейших достижений науки и техники в области проведения гидродинамических исследований водоносных горизонтов, проведение инженерного расчёта всего процесса тампонажа, применение экологически чистых и дешёвых глиноцементных тампонажных растворов с различными реагентами – структурообразователями.

При *тампонаже с поверхности земли* работы выполняют в следующей последовательности. Вначале маркшейдер переносит проекции места заполнения и оси горной выработки на земную поверхность. Далее намечают точки для заложения тампонажных скважин, после чего подводят к ним электроэнергию и воду, затем устанавливают буровое оборудование и одновременно завозят необходимые для бурения материалы. Оборудование (при цементации и комплексном методе тампонажа – цементационное) устанавливают в процессе бурения тампонажных скважин. После установки бурового станка им сначала бурят скважину под кондуктор, затем производят ее обсадку трубами и тампонаж затрубного пространства, по окончании которого ведут бурение тампонажной скважины до конечной глубины.

Нагнетание в скважины тампонажного раствора выполняется без перерыва до закачки всего проектного объема или до прекращения его поглощения скважиной при нагнетании тампонажного раствора в объеме меньше проектного. Схема приготовления и нагнетания тампонажного раствора в буровую скважину при ликвидации внезапного прорыва воды в горную выработку показана на рис. 1.

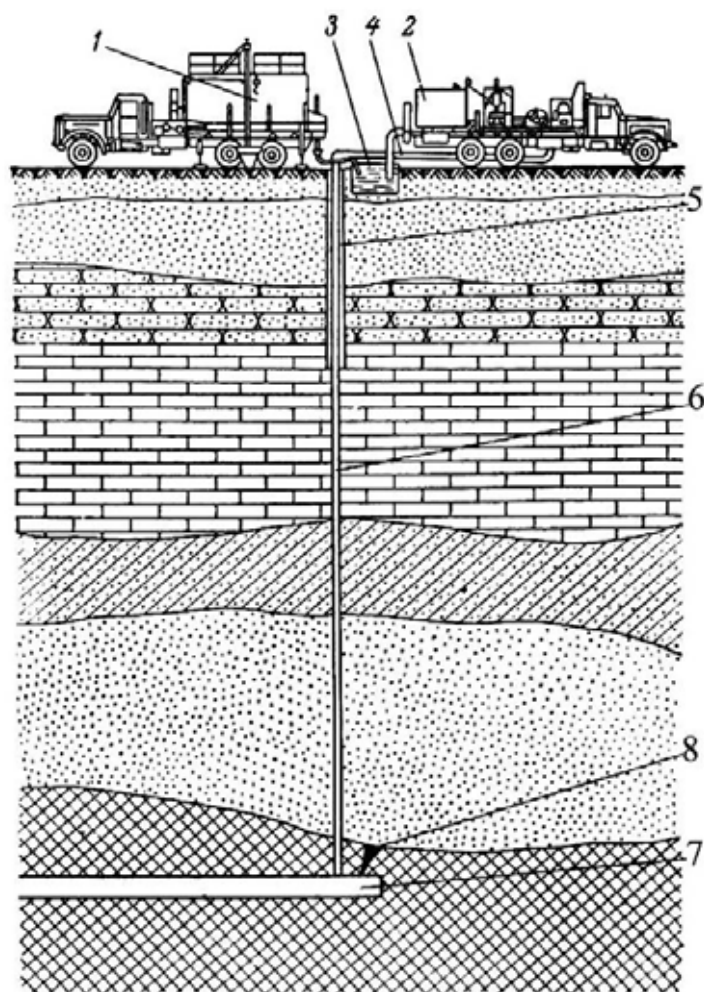


Рис. 1. Схема нагнетания тампонажного раствора в скважину:  
 1 – смесительная машина; 2 – цементационный агрегат;  
 3 – емкость для цементного раствора; 4 – нагнетательный трубопровод;  
 5 – направляющая обсадная труба; 6 – тампонажная скважина;  
 7 – горная выработка; 8 – место прорыва воды

Главными геологическими и гидрогеологическими факторами, влияющими на условия уплотнения трещиноватых и закарстованных пород, являются:

а) особенности трещиноватости (размеры, характер распределения и взаимосвязи, извилистость, выдержанность простирания, шероховатость стенок трещин и т.п.);

б) состав, состояние и количество заполнителя;

в) действительные скорости движения подземных вод, их химический состав и температура.

Поскольку искусственное уплотнение и естественная водопроницаемость скальных пород зависят от степени и характера трещиноватости, а также особенностей заполнения трещин, казалось бы, между этими двумя свойствами всегда должна существовать если и не полная, то достаточно очевидная связь; однако это далеко не всегда так. Главные причины следующие:

а) различие в размерах и прочих свойствах трещин, вследствие чего одна и та же водопроницаемость (удельное водопоглощение) может быть обусловлена и небольшим числом крупных трещин и множеством тонких;

б) различная проницаемость (вязкость, густота) цементного раствора;

в) не идентичность технологии инъекционных работ, методики опытных нагнетаний (разные напоры и продолжительность опытов) и техники бурения (кольматаж буровым шламом).

Для оценки эффективности уплотнения пород тем или иным способом очень важны визуальные наблюдения за прониканием уплотняющего вещества в породу, осуществляемые в смотровых скважинах-шахтах, шурфах и при проходке строительного котлована. Наиболее характерные формы проникания цементного раствора показаны на рис. 2.

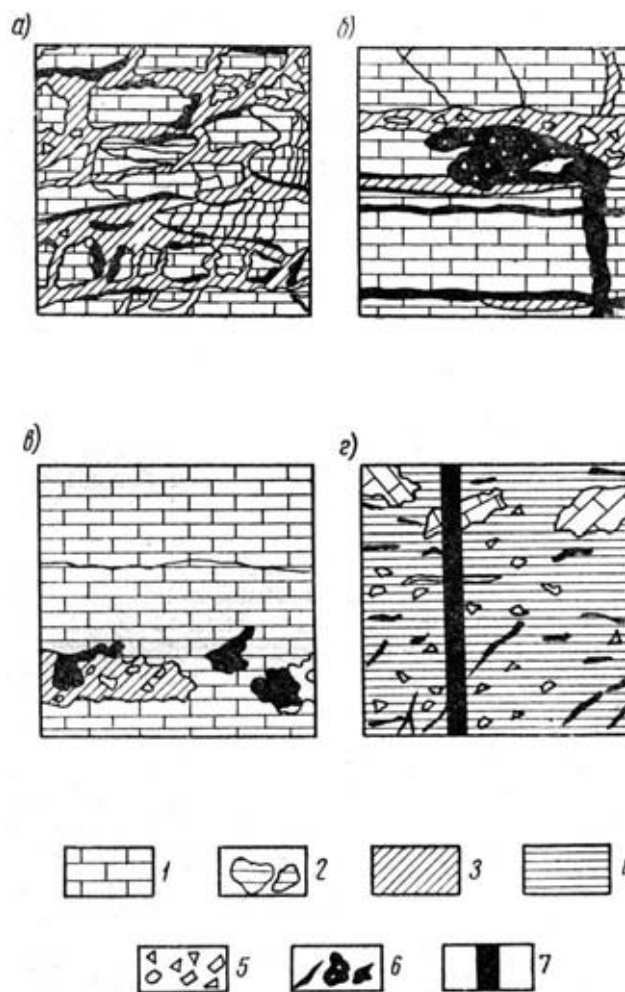


Рис. 2. Типичные примеры проникания цементного раствора в различные породы:

*а* - элювий; *б* - трещины; *в* - каверны; *г* - глины;

1 - известняк; 2 - элювий известняка; 3 - суглинистый заполнитель трещин и каверн; 4 - глина; 5 - щебень известняка; 6 - цементный камень;

7 - зацементированный ствол скважины

Интересно, что этот раствор, уплотняя глинистый заполнитель, отжимал его от стенок трещин и каверн, образуя при этом корочки цементного камня. Очень часто цементный раствор проникал и внутрь рыхлого глинистого заполнителя, по-видимому, по трещинам в нем.

Контроль качества строительного уплотнения пород должен рассматриваться как своеобразный метод инженерно-геологических исследований. Основная, т. е. массовая проверка уплотнения выполняется бурением и гидравлическим опробованием (зонные нагнетания и откачки) скважин малого диаметра. Однако этот способ нельзя считать достаточным; он должен обязательно дополняться опорными смотровыми скважинами или шурфами, позволяющими производить осмотр уплотненной породы, определять прочность уплотнителя, характер его распределения в породе и т. п.

Своеобразным типом завес являются *подземные стенки*, сооруженные из сопрягающихся бетонных свай, устроенных путем бурения скважин большого диаметра (600—1220 мм).

Такие завесы применяют в случае очень сильной закарстованности пород с заполнением карстовых полостей суффозионно-неустойчивым рыхлым грунтом, препятствующим выполнению обычной цементации. Кроме противофильтрационного назначения, такие завесы-стенки иногда используют в качестве фундаментов.

При ликвидации крупных и катастрофических прорывов воды в горные выработки при затоплении последних применяют *подводное бетонирование*. К нему приступают только после полного затопления горных выработок и прекращения по ним циркуляции воды. В противном случае не гарантируется необходимого качества сооружения подводной водонепроницаемой перемычки. В отличие от обычной, ее сооружают в более тяжелых условиях, под водой в затопленных выработках по буровым скважинам с поверхности земли (рис. 3). Конструкции скважин отличаются простотой и зависят от расположения перемычек, формы поперечного сечения горных выработок и технологии производства работ по их сооружению.

Подводный бетон, применяемый для сооружения подводных перемычек, должен гарантировать успешную ликвидацию аварий — внезапных прорывов воды в горные выработки, в связи с чем к его подбору должны предъявляться более жесткие требования по сравнению с обычными бетонами, укладываемыми насухо. Необходимость более жестких требований к подводным бетонам также вызывается более тяжелыми условиями укладки и твердения бетонов под водой, невозможностью контроля процесса укладки и твердения бетона непосредственно под водой и меньшей прочностью подводного бетона по сравнению с обычным бетоном того же состава, укладываемым насухо.

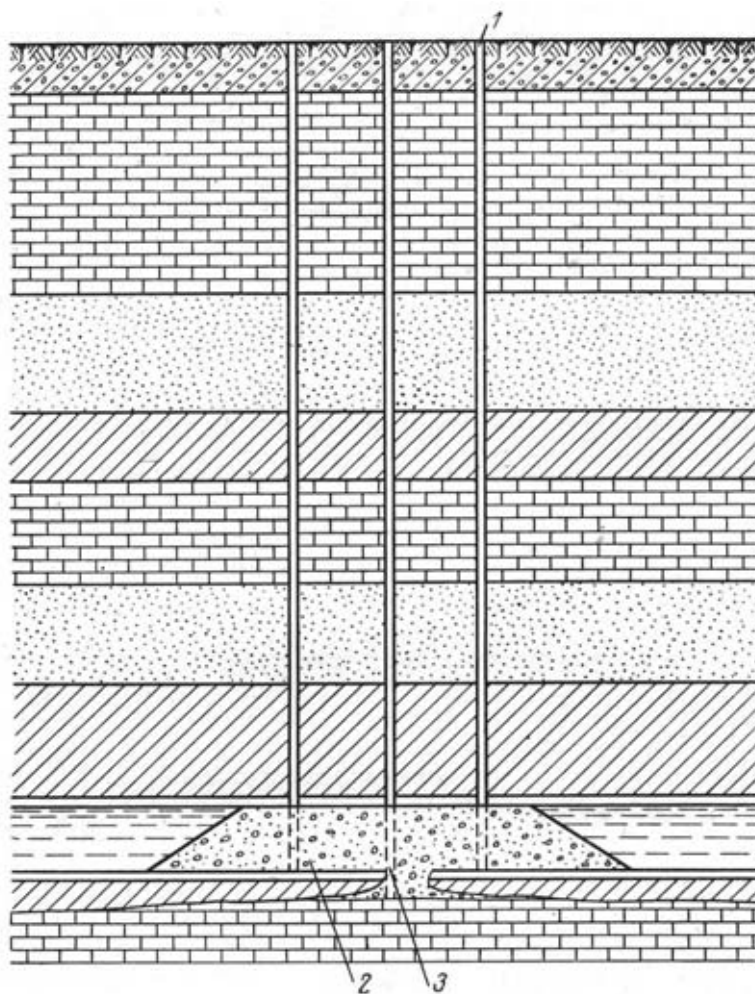


Рис. 3. Схема сооружения водонепроницаемой перемычки с помощью подводного бетонирования:

1 — буровые скважины; 2 — подводные перемычки; 3 — место прорыва воды

В результате лабораторных и экспериментальных исследований установлено, что подводные бетоны по сравнению с обычными бетонами, укладываемыми насухо, того же состава обладают большей плотностью и водонепроницаемостью и вместе с тем меньшей прочностью.

Для закрытия притоков воды из прорывов в затопленные горные выработки могут применяться следующие способы подводного бетонирования: укладка готового бетона с поверхности земли под воду с помощью вертикально перемещающихся труб; раздельная укладка с поверхности под воду по трубам сначала гравия, а затем заполнение в нем пустот восходящим цементным раствором.

Обычным недостатком работ по ликвидации пустот является то, что выполнение их не приспособливается должным образом к особенностям инженерно-геологических условий, не корректируется на ходу в соответствии с результатами контрольных исследований, о которых только что указывалось. Вместо того чтобы последовательно и полностью отработать завесу

отдельными звеньями длиной по 15—20 м, проверяя качество уплотнения каждого звена и уточняя по этим данным технологию производственного процесса, в настоящее время господствует соблюдение чисто экономических интересов в ущерб технологическим. Работы по устройству завес выполняются сразу на участках, протяженностью в несколько десятков, а иногда и сотен метров, причем сначала на них выполняется вся первая очередь уплотнения, затем вся вторая и т.д. При таком способе производства работ о попутном уточнении их качества не может быть и речи. К этому можно добавить, что гидравлическое опробование контрольных скважин выполняется очень примитивно, вследствие чего его результаты часто несопоставимы с данными предыдущих исследований.

В заключение необходимо отметить, что решающая оценка качества противодиффузионных мероприятий и, в частности, завес может быть представлена только по данным наблюдений за пьезометрическими скважинами, характеризующим как работу самой завесы — по перепаду уровней на ней, так и общий режим фильтрационного потока в области обходной фильтрации.

### *Литература*

1. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт: Учеб. пособие/ Э. Я. Кипко, П.Н. Должиков, Н.А. Дудля и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2004. – 415 с.

УДК 691.3.00.1

## **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ РАСТВОРОВ КОНИЧЕСКИМ ПЛАСТОМЕРОМ**

*В.А. Дмитриенко, М.А. Бауэр, Ю.О. Казак,  
Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического  
университета, Россия*

Проведение и крепление горных выработок в неустойчивых наносных горных породах, требует применения специальных способов, так как обнажение пород без их упрочнения зачастую возможно лишь на глубину 0,25 - 0,50 м. В этом случае сроки строительства и затраты на производство работ существенно возрастают.

Постоянное крепление выработок в таких условиях, как правило, осуществляется монолитным бетоном, что требует применения временной крепи. Поэтому, разработка технологии обеспечивающей, нормативные темпы проведения выработок в неустойчивых породах, при минимальных затратах труда, финансовых средств и без применения специальных способов, является весьма важной задачей. Ее решению посвящены исследования, проводимые на кафедре

«Подземное, промышленное, гражданское строительство и строительные материалы» Шахтинского института (ф) ЮРГТУ (НПИ), целью которых является разработка способов и средств обеспечивающих нормативные темпы строительства подземных сооружений короткими заходками при минимальных затратах. То есть необходимо разработать такую технологию, при которой крепление монолитным бетоном можно осуществлять по совмещенной схеме, в непосредственной близости от забоя и без применения временной крепи.

В этом случае монолитная бетонная крепь, через весьма небольшой промежуток времени должна воспринимать нагрузки от массива горных пород. Что возможно только при обеспечении набора прочности бетоном в очень короткие сроки, причем речь идет о получении нормативных значений прочности в сроки, измеряемые часами, а не сутками, как это традиционно оценивается в технологии быстротвердеющих бетонов. При этом бетонная смесь должна обладать требуемым периодом живучести и достаточной подвижностью.

Сокращения времени набора бетоном требуемой прочности можно добиться за счет применения новых эффективных модификаторов, введения в состав бетона крентов (центров кристаллизации), а также других способов активации растворения цементных частиц и формирования новообразований.

Подбор состава бетонной смеси, удовлетворяющей поставленным условиям, процесс весьма трудоемкий, требующий введения ингредиентов принципиально изменяющих свойства бетона, что требует детальных исследований с учетом большого числа факторов. Поскольку необходимо исследовать постоянно изменяющиеся во времени характеристики смеси, то сложность и объем измерений возрастают многократно, в этом случае точность и достоверность результатов экспериментов приобретают очень важное значение, так как дублирование будет сопряжено с очень большими затратами времени и материалов.

Выбор параметров, подлежащих исследованию также весьма ответственный этап экспериментов, так как сложное напряженно-деформированное состояние крепи выработок и необходимость безопасной эксплуатации в течение десятилетий потребует постоянного контроля состояния элементов крепи в процессе строительства. То есть определение только прочностных характеристик бетона не позволит получать достоверной оценки несущей способности крепи, а тем более прогнозировать ее изменение во времени. Кроме этого помимо стандартных испытаний необходимо выбрать неразрушающие методы испытаний конструкций, позволяющие с высокой степенью достоверности определять характеристики бетона необходимые для оценки несущей способности крепи в процессе строительства и эксплуатации.



Скорость набора прочности бетоном, как правило, определяется процессами происходящими в цементном тесте в первые часы после затворения водой. Наиболее объективную информацию об изменяющихся во времени структурно-механических свойствах незатвердевшего цементного теста можно получить путем измерения пластической прочности структуры коническим пластомером, который позволяет фиксировать изменения в исследуемой системе с момента начала твердения и до окончания схватывания. Следовательно, по изменению пластической прочности состава можно изучать кинетику его гидратации и соответственно прогнозировать скорость набора прочности.

Многочисленные исследования позволили установить, что зачастую по результатам измерений пластической прочности, построить графики кинетики гидратации с плавно описывающей точки кривой не удается. Особенно большие отклонения наблюдались при изменении угла конуса, да и вариация результатов измерений одного образца при соответствующем времени твердения была весьма значительной, что требовало неоднократного проведения испытаний. Снижения трудоемкости и повышения точности исследований в этом случае можно достичь путем статистической оценки результатов исследований. Суть их заключается в следующем:

- в образец раствора в момент соответствующий необходимому времени твердения состава под действием нагрузки погружается конус прибора;

- измерения повторяются не менее пяти раз с фиксацией массы груза и глубины погружения конуса в образец;

- по полученным значениям рассчитывается величина пластической прочности и определяется ее средняя величина;

- далее определяются статистические показатели выборки, дисперсия выборки, доверительный интервал, абсолютная погрешность и показатель точности;

- если все значения удовлетворяли доверительному интервалу, то оценивался показатель точности, при его значении менее 0,1 (10%) результат считался приемлемым, при значении более 0,1 дополнительно производились испытания до получения требуемого показателя точности.

В качестве характеристики точности оценки принят относительный показатель точности, числовое значение которого определяется расчётным путём с использованием результатов измерений и в соответствии с правилами прикладной статистики.

Поскольку в этом случае объем обрабатываемой и подлежащей хранению информации значительно возрастает, то для автоматизации сбора экспериментальных данных разработано приложение в среде Borland C++ Builder 5.

Эти сведения сохраняются в базе данных СУБД PostgreSQL для хранения и дальнейшей обработки.

Логическая схема структуры базы данных, состоящей из трех групп таблиц, используемой данным приложением приведена на рис. 1

В таблицу «Цемент» в соответствие уникальному ключу (ID\_цемента) вносится описание проводимого опыта, например: номер, дата и время выполнения эксперимента; марка используемого цемента, количество введенных добавок, температура твердения и другие отличительные особенности испытаний. Возможно также хранение некоторых примечаний.

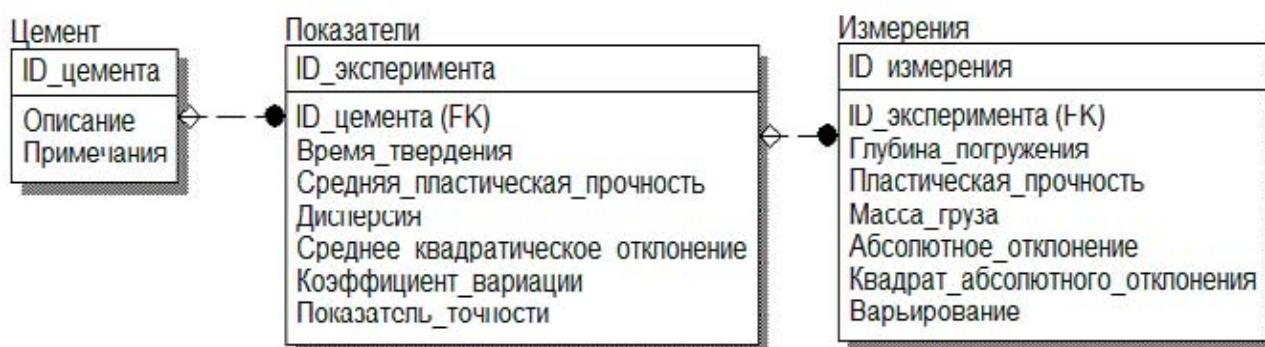


Рис. 1. Логическая схема структуры базы данных для обработки результатов экспериментальных исследований

В следующей таблице «Показатели» хранится информация, характеризующая результаты расчетов всего опыта, выполненных на основании экспериментальных данных каждого испытания – средняя пластическая прочность, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, показатель точности и др., полученных в определенных условиях, например - время твердения раствора.

Данные, полученные в ходе измерений (масса груза, глубина погружения), а также расчетные параметры соответствующего испытания (пластическая прочность, абсолютное отклонение, квадрат абсолютных отклонений, варьирование, число замеров) вносятся в таблицу «Измерения». По мере добавления очередного набора измеренных в лаборатории значений производится автоматический пересчет показателей, зависящих от числа измерений.

В табл. 1 приведены результаты исследований кинетик структурообразования трех составов глиноцементных тампонажных растворов с использованием разработанного приложения. Все составы приготовлены на суспензии из глины

## Результаты исследований глиноцементных тампонажных растворов

№ состава	Число измерений	Время твердения, сут	Средняя масса груза, г	Средняя глубина погружения, мм	Среднее значение $R_m$ , КПА	Дисперсия	Среднеквадратичное отклонение	Варьирование, кПа	Коэффициент вариации, %	Показатель точности
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	12	0,5	50	4,233	30,997	23,4337	4,84083	15,0285	15,6173	0,283
	7	0,5	70	5,029	30,213	2,82253	1,68004	4,89396	5,5606	0,1008
	14	1	150	4,557	79,002	37,1215	6,09274	20,3092	7,71212	0,1498
	19	5	400	5,979	122,72	141,91	11,9126	35,7995	9,70686	0,1743
	8	5	300	5,15	123,48	51,9797	7,20969	24,0293	5,83863	0,1049
	11	10	400	5,118	166,8	120,968	10,9986	33,9867	6,59389	0,1175
	16	20	500	5,15	205,83	153,043	12,3711	40,0488	6,01019	0,1071
	11	30	600	5,236	238,96	218,347	14,7766	45,3563	6,18374	0,1102
2	10	0,5	60	4,06	41,633	101,413	10,0704	22,4579	24,1886	0,4383
	9	0,5	100	5,044	42,884	5,3495	2,3129	6,99138	5,39333	0,0977
	6	1	250	5,3	97,085	22,4298	4,73601	14,6701	4,87819	0,0948
	11	5	400	5,009	173,91	73,6814	8,58378	27,9655	4,9357	0,0886
	12	10	400	4,183	254,61	1876,35	43,3168	154,674	17,0132	0,3032
	15	10	500	4,78	239,14	273,956	16,5516	51,0847	6,92128	0,1213
	12	20	400	3,992	276,78	1313,79	36,2463	130,581	13,0959	0,2334
	10	20	700	5,01	304,57	359,49	18,9602	71,722	6,22515	0,1128
	13	30	1000	5,792	326,31	782,585	27,9747	51,8771	8,57312	0,1528
	11	30	800	5,045	343,03	380,572	19,5083	55,931	5,68698	0,1021
3	10	0,5	96,3	4,93	43,131	5,88682	2,42628	6,85994	5,62539	0,1019
	10	1	229,4	4,99	100,47	27,8092	5,27344	19,4601	5,24877	0,102
	12	5	414	4,942	184,31	93,5356	9,67138	27,2333	5,24724	0,0942
	8	10	535,6	4,938	239,61	151,715	12,3173	32,3066	5,14055	0,0916
	11	20	691,5	4,991	303,03	316,718	17,7966	66,0293	5,87291	0,1047
	7	30	833,3	5,186	338,05	304,108	17,4387	51,5444	5,15868	0,0926

## Результаты исследований кинетики гидратации цементного теста

№ состава	Число измерений	Время твердения, час	Средняя масса груза, г	Средняя глубина погружения, мм	Среднее значение $R_m$ , КПА	Дисперсия	Среднеквадратичное отклонение	Варьирующее, кПа	Коэфф. вариации, %	Показатель точности
1	15	1	10	7.427	1.9924	0.054	0.232	0.095	11.66	0.211
	12	1	5	4.95	2.2273	0.017	0.13	0.185	5.856	0.103
	10	2	50	5.99	15.347	3.8893	1.972	0.96	12.85	0.233
	12	2	40	5.038	17.2	1.064	1.031	0.638	5.997	0.103
	9	3	65	5.1	27.268	2.2414	1.497	2.61	5.491	0.099
	17	4	60	3.847	44.502	22.167	4.708	4.089	10.58	0.192
	10	4	100	5	43.63	4.748	2.179	3.487	4.994	0.09
	18	5	350	4.133	223.99	289.62	17.02	23.85	7.598	0.115
	13	6	1100	4.969	486.21	814.84	28.55	57.21	5.871	0.104
2	8	1	5	4.9	2.2719	0.0148	0.122	0.185	5.351	0.097
	10	2	40.2	4.95	17.878	0.8034	0.896	0.43	5.014	0.0908
	10	3	68	5.11	28.361	1.3781	1.174	3.101	4.139	0.075
	7	4	104.143	5.014	45.121	3.2556	1.804	2.409	3.999	0.0725
	10	5	462.3	4.82	216.85	136.15	11.67	12.11	5.381	0.0975
	10	6	1113.3	4.96	493.55	431	20.76	42.01	4.206	0.0762

Садкинского карьера плотностью 1210 кг/м<sup>3</sup>. Содержание цемента (М 500) Себряковского завода в составах №1 и 3 - 100 кг/м<sup>3</sup>, а натриевого жидкого стекла плотностью 1360 кг/м<sup>3</sup> - 10 кг/м<sup>3</sup>. Во второй состав, помимо цемента - 80 кг/м<sup>3</sup> и жидкого стекла 12 кг/м<sup>3</sup>, вводился шлак электросталеплавильного производства Красносулинского завода.

Анализируя приведенные результаты можно отметить, что опыты, проведенные с фиксированной нагрузкой, характеризуются большими отклонениями от средней величины пластической прочности выборки и низкими показателями точности. В то время как плавная нагрузка до заданного интервала погружения конуса – 4,5 – 5,5 мм, позволяет сократить число измерений при требуемой точности.

Результаты исследования кинетики гидратации цементного теста приведены в табл 2. Тесто нормальной густоты, приготовленное из портландцемента (М 500) Старооскольского завода, укладывалось в кольца диаметром 100 мм и после соответствующего времени твердения подвергалось испытанию коническим пластомером. Первая половина образцов испытывалась с фиксированной нагрузкой, а вторая с плавным нагружением до заданного интервала погружения конуса.

Анализируя полученные результаты можно отметить, что при глубине погружения конуса в образец до 4,5 мм и более 5,5 мм, точность определения величины пластической прочности значительно ниже, чем при подборе нагрузки до погружения конуса на глубину около 5 мм.

При малой глубине погружения очевидно сказываются макроструктурные аномалии гидратации различных участков образцов (испарение влаги, изменение температуры, карбонизация), а при большой глубине погружения возле поверхности конуса, из-за выдавливания раствора уровень поверхности изменяется, что и приводит к появлению отклонений.

Таким образом, при проведении исследований изменения пластической прочности различных твердеющих составов следует подбирать нагрузку таким образом, чтобы глубина погружения конуса прибора находилась в пределах 4,5 – 5,5 мм. Это позволит в сочетании со статистической оценкой точности измерений сократить объем измерений и повысить их достоверность.

УДК 622.257.1

## **О НАЧАЛЬНОМ ГРАДИЕНТЕ ФИЛЬТРАЦИИ ГЛИНОЦЕМЕНТНЫХ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ**

*И.В. Попов, В.Д. Рябичев,  
Антрацитовский факультет горного дела и транспорта,  
ВНУ им. В.Даля, г. Антрацит*

При производстве тампонажных работ с целью водоизоляции, предусматривается возведение противофильтрационных тампонажных завес – экранов вокруг горной выработки: (шахтные стволы, карьеры, тоннели железнодорожных сообщений, метро, подземные переходы и т.д.) глиноцементными растворами.

При расчете прогнозных и фактических водопритокков в горную выработку используется «Основной линейный закон фильтрации» А. Дарси [1]:

$$Q = K_{\phi} \omega \frac{h}{L} = K_{\phi} \omega J, \quad (1)$$

для горизонтальной фильтрации закон Дарси выразится в виде:

$$V = \frac{K_{\phi}}{P_g} \frac{P_1 - P_2}{L}, \quad (2)$$

где  $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации, имеющий размерность скорости (м/с);  
 $\omega$  – площадь нормального к направлению движения сечения пористой среды, м<sup>2</sup>;

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

$P_1$  и  $P_2$  – пьезометрические давления, МПа;

$L$  – длина пути фильтрации, м;

$h$  – потеря напора на рассматриваемом участке фильтрации, м;

$J = \frac{h}{L}$  – градиент фильтрации (безразмерная величина);

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

Величина коэффициента фильтрации зависит от свойств пористой среды и свойств фильтрующейся жидкости, кроме того, зависит от формы и размеров частиц породы, степени шероховатости их поверхности, пористости среды извилистости поровых каналов, вязкости жидкости.

В наших исследованиях большой принципиальный и практический интерес представляет анализ условий нарушения основного закона фильтрации при малых скоростях фильтрации, характерных для слабопроницаемых пород. Закон Дарси нарушается с уменьшением скорости фильтрации. Природа этих аномалий связана с влиянием сил молекулярного взаимодействия частиц и породы, а также с наличием **вязко-пластических свойств у воды** при течении в ультратонких поровых каналах [2]. Влияние этих факторов на характер фильтрации обуславливает наличие некоторого начального градиента напора, ниже которого фильтрация отсутствует. Эта величина получила название начальный градиент фильтрации  $J_0$ . Наличие начальных градиентов при уменьшении скорости фильтрации отмечено многими авторами [2]. Величина начального градиента является нижней границей применимости закона Дарси в обычной форме.

С этим явлением приходится обычно сталкиваться при исследованиях процесса фильтрации через слабопроницаемые породы: глины, суглинки, торфы и др.

Так, по данным лабораторных исследований С.А. Роза [3] начальный градиент у глин достигает значения 15-40.

Наличие начального градиента бесспорно установлено для пород, содержащих коллоиды органического и минерального составов, например, для торфа и богатых коллоидами глин. На наличие начального градиента фильтрации указывают также явления, наблюдаемые при бурении и исследовании буровых скважин: полное прекращение поглощения промывочной жидкости в породах с мелкими пораами или тонкими трещинами.

Факты существования начальных градиентов напора, при которых становится возможной фильтрация в глинах были объяснены Н.Ф. Бондаренко и С.В. Нерпиным вязко-пластичным характером полярных жидкостей в тонкопористых телах [4]. Объяснение наблюдаемых явлений основано на представлении о трехслойной структуре воды у поверхностей раздела вода – твердое тело.

Н.Ф. Бондаренко и С.В. Нерпиным с помощью различных методов (электороосмоса, фильтрации при высоких и низких градиентах напора и др.) были экспериментально найдены величины предельного напряжения сдвига:

1) для воды в объеме ( $\tau_{01} \approx 10^{-3}$  Па);

2) для воды граничной фазы, или **сольтватного слоя** ( $\tau_{02} \approx 9,5 - 13$  Па);

3) для воды «подплавленного» (переходного) слоя ( $\tau_{01} \approx 10^{-4}$  Па);

Различная подвижность жидкости в граничных слоях может оказать существенное влияние на характер фильтрации в зависимости от соотношения между размерами слоев с особыми свойствами и от величины градиентов напора.

Поскольку вода в объеме все же обладает весьма низким предельным (динамическим) напряжением сдвига  $\tau_{01} \approx 10^{-3}$  Па, то вязко-пластические свойства ее могут обнаруживаться только при течении в очень тонких порах при толщине водных слоев порядка 0,1 мкм.

Учитывая этот факт, приходим к выводу, что при фильтрации через очень узкие поры даже самые незначительные элементы сдвиговой прочности могут определить практическую водонепроницаемость образца тонкопористого тела при наличии значительных градиентов напора. Эта непроницаемость тонкопористого тела и характеризуется начальным градиентом напора  $J_0$ . Аналитическое выражение для  $J_0$  можно найти из гидродинамического уравнения движения вязко-пластичной жидкости в капилляре:

$$-\eta \frac{dv}{dr} = \frac{1}{2} \rho g r J - \tau_0 \quad (3)$$

где  $V$  – скорость течения вдоль капилляра, м/с;  
 $r$  – радиус капилляра, м;  
 $\tau_0$  – динамическое напряжение сдвига воды, Па;  
 $J$  – градиент напора;  
 $\rho$  – плотность кг/м<sup>3</sup>;  
 $\eta$  – структурная вязкость Па·с;  
 $g$  – ускорение силы тяжести м/с<sup>2</sup>;

В случае предельного равновесия, когда на границе жидкости с твердым телом соблюдается равенство

$$\frac{1}{2} \rho g r J = \tau_0 \quad (4)$$

вязко-пластичное движение еще не наступит, т.е.  $V=0$  и, следовательно, для начального градиента фильтрации получим следующее выражение:

$$J_0 = \frac{2\tau_0}{\rho g r} \quad (5)$$

В уплотненных глинах средняя толщина водных прослоев очень мала, поэтому можно предполагать, что в уплотненных образцах глин величины  $J_0$  должны быть достаточно большими. Используя формулу (5)

$$J_0 = \frac{2\tau_{02}}{\rho g R_{з.ф.}} \quad (6)$$

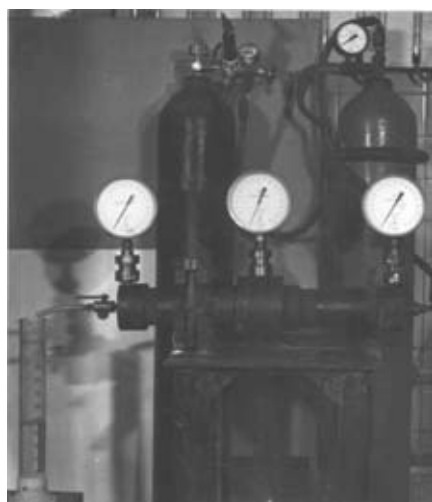
где  $\tau_{02}$  – предельное напряжение сдвига воды граничной фазы равно  $\sim 10$  Па;

$R_{г.ф.}$  – радиус граничной фазы ( $\sim 3$  нм),

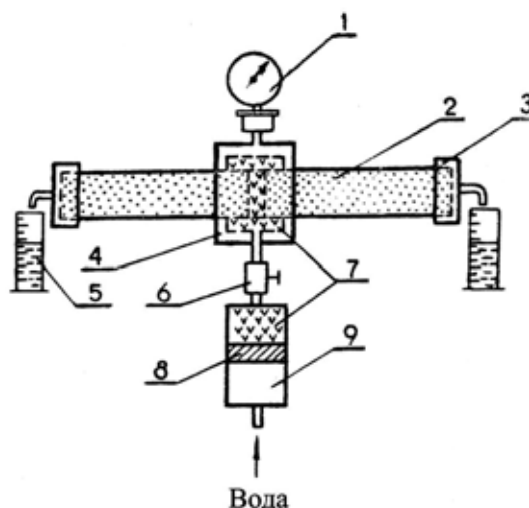
получим  $J_0 \approx 7 \cdot 10^5$

Нами проведены эксперименты по определению зависимости начальных градиентов фильтрации от давления формирования и толщины водоизоляционных завес для глиноцементных тампонажных растворов и для чистых глинистых растворов (рис. 1). Раскрытие трещины изменялось в пределах:  $2\delta = (2 \div 15) \cdot 10^{-3}$  м. Результаты экспериментов показали, что начальный градиент фильтрации тампонажных растворов зависит от давления формирования завесы, состава тампонажного раствора и практически мало зависит от величины раскрытия трещины. Начальный градиент фильтрации водоизоляционной завесы, сформированной из глинистых растворов не зависит от плотности раствора, а зависит от давления формирования. Результаты экспериментов по определению начальных градиентов водоизоляционных завес из отфильтрованных глинистых растворов хорошо согласуются с результатами определения начальных градиентов фильтрации для плотных глин другими исследователями [3]. Необходимо, однако, отметить, что начальные градиенты фильтрации завес из глиноцементных тампонажных растворов существенно отличаются от начальных градиентов для глин (на 3-4 порядка)

Результаты экспериментов по определению зависимости начального градиента фильтрации от давления формирования завесы и величины раскрытия трещины для глиноцементных тампонажных растворов приведены в табл. 1 и на рис. 2



а)



б)

Рис. 1. Экспериментальный стенд для исследований фильтрационных параметров тампонажных растворов:

а) фрагмент экспериментальных исследований;

б) принципиальная схема экспериментальных исследований:

1 - манометр, 2 - пористая среда, 3 - крышка, 4 - соединительная муфта, 5 - мерный цилиндр, 6 - кран, 7 - тампонажный раствор, 8 - поршень, 9 - нагнетательный цилиндр



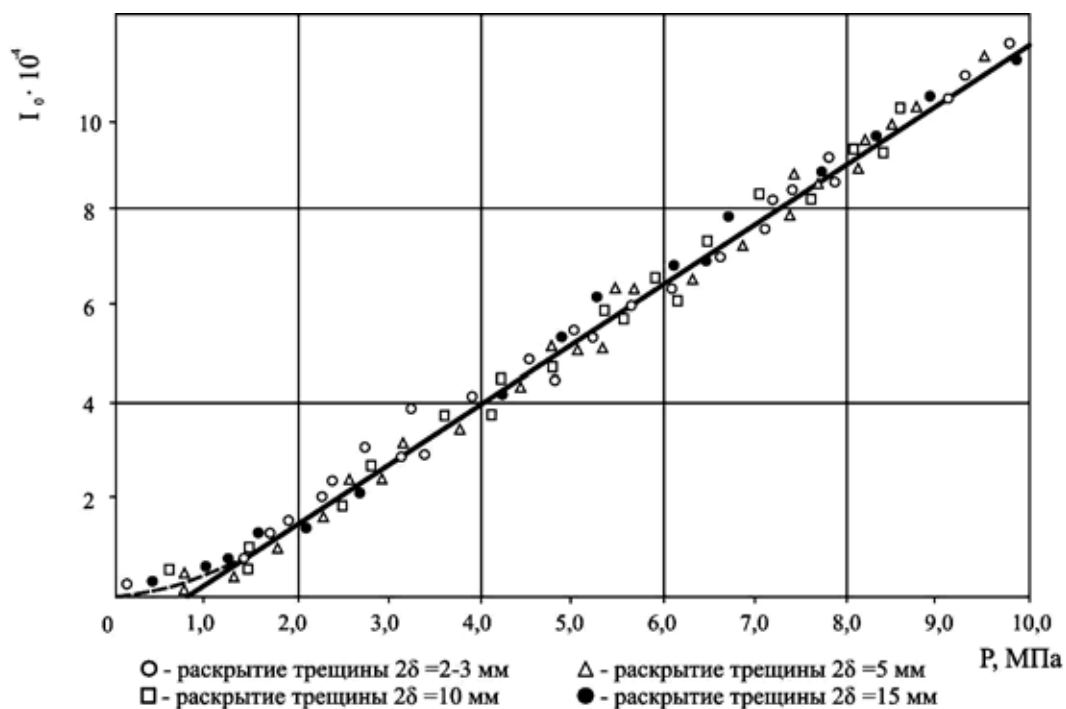


Рис. 2. Зависимость начального градиента фильтрации тампонажной завесы от давления её формирования

Таблица 1

Экспериментальные результаты

№ п/п	Давление формирования завесы $P$ , (МПа)	Начальный градиент фильтрации $J_0 \cdot 10^{-4}$	Коэффициент фильтрации $K_{\phi}$ , $10^{-10}$ м/с
1	2	3	4
1.	0,0	0,0035	7,50
2.	0,1	0,008	7,03
3.	0,2	0,015	6,85
4.	0,3	0,04	6,11
5.	0,4	0,10	5,80
6.	0,5	0,25	5,53
7.	0,6	0,23	4,32
8.	0,7	0,31	4,08
9.	0,8	0,34	3,40
10.	0,9	0,38	3,01
11.	1,0	0,45	2,78
12.	1,5	1,50	2,01

1	2	3	4
13.	2,0	1,85	1,62
14.	2,5	2,08	1,12
15.	3,0	3,56	0,73
16.	3,5	3,80	0,80
17.	4,0	4,23	0,64
18.	4,5	4,30	0,51
19.	5,0	4,60	0,30
20.	5,5	5,30	0,28
21.	6,0	6,10	0,15
22.	6,5	6,50	0,11
23.	7,0	7,35	0,11
24.	7,5	6,05	0,095
25.	8,0	8,83	0,10
26.	8,5	9,50	0,063
27.	9,0	10,32	0,06
28.	9,5	11,01	0,052
29.	10,0	12,06	0,044
30.	12,0	16,65	0,036

Существование аномально высоких начальных градиентов фильтрации в уплотненных глинах объясняется достаточно высокой упорядоченностью расположения частиц в образце [5], вследствие чего средняя толщина водного слоя между частицами составляет  $3 \div 10$  мкм. В этих условиях сильно проявляются вязкопластичные свойства воды и, как следует из работ Н.Ф. Бондаренко, С.В. Нерпина, Л.И. Кульчицкого [5], в уплотненных образцах величины  $J_0$  должны быть достаточно большими порядка  $\sim 7 \cdot 10^5$ , (см. (6)). Однако, как показано в работе [5], после снятия уплотняющей нагрузки  $P_n < 0.4$  МПа толщина водных прослоев резко увеличивается, происходит набухание глин, и образуются микропоры, по которым возможна фильтрация воды. Это подтверждено нашими экспериментами по определению начальных градиентов для уплотненных глинистых суспензий.

В глиноцементных тампонажных растворах макропоры, по которым происходит фильтрация, заблокированы новообразованиями цементных частиц с высокоразвитой удельной поверхностью. Эти новообразования интенсивно отбирают воду при структурообразовании, утоньшаются водные оболочки, и аномальные свойства жидкости, проявляются еще больше. Вследствие этого

глиноцементные тампонажные растворы не набухают, и влажность их остается постоянной.

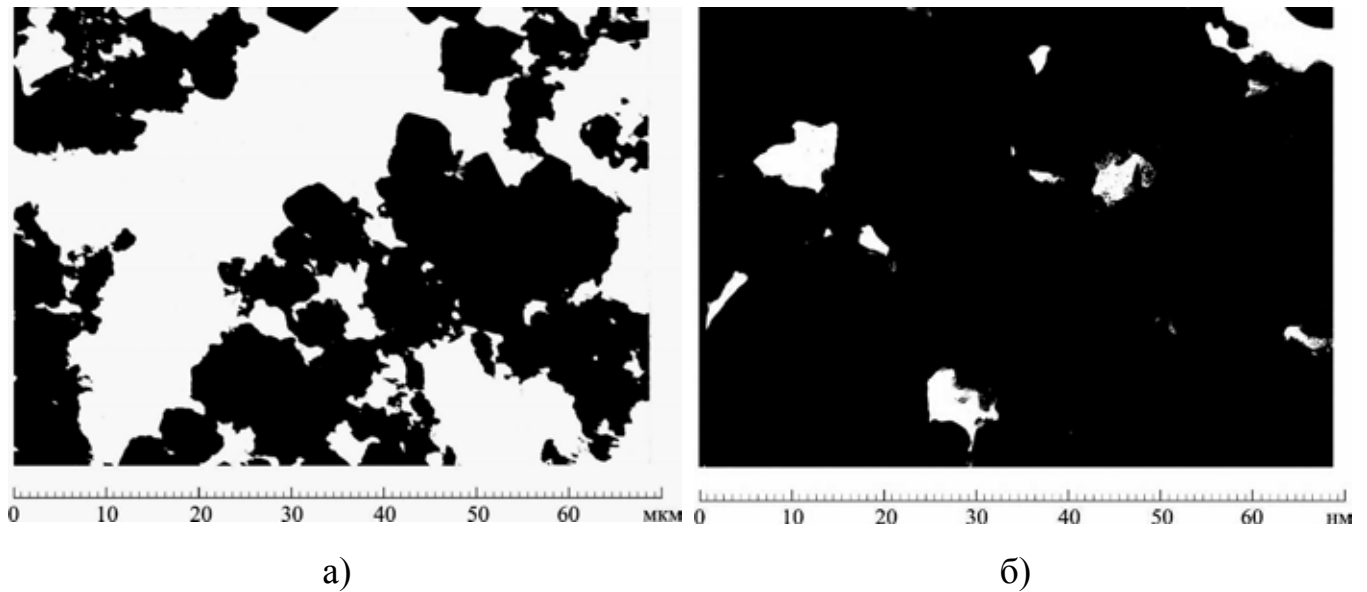


Рис. 3. Микрофотографии изломов уплотненных глин (а) и глиноцементных тампонажных растворов (б) (при уплотняющей нагрузке 10 МПа)

Проведенные эксперименты по определению начальных градиентов фильтрации хорошо согласуются с теоретическими обоснованиями больших величин начальных градиентов фильтрации.

В процессе экспериментальных исследований были получены микрофотографии изломов уплотненных глин и глиноцементных растворов после проведения фильтрации с целью определения начального градиента. Микрофотографии приведены на рис. 3. На фотографиях видны микропоры в глине (рис. 3-а) и в глиноцементном тампонажном растворе (рис. 3-б) при уплотняющей нагрузке 10 МПа. Как видим, максимальный размер пор в образце глины составляет  $\sim 70$  мкм, что соответствует минимальному градиенту  $J_0^{\min} \approx 28 \div 30$ , а в образце глиноцементного раствора максимальный размер пор составляет  $\sim 15$  нм, что соответствует минимальному начальному градиенту  $J_0^{\min} \approx 13 \cdot 10^4$  (см. (5) и (6)). Как отмечалось выше, после проведения фильтрации через образец глины произошло набухание образца, образовались макропоры, а в глиноцементном образце этого не произошло.

Таким образом, значения начальных градиентов, определенные для глиноцементного раствора экспериментально (см рис. 3) и теоретически (см. рис. 2 и (6)) хорошо согласуются. Это подтверждает достоверность экспериментальных исследований по определению начальных градиентов фильтрации.

## *Литература*

1. Коллинз Р. Течение жидкости через пористые материалы. - М.: Мир. 1964. - с. 350.
2. Бондаренко Н.Ф. Физика движения подземных вод. - Л.: Гидрометеиздат, 1973. - с. 215.
3. Роза С.А. Осадки гидротехнических сооружений на глинах с малой влажностью, // Гидротехническое строительство, 1950. - № 9. - с. 25-30
4. Бондаренко Н.Ф., Нерпин С.В. Соотношение между сдвиговой прочностью жидкостей в объеме и граничных слоях. - М.: В. кн. Поверхностные силы в тонких пленках и дисперсных системах, - 1972. с. 281-289
5. Кульчицкий Л.И., Ткаченко Ю.Г. Влияние аномальной вязкости поровых растворов в микрокапиллярах глин на процесс диффузионного переноса ионов. // Коллоидный журнал. т. 37, 1975. - № 5, - с. 878-884.

УДК 622.257.1

### **ИЗМЕНЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНОЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ В ПРОЦЕССЕ ТАМПОНАЖА ТРЕЩИНОВАТО-ПОРИСТЫХ ГОРНЫХ ПОРОД**

*И.В. Попов, А.Э. Кипко,  
Антрацитовский факультет горного дела и транспорта,  
ВНУ им. В.Даля, г. Антрацит*

Одним из основных технологических параметров при проведении тампонажных работ является давление нагнетания тампонажного раствора  $P$  в обводненный горный массив. Ранее нами получено уравнение для расчета перепадов давления при течении раствора в трещинах с проницаемыми стенками [1]:

$$\Delta P = \frac{2Q\eta}{\pi\delta^3} \ln \frac{R_k}{R_c} + \frac{\tau_0(R_k - R_c)}{\delta} + \frac{2\tau_0(R_k - R_c)\sqrt{2Q\eta}}{\delta^2(\sqrt{4\pi R_k \tau_0 + QJ} + \sqrt{4\pi R_c \tau_0 + QJ})} - \rho g(R_k - R_c)\cos\varphi\cos\alpha, \quad (1)$$

где  $Q$  – расход тампонажного раствора,  $м^3$ ;

$\eta$  – структурная вязкость,  $Па\cdot c$ ;

$2\delta$  – раскрытие трещины,  $м$ ;

$R_k$  – радиус распространения тампонажного раствора,  $м$ ;

$R_c$  – радиус скважины,  $м$ ;

$\tau_0$  – динамическое напряжение сдвига,  $Па$ ;

$J$  – интенсивность отфильтровывания жидкой фазы,  $\frac{кг}{м^3 \cdot сек}$ ;

$\rho$  – плотность тампонажного раствора,  $\frac{кг}{м^3}$ ;

$\alpha$  – угол наклона трещины от вертикали, град;

$\varphi$  – полярный угол в цилиндрической системе координат, град;

$g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ .

Но при течении глиноцементного тампонажного раствора в трещиновато-пористой среде происходит изменение реологических и структурно-механических характеристик раствора в результате отфильтровывания жидкой фазы (воды) из раствора.

Эксперименты по определению изменения реологических и структурно-механических характеристик растворов были проведены на специальном экспериментальном стенде (рис. 1)

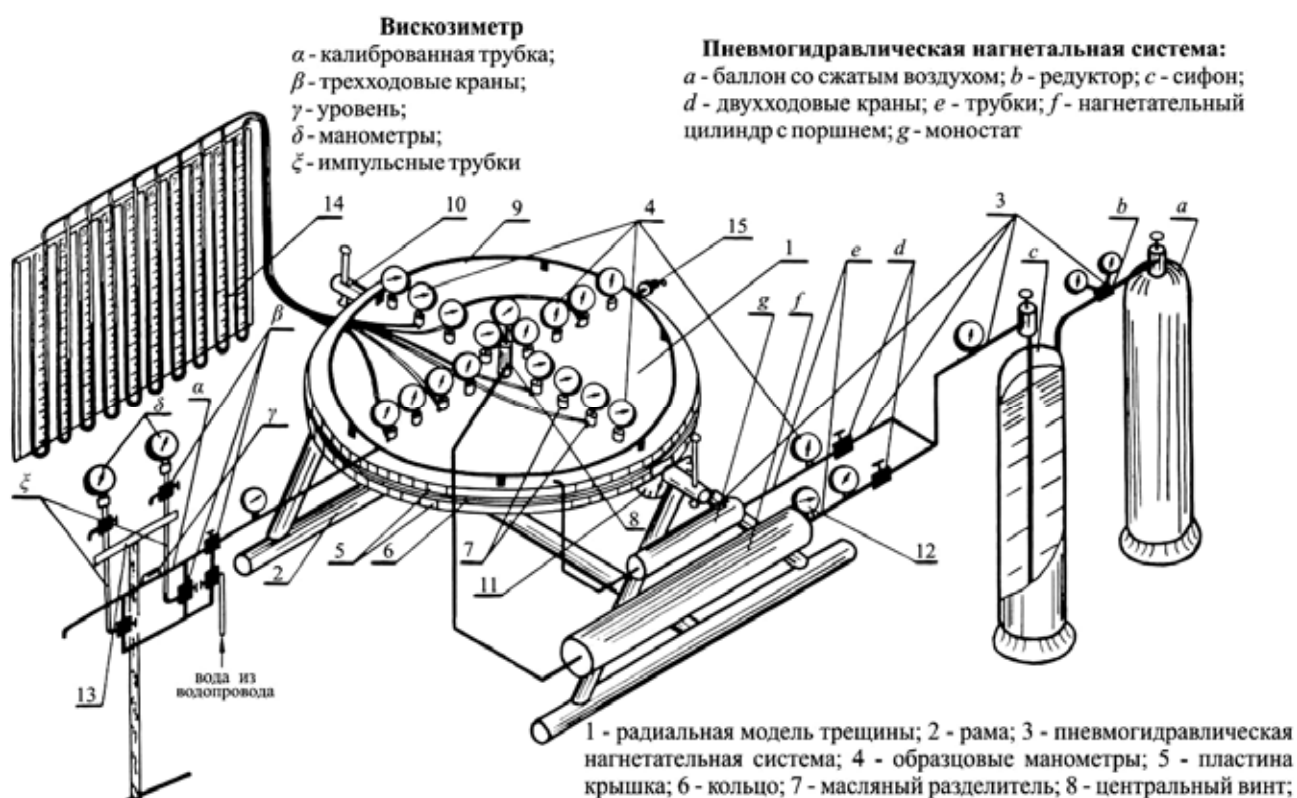


Рис. 1 Экспериментальный стенд для исследования процесса тампонажа трещиновато-пористых горных пород

Эти эксперименты показали, что в начальный период нагнетания раствора отфильтровывание жидкой фазы происходит незначительно (в этот период скорость течения раствора по трещине значительно больше скорости фильтрации в стенки трещины). По мере нагнетания раствора и увеличения радиуса распространения раствора давление нагнетания растет, скорость течения по трещине уменьшается и становится сравнимой со скоростью отфильтровывания жидкой фазы в стенки трещины, происходит интенсивное изменение структурно-механических и реологических характеристик тампонажного раствора.

Вследствие увеличения плотности, вязкости и динамического напряжения сдвига, давление еще более возрастает, скорость течения раствора уменьшается, а скорость отфильтровывания жидкой фазы возрастает и может превышать скорость течения по трещине. На последнем этапе течение раствора по трещине прекращается, и происходит только отфильтровывание жидкой фазы в стенки трещины.

Учитывая вышеизложенное, при решении динамической задачи в первом приближении предполагалось, что

$$\rho = const; \tau_0 = const; \eta = const$$

А когда динамическая задача переходит в статическую, на последнем этапе необходимо учитывать изменение структурно-механических и реологических характеристик тампонажного раствора.

Принимая во внимание изменение реологических констант и плотности при течении тампонажного раствора в трещине с проницаемыми стенками и обозначая переменные параметры соотношениями:

$$\begin{cases} \tau_0^* = \tau_0 + \Delta\tau_0, \\ \eta^* = \eta + \Delta\eta, \\ \rho^* = \rho + \Delta\rho. \end{cases} \quad (2)$$

подставим (2) в (1), получим

$$\Delta P = \frac{2Q\eta^*}{\pi\delta^3} \ln \frac{R_k}{R_c} + \frac{\tau_0^*(R_k - R_c)}{\delta} + \frac{2\tau_0^*(R_k - R_c)\sqrt{2Q\eta^*}}{\delta^2 \left( \sqrt{4\pi R_k \tau_0^* + QJ} + \sqrt{4\pi R_c \tau_0^* + QJ} \right)} - \rho^* g(R_k - R_c) \cos\varphi \cos\alpha, \quad (3)$$

обозначения прежние.

В процессе радиального течения тампонажного глиноцементного раствора (вязко-пластичной жидкости) в трещине с проницаемыми стенками происходит отфильтровывание жидкой фазы – дисперсионной среды из этого раствора. Дисперсионной средой в данном случае является вода.

В результате теоретических исследований получены уравнения, определяющие изменение реологических параметров:

$$\Delta\tau_0 = \frac{Q(R_k + R_c)^4(R_k - R_c)}{2\pi\delta^2 R_k^3 R_c^2 (R_k + 2R_c)} \eta + \frac{(R_k - R_c)R_c}{(R_k + 2R_c)R_k} \tau_0 - \frac{JQ(R_k^2 - R_c^2)}{4\pi R_k^2 R_c} \quad (4)$$

$$\Delta\eta = \frac{2\pi\delta^2 R_c(R_k - R_c)}{Q(R_k + 2R_c)} \tau_0 + \frac{(R_k + R_c)^2(R_k - R_c)}{R_k^2(R_k + 2R_c)} \eta - \frac{J\delta^2(R_k - R_c)}{2R_k} \quad (5)$$

Полученные уравнения (4) и (5) позволяют определить изменения реологических констант  $\tau_0$  и  $\eta$  по длине потока при течении тампонажного раствора в трещине с проницаемыми стенками.

Однако, для практических расчетов целесообразно экспериментальным путем получить эмпирические зависимости (уравнения регрессии) реологических параметров.

В результате рассмотрения процесса отфильтровывания жидкой фазы из раствора в проницаемые стенки теоретически нами получена формула для определения интенсивности отфильтровывания жидкой фазы  $J$ , характеризующейся секундой, отнесённой к единице объема, потерей массы вещества в данной точке потока.

$$J = \frac{\rho_e K_\phi}{\delta} \sin \alpha, \quad (6)$$

где  $\rho_e$  – плотность воды,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ,

$K_\phi$  – коэффициент фильтрации межтрещинных блоков,  $\text{м/с}$   
остальные обозначения прежние.

Были проведены эксперименты по определению реологических и структурно-механических параметров (2) глиноцементных тампонажных растворов (рис 2).

Проведенные эксперименты позволили установить следующие зависимости (рис. 3):

Методом многофакторного регрессионного анализа [3] получены уравнения регрессии

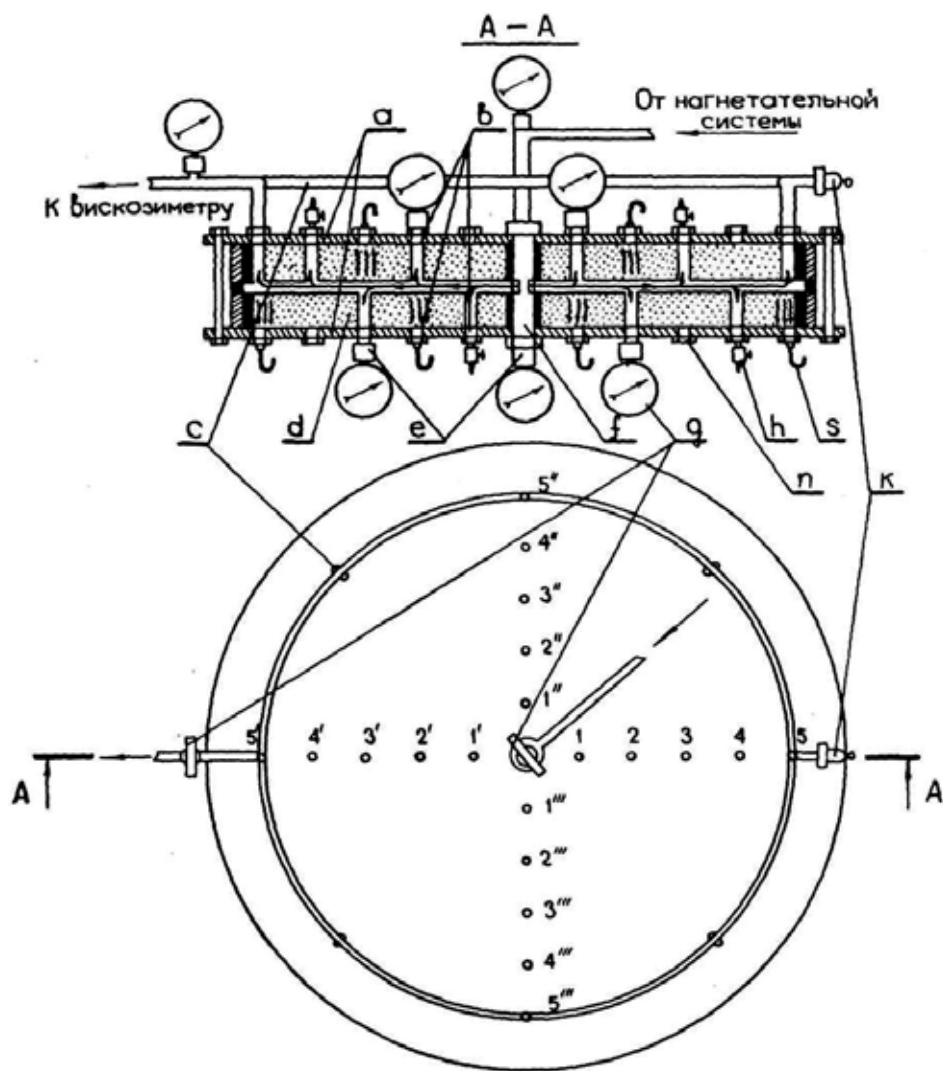
$$\tau_0^* = \tau_0 + \frac{3 \cdot 10^5 Q (R_k^2 - R_c^2) \rho_e K_\phi \sin \alpha + 7}{2\pi \delta R_k^2 R_c} \quad (7)$$

$$\eta^* = \eta + 2 \cdot 10^6 \delta \rho_e \frac{(R_k - R_c)}{R_k} + 3 \quad (8)$$

$$\rho^* = 0,97\rho + 0,21\tau_0^* - 0,44\eta^* + 37 \quad (9)$$

В результате получены критические параметры глиноцементных растворов, когда тампонажный раствор не прокачивается в трещины с проницаемыми стенками. Достижение этих параметров обусловлено отфильтровыванием жидкой фазы в межтрещинные пористые блоки. Эти параметры следующие:

$$\begin{aligned} \tau_{0\text{кр}}^* &\approx (900 \div 1000) \text{ Па}; \\ \eta_{\text{кр}}^* &\approx (300 \div 320) \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} \\ \rho_{\text{кр}} &\approx (1540 \div 1550) \text{ кг/м}^3. \end{aligned} \quad (10)$$



	Манометр	Пьезометр	Кран	Точки замера
Верхняя пластина	0; 1; 2'; 3''; 4''' ; 5'	1''' ; 2; 3'; 4''	1''; 2''' ; 3; 4'; 0	
Нижняя пластина	0; 1''' ; 2; 3'; 4''	1; 2'; 3''; 4''' ; 5; 5'	1'; 2''; 3''' ; 4	

Рис. 2. Схема эксперимента по исследованию процесса течения глиноцементного раствора в трещине с проницаемыми стенками:

*a* - крышка; *b* – специальный штуцер; *c* - коллектор; *d* – пористая среда; *e* - масляный делитель; *g* - манометр; *h* - кран; *s* - пьезометр; *f* – центральный винт; *k* – предохранительный клапан; *n* - заглушка.

При достижении этих параметров отфильтровывание жидкой фазы в динамике прекращается, раствор стабилизируется в трещине, и при дальнейшем повышении давления жидкая фаза отфильтровывается из раствора, находящегося в покое, а при повышении давления изменяется структура тампонажного раствора.



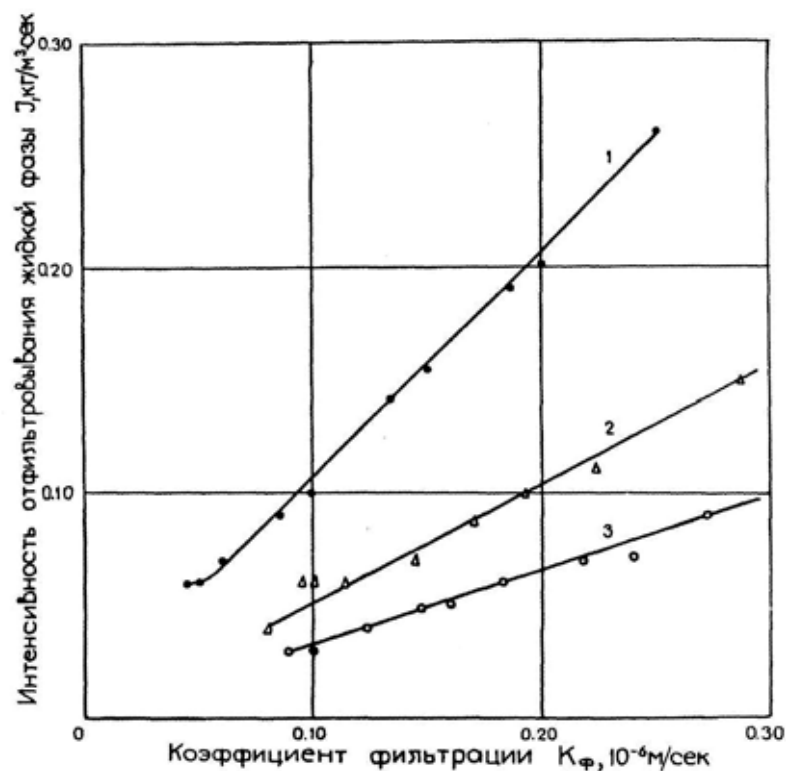


Рис. 3. Зависимость интенсивности отфильтровывания жидкой фазы от коэффициента фильтрации межтрещинных блоков:

- 1 – раскрытие трещины  $2\delta = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ; 2 – раскрытие трещины  $2\delta = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;  
3 – раскрытие трещины .

Установлено, что интенсивность отфильтровывания жидкой фазы  $J$  зависит в основном от геометрии области фильтрации: раскрытия трещины, угла наклона трещины и коэффициента фильтрации межтрещинных блоков  $K_f$ . Зависимость интенсивности отфильтровывания  $J$  от перепада давления  $\Delta P$  по длине потока не существенна.

Подтверждение проведенных теоретических и экспериментальных исследований хорошо согласуются (с погрешностью в 10 – 15 %, допустимой в гидравлических расчетах [4]) при проведении тампонажных работ на ш. Красноармейская – Западная №1 п.о. «Красноармейскуголь» и ш. Горская № 1-2 п.о. «Первомайскуголь».

### Литература

1. Попов И.В. Разработка технологии сооружения противофильтрационных завес в трещиновато-пористых горных породах при строительстве шахтных стволов. Дис. к.т.н. Шахты. 1984.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука. - 1973. – с. 248.
3. Мирзаджанзаде А.Х., Степанов Г.С. Математическая теория эксперимента в добыче нефти и газа. - М.: Недра. 1977. – 228 с.
4. Теплов А.Н. Основы гидравлики. – М.: Энергия. – 1971. – 210 с.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНОГО МАССИВА**

*П.Н. Должиков, В.П. Сбитнев, Антрацитовский факультет горного дела и транспорта ВНУ им. В.Даля, г. Антрацит*

Для решения современных проблем промышленного, гражданского, гидротехнического, шахтного и подземного строительства необходима достоверная и оперативная информация о свойствах и состоянии горных пород в процессе ведения работ.

Современные техногенные нагрузки на горный массив достигли таких величин, что часто вызывают опасные для сооружений и окружающей среды деформационные процессы и явления в горных породах, которые изменяют свойства и состояние массива горных пород. Без их прогноза и контроля невозможно дальнейшее успешное развитие всех видов строительства. В настоящее время ключевым моментом в этом вопросе является всестороннее и более полное изучение строения, свойств и состояния горного массива и их прогнозирование с позиций современной геофизики, как комплекса наук, исследующих физическими методами горный массив [1]. На современном этапе он разделился на региональную, разведочную, инженерную, промысловую геофизику и петрофизику, которые можно рассматривать в известной мере как самостоятельные научные дисциплины (рис. 1).

Однако крупнейшие достижения в области разведочной и инженерной геофизики начиная с 70-х годов, позволили внедрить в практику горного дела геофизические методы (горная геофизика) для исследования массива горных пород. Из их богатого арсенала заимствовано большинство широко используемых на практике принципов и приемов исследований. Но они во многих случаях подвергались коренной перестройке, как в отношении пространственной и временной систем наблюдений, так и приемов обработки результатов, включая сюда физический и математический аппарат с привлечением ЭВМ [2].

Инженерная геофизика изучает самую верхнюю часть горного массива, в пределах которого протекает основная строительная, а в более широком смысле и вся хозяйственная деятельность человека. Это толща мощность которой в большинстве случаев не превышает десятков реже первых сотен метров (промышленное, гражданское и гидротехническое строительство) [3]. Горная же геофизика, как сравнительно молодое развивающееся направление разведочной и инженерной геофизики исследует горные породы на больших глубинах при освоении и разработке месторождений, а также при сооружении капитальных горных выработок в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях. Общее представление о направлениях и задачах горной геофизики, или, иначе, о ее содержании дает приведенная схема (рис. 1).

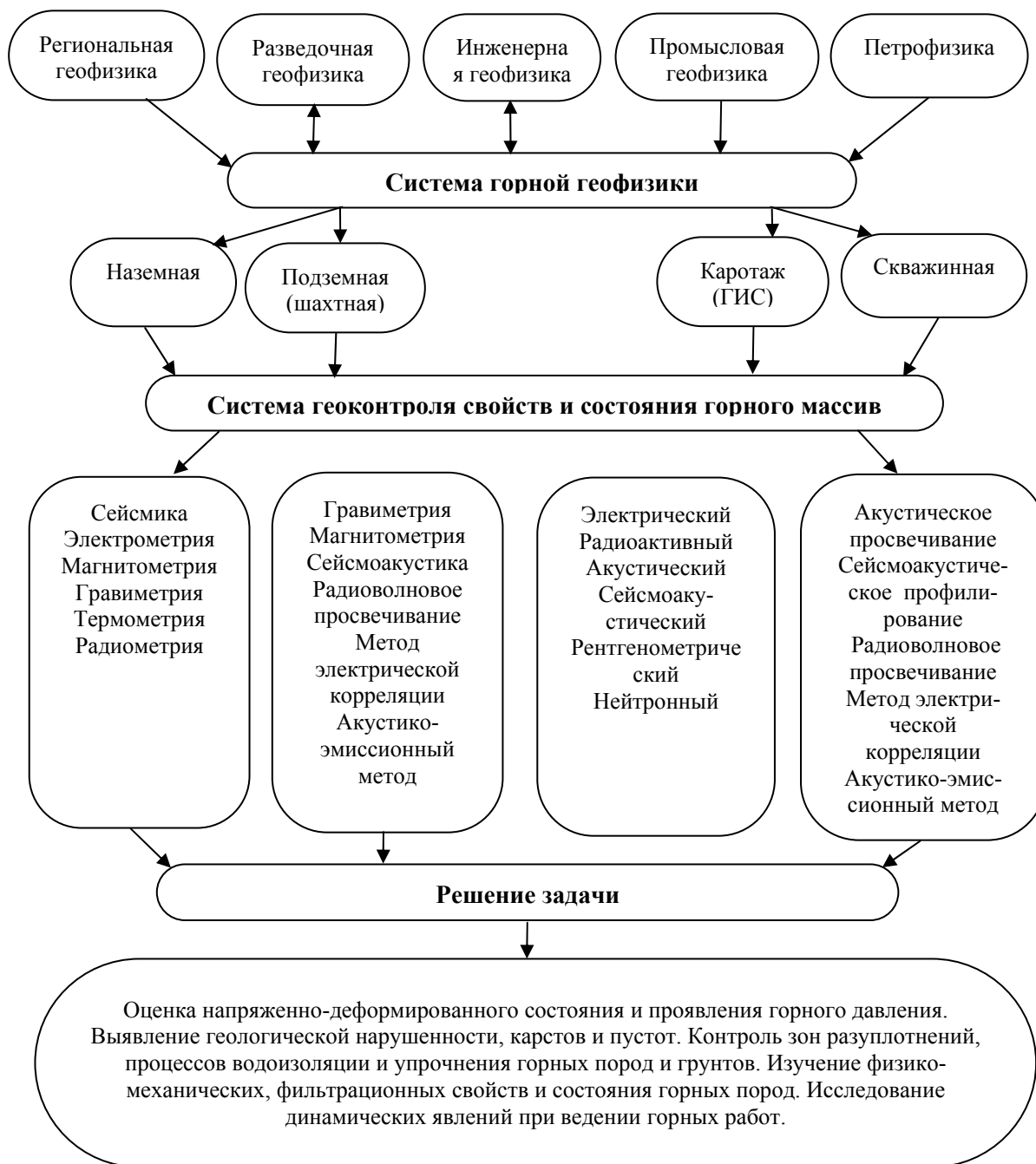


Рис. 1. Направления и задачи горной геофизики

Благодаря возможности установления корреляционных связей между ними методы горной геофизики нашли широкое применение в практике горного дела для решения следующих задач:

- оценки напряженно-деформированного состояния горного массива и проявления горного давления (система шахтной геофизики);
- выявления геологической нарушенности, карстов и пустот (системы наземной, шахтной и скважинной геофизики);
- контроля зон разуплотнений, процессов водоизоляции (замораживание, тампонаж) и упрочнения (цементация, уплотнение и физико-химическое

закрепление) горных пород и грунтов (системы наземной и скважинной геофизики);

- изучения свойств (физико-механические и фильтрационные) и состояния (характер и степень трещиноватости, закарстованность, водоносность, напряженное состояние, геотермические условия) массива горных пород (системы скважинной геофизики и каротажа);

- исследование динамических явлений (выбросов угля и газа, динамических ударов) при ведении горных работ (система шахтной геофизики).

В настоящее время горная геофизика является неотъемлемой частью горной технологии, осуществляющая оперативный контроль и прогноз свойств и состояния горных пород при ведении горных работ (геоконтроль) [1,2]. **Геоконтроль** – это система принципов и приемов исследований, а так же комплекс методов и средств, обеспечивающих получение оперативной информации о свойствах, составе, структуре и состоянии пород горного массива для контроля и прогноза условий ведения горных работ, оперативного планирования и управления горными работами при выемке полезного ископаемого и в процессе шахтного и подземного строительства.

При решении задач данного направления происходит тесное объединение (комплексирование) методов горной геофизики между собой, а также с традиционными методами натуральных исследований: геотехническими, геодезическими и геологическими. В этом комплексе роль горной геофизики сводится к получению разнообразной (геофизической) информации о процессах происходящих в различных по объему массивах горных пород (от нескольких см<sup>3</sup> до сотен и тысяч м<sup>3</sup>). Комплексирование с другими методами необходимо для обоснованного перевода получаемой геофизической информации в требуемую геомеханическую [1,2,3]. Таким образом горная геофизика есть комплексная система методов и средств геоконтроля обладающая только присущей ей принципами и приемами исследований. В свою очередь исходя из условий геоконтроля она разделяется на комплексные системы наземной, подземной (шахтной), каротажа (ГИС) и скважинной геофизики, которые в настоящее время являются самостоятельными ветвями горной науки.

Система наземной геофизики вобрала в себя все передовые методы разведочной и инженерной геофизики, однако условия геоконтроля в горном деле накладывают на нее некоторые ограничения. Система шахтной геофизики, как сравнительно молодое направление, используется для геоконтроля горных пород в сложных горно-геологических условиях не в полной мере из-за недостаточного аппаратного обеспечения. Система каротажа (ГИС) исследует состав, текстуру, структуру, свойства пород ее принципы и приемы исследований широко описаны в геофизической литературе. Система скважинной геофизики в отличие от методов каротажа исследует горное пространства около скважин, между ними и глубже них (около -, меж - и заскважинного) [4]. Она эффективно используется для оценки горного массива при строительстве капитальных горных выработок в сложных горно-геологических условиях для контроля и прогноза физико-

механических и фильтрационных свойств и состояния горных пород при сооружении противофильтрационных завес.

Примером высокой информативности и эффективности системы горной геофизики в практике горного дела могут служить исследования проведенные авторами, которые подробно описаны в работах [5,6]. Также широкое применение нашли методы горной геофизики для контроля состояния окружающей среды и ее изменения в результате хозяйственной деятельности человека, как комплексная система регламентированных периодических наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния природной среды с целью выявления негативных изменений и выработки рекомендаций по их ослаблению и устранению (геофизический мониторинг).

Однако нельзя сказать, что возможности горной геофизики используются в полной мере. Это в значительной степени объясняется недостаточным аппаратным обеспечением слабым развитием в настоящее время научно-исследовательских работ. Перспективы горной геофизики связаны со следующими направлениями: а) разработкой и внедрением цифровой компьютеризированной регистрирующей аппаратуры; б) разработкой машинных методов решения прямых и обратных задач геофизики на основе цифровой томографии с учетом анизотропии горного массива; в) разработкой методов определения физических свойств компонент, составляющих горную породу (твердая фаза, заполнитель), внутренней структуры породы, термодинамических параметров по интегральным геофизическим характеристикам; г) изучением динамических процессов в горном массиве путем использования искусственных и естественных геофизических полей.

### *Литература*

1. Ямщиков В.С. Контроль процессов горного производства: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1989. – 446с.
2. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. – М.: Недра, 1987. – 278с.
3. Комплексные инженерно-геофизические исследования при строительстве гидротехнических сооружений – А.И. Савич, Б.Д. Куюнджич, В.И. Коптев и др. Под ред. А.И. Савича, Б.Д. Куюнджича. – М.: Недра, 1990. – 462с.: ил.
4. Скважинная и шахтная рудная геофизика: Справочник геофизика. В двух книгах / Под редакцией В.В. Бродового. Книга первая – М.: Недра, 1989. – 320с.: ил.
5. В.П. Сбитнев, П.Н. Должиков, В.Д. Рябичев Исследование физико-механических свойств горных пород и состояния массива системой геоакустического контроля. Науковий вісник НГУ, 2005, № 1. с.50 – 55.
6. Э.Я. Кипко, В.П. Сбитнев, П.Н. Должиков, Е.Г. Соболев. Опыт исследования процесса тампонажа горных пород системой геоакустического контроля. – Науковий вісник НГУ, 2005, № 2. с. 25-29.

## **ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ ПРИРОДООХОРОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ЗАКРЫТИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДОНБАССА.**

*П.Н. Должиков, Антрацитовский факультет горного дела и транспорта,  
ВНУ им. Даля, г. Антрацит,  
В.Л. Маслов, ООО «Геотехника», г. Ровеньки*

Программа реструктуризации угольной промышленности Украины, а в связи с ней - закрытие шахт в Луганской области, приводит к изменению состояния окружающей природной среды. С массовым закрытием шахт связано развитие современных природно-техногенных процессов, среди которых выделяются, прежде всего:

- загрязнение подземных вод;
- подтопление и заболачивание аграрно-освоенных земель и территорий промышленно-гражданской застройки;
- подвижки массивов горных пород и проседание дневной поверхности;
- практически не контролируемое расширение путей миграции взрывоопасных газов.

При закрытии шахт методом «мокрой» консервации от 20 до 40 % территорий работ в границах горнопромышленных районов оказались подтопленными и заболоченными. При этом решающими факторами становятся гидрогеологические, подчиняя себе геомеханические.

Одной из причин загрязнения воздуха при закрытии шахт является вытеснение водой метана из горного массива на дневную поверхность и проникновение его в здания и сооружения. Поэтому весьма актуально решение инженерно-экологических проблем в районах закрытия угольных шахт.

Научно – проектным и строительным центром ООО «Геотехника» выполнен ряд проектных разработок и специальных работ по природоохранным мероприятиям, входящим в состав общих проектов по ликвидации шахт в Луганской области, которые разработаны институтом «Луганскгипрошахт». При этом для каждого объекта ООО «Геотехника» разрабатывался проект на производство работ и согласовывался с Заказчиком.

Работы выполнялись по следующим основным направлениям:

- бурение гидронаблюдательных скважин для мониторинга уровня грунтовых вод на полях ликвидированных шахт;
- бурение дегазационных скважин для дегазации погашенных горных выработок сверхкатегорийных шахт по газу;
- бурение закладочных и тампонажных скважин для физической ликвидации наклонных горных выработок.

В проводимых комплексах работ важное значение имеет конструкция и технология бурения скважин. Именно эти выработки определяют успех экологических мероприятий.

Приведем наиболее типичные примеры выполнения буровых и тампонажных работ.

1. Проект бурения гидронаблюдательной скважины глубиной 130м на поле ликвидированной шахты им. Володарского составлен на основании решения тендерного комитета государственного предприятия «Луганская областная дирекция по ликвидации убыточных угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий». Участок работ находится на окраине поселка Павловка Свердловского района Луганской области. Геологический разрез представлен каменноугольными отложениями свиты  $C_2^3$  среднего карбона, перекрытыми рыхлыми осадками четвертичного периода. В литологическом отношении породы карбона представлены чередованием слоев песчаников, песчаных и глинистых сланцев с угольными пластами и известняками (в разрезе преобладают песчаники и сланцы песчаные). Маркирующими горизонтами являются известняк  $H_5^1$  и угольные пласты  $h_8^1$ ,  $h_8$ . Четвертичные отложения представлены суглинками мощностью до 0,5 м.

Бурение скважины осуществлялось в соответствии с разработанной конструкцией установкой УКБ-500 без выхода керна с промывкой технической водой. Учитывая целевое назначение скважины и горно-геологические условия бурения, конструкция скважины следующая:

- кондуктор  $d=127$ мм в интервале 0–20,0 м;
- бурение в интервале 20-130м -  $d=112$ мм;
- обсадная колонна в интервале 0–130 м, нижние 10м которых перфорированы, соединение труб ниппельное.

В настоящее время скважина эксплуатируется без осложнений.

2. Бурение двух гидронаблюдательных скважин глубиной 70м на поле ликвидированной шахты «Донецкая» выполнено на окраине поселка Урало – Кавказ Краснодонского района Луганской области.

В геолого-структурном отношении участки бурения гидронаблюдательных скважин приурочены к северному и южному крыльям Дуванной синклинали. Падение пород моноклиналиное на север под углом  $56^\circ$  (проектная точка 1) и на юг под углом  $58^\circ$  (проектная точка 2). Геологический разрез участка работ представлен каменноугольными отложениями свиты  $C_2^7$  среднего карбона, перекрытыми лессовидными суглинками четвертичного возраста.

В литологическом отношении породы карбона представлены чередованием слоев песчаников, песчаных и глинистых сланцев с пластами светло – серых мощных известняков. Маркирующим горизонтом является известняк  $M_3$ . Четвертичные отложения представлены суглинками мощностью до 3–5 м.

Бурение скважин осуществлялось установкой УРБ 2А-2 без выхода керна, с продувкой сжатым воздухом через буровой инструмент. Учитывая целевое назначение скважин и горно-геологические условия бурения, принята следующая конструкция скважин:

- кондуктор  $d=127\text{мм}$  в интервале  $0-20,0\text{ м}$ ;
- бурение в интервале  $20-70\text{м}$  -  $d=112\text{мм}$ .

Скважина оборудована обсадной колонной в интервале  $0-70\text{м}$ , соединение труб ниппельное.

3. Аналогично выполнялось бурение двух гидронаблюдательных скважин глубиной  $50\text{м}$  по проекту ликвидации шахты № 3–4 «Миусинская», расположенной на окраине города Вахрушево Луганской области.

В геолого-структурном отношении участок приурочен к южному крылу Боково–Хрустальской синклинали. Падение пород моноклиналиное на север под углом  $50-55^\circ$ . Геологический разрез участка работ представлен каменноугольными отложениями свиты  $C_2^3$  среднего карбона, перекрытыми рыхлыми осадками четвертичного периода.

В литологическом отношении породы карбона представлены чередованием слоев песчаников, песчаных и глинистых сланцев с угольными пластами и известняками (в разрезе преобладают песчаники и сланцы песчаные). Маркирующими горизонтами являются известняк  $H_5^0$  и угольные пласты  $h_8, h_7, h_6$ . Четвертичные отложения представлены суглинками мощностью до  $0,5-1,0\text{м}$ .

Скважины оборудованы обсадной колонной в интервале  $0-50\text{м}$ , в интервале  $49,0-50,0\text{м}$  трубы перфорированы, соединение труб ниппельное.

Строительство таких скважин позволяет вести гидрогеологический мониторинг.

4. Бурение пяти дегазационных скважин глубиной  $130-150\text{м}$  на поле ликвидированной шахты «Алмазная» отличалось особыми условиями.

Участок работ находится на окраине города Вахрушево Луганской области.

В литологическом отношении породы карбона представлены чередованием слоев песчаников, песчаных и глинистых сланцев с угольными пластами и известняками. Маркирующими горизонтами являются известняки  $L_1, L_5$  и угольные пласты  $l_3, l_2^6$ . Четвертичные отложения представлены суглинками мощностью  $1 - 5\text{ м}$ .

В соответствии с глубиной, конструкцией скважин и способом проходки применялась буровая установка УКБ–500.

При бурении использованы бурильные трубы  $d=50\text{мм}$  и утяжеленные бурильные трубы  $d=89\text{мм}$ . Соединение долота с УТБ, с трубами, труб с ведущей осуществляется с помощью соответствующих переходников. В качестве породоразрушающего инструмента использованы трехшарошечные долота  $d=93\text{мм}, d=112\text{мм}$ .

В интервале от  $20\text{ м}$  до забоя скважины обсажены трубами  $d=89\text{мм}$ , нижние  $10\text{м}$  которых перфорированы. Перфорация обсадных труб выполнена по  $5\text{м}$  выше и ниже отметки горных работ. Верх кондуктора выведен на высоту  $3,0\text{м}$  от поверхности земли с последующим устройством дефлектора.

После сдачи заказчику дегазационные скважины используются для дегазации погашенных горных выработок, что значительно уменьшает



концентрацию метана, снижает возможность проникновения его на дневную поверхность, в здания и сооружения.

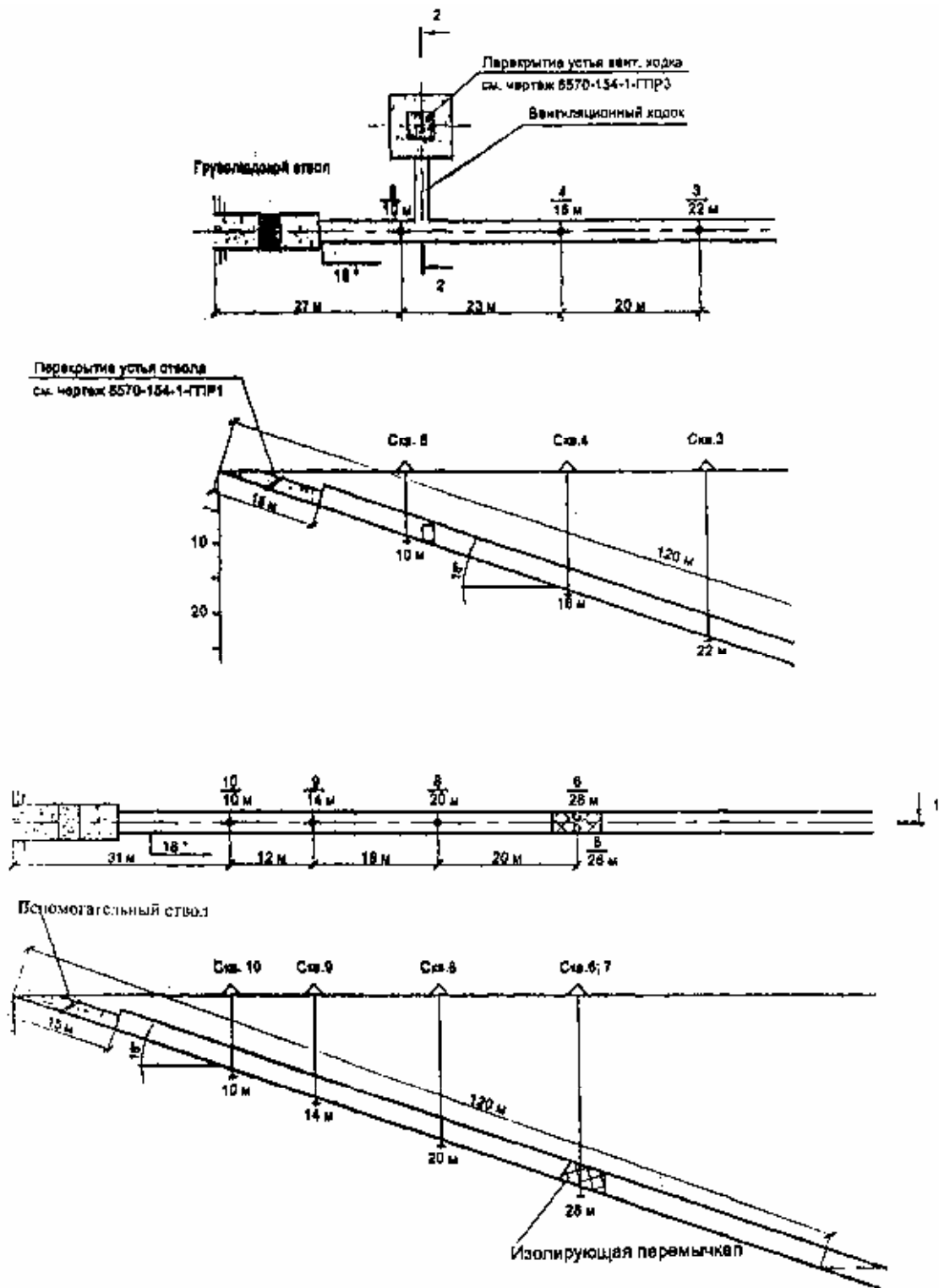


Рис. 1. Схема ликвидации грузолюдского и вспомогательного стволов шх. «Межсбросовая».

Для ликвидации наклонных вспомогательного и грузолодского стволов ликвидированной шахты №3–бис. «Межсбросовая» выполнено бурение закладочных и тампонажных скважин (рис. 1).

Пробурено 4 закладочных скважины глубиной 26–30м и 6 тампонажных скважин глубиной 10м, 4м, 16м, 20м, 22м. Конструкция закладочных скважин: 0–5м – диаметр бурения 190мм, диаметр обсадки – 168мм; 5м – забой - диаметр бурения 151мм; в интервале от 0м до забоя скважины обсажены трубами диаметром 146мм.

Конструкция тампонажных скважин: 0 – 5м – диаметр бурения 132мм, диаметр обсадки 127мм; в интервале 5,0м – забой 93мм.

Через закладочные скважины было произведено сооружение двух изолирующих перемычек в грузолодском и двух изолирующих перемычек во вспомогательном стволах. В качестве закладочного материала применялся карьерный отсев, перемешанный с цементно–силикатным тампонажным раствором в пропорции 1:1. Технология выполнения работ была следующая: в закладочную скважину подается тампонажно–закладочный раствор в объеме до 5м<sup>3</sup>, перерыв – 24 часа на стабилизацию, затем подается следующая порция раствора и т.д. до закачки проектного объема. Контроль формирования изолирующих перемычек осуществлялся через скважины. Всего было закачено 1659 м<sup>3</sup> раствора. Через тампонажные скважины закачено 1619 м<sup>3</sup> экологически чистого глиноцементного тампонажного раствора, приготовленного по технологии, мобильного комплекса [1].

Таким образом, можно сделать общий вывод: бурение технических скважин различного назначения - гидронаблюдательных, дегазационных, закладочных и тампонажных, способствует проведению специальных мероприятий, решающих многие экологические проблемы, возникающие при физической ликвидации шахт.

### *Литература*

1. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт / Кипко Э.Я., Должиков П.Н., Дудля Н.А. и др. – Днепропетровск: НГУ, - 2004. – 367с.

УДК 622.257.1

## **КРИТЕРИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТАМПОНАЖА АНОМАЛЬНЫХ ЗОН ГОРНОГО МАССИВА**

*Д.В. Пронский, Ю.П. Должиков, Антрацитовский факультет  
горного дела и транспорта, ВНУ им. В.Даля*

Тампонирование аномальных зон горного массива осуществляется методом напорных инъекций. В процессе тампонажа аномальной зоны вязкопластичным

раствором происходит ее консолидация в результате формирования каналов гидроразрыва и заполнения их раствором. Водные, физические и механические свойства аномальных зон изменяются и стремятся к первоначальным, соответствующим неразуплотненному состоянию. Данный процесс необходимо изучить экспериментально, что ранее не выполнялось. Для лабораторного исследования процесса консолидации аномальных зон вязкопластичными растворами необходимо обоснование критериев подобия и создание физической модели на базе основных постулатов теории подобия.

Как следует из теоретического рассмотрения процесса, при уплотнении деконсолидированных пород тампонажным раствором определяющими являются силы давления. В связи с этим, при рассмотрении двух процессов течения вязкопластичной жидкости в натуре и на модели необходимо чтобы соблюдалось равенство критериев Эйлера, который определяется из выражения [1]:

$$Eu = \frac{P}{\rho \cdot v^2}, \quad (1)$$

где  $p$  – давление нагнетания жидкости, Па;  
 $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  
 $v$  – скорость течения жидкости, м/с.

Отсюда следует, что для модели и для натуре должно выполняться равенство:

$$\frac{P_n}{\rho_n \cdot v_n^2} = \frac{P_m}{\rho_m \cdot v_m^2}. \quad (2)$$

Учитывая, что в натуре и на модели будет применяться одинаковый глиноцементный раствор, уравнение (2) примет следующий вид:

$$\frac{P_n}{P_m} = \frac{v_n^2}{v_m^2} = a_v^2. \quad (3)$$

где  $a_v$  – масштаб скорости.

В свою очередь, масштаб скорости равен:

$$a_v = \frac{a_l}{a_t}, \quad (4)$$

где  $a_l$  – линейный масштаб;  $a_t$  – масштаб времени.

Задаваясь равенством давления нагнетания раствора в натуре и на модели, получим, что масштаб времени равен линейному масштабу, то есть  $a_t = a_l$ .

На практике радиус растекания раствора изменяется в достаточно широких пределах – от 1 до 30 м. Однако, учитывая небольшую глубину залегания аномальных зон, а следовательно необходимость ограничения давления нагнетания, радиус распространения раствора достигает 3 м. При этом мощность аномальной зоны в среднем равна 2,5 м.

Таким образом, при радиусе распространения раствора в натуре 3 м, площадь воздействия сил давления на деконсолидированный грунт составляет  $F_n$

= 28,3 м<sup>2</sup>. Принимая линейный масштаб  $a_l$  равным 12, получаем, что площадь воздействия сил давления на модель равна:

$$F_m = \frac{F_n}{a_l^2} = \frac{28,3}{12^2} = 0,2 \text{ м}^2, \quad (5)$$

где  $F_n$  – площадь воздействия сил в натуре, м<sup>2</sup>.

Значению  $F_m = 0,2 \text{ м}^2$  соответствуют поперечные размеры модели 1 x 0,2 м<sup>2</sup>. Высота модели при мощности аномальной зоны в натуре 2,5 м равна:

$$h_m = \frac{h_n}{a_l} = \frac{2,5}{12} = 0,2 \text{ м}, \quad (6)$$

где  $h_m$  – мощность аномальной зоны в натуре, м.

Таким образом, линейные размеры модели равны: длина – 1 м; ширина – 0,2 м; высота – 0,2 м.

Из вышеизложенного следует, что время процесса тампонажа на модели необходимо уменьшить в 12 раз по сравнению с натурой.

Исследования деконсолидированных пород при их тампонаже проводятся на разработанном экспериментальном стенде (рис. 1). Стенд состоит из стального короба 1 длиной 1 м, шириной 0,2 м и высотой 0,2 м, заполненного пористым материалом. Сверху короб 1 закрывается стальной крышкой 7, на которой смонтированы для регистрации перепада давления манометры 2, 3 с масляными делителями 23, 24. Герметичность короба 1 достигается путем его сболчивания с крышкой 7 болтами 8. При этом для лучшей герметизации, в местах контакта короба 1 и крышки 7 проложены резиновые прокладки.

Нагнетание воды в короб 1 осуществляется при помощи сифона 16 по трубам высокого давления 20. Давление нагнетания воды регистрируется манометром 6.

Подача в короб 1 тампонажного раствора производится с помощью нагнетательного цилиндра с поршнем 17 по трубам высокого давления 19. С торцов нагнетательный цилиндр 17 закрывается крышками 18, 25. Для равномерного уплотнения породы в коробе 1 тампонажным раствором, подвод последнего осуществляется через пирамидообразную систему труб 21. Количество нагнетаемого в короб 1 раствора регистрируется расходомером 22, а его давление манометром 27.

Давление в сифоне 16 и нагнетательном цилиндре 17 создается при помощи сжатого воздуха в газовом баллоне 15 с редуктором. Давление сжатого воздуха регистрируется манометрами 4, 5.

Для манипуляций с перепуском сжатого воздуха, воды или тампонажного раствора используются краны 9, 10, 11, 12, 13.

Фильтрат из короба 1 собирается в аккумулирующей емкости 26.

Разработанный экспериментальный стенд предназначен для изучения основных свойств дисперсных пород при их консолидации тампонажным раствором.

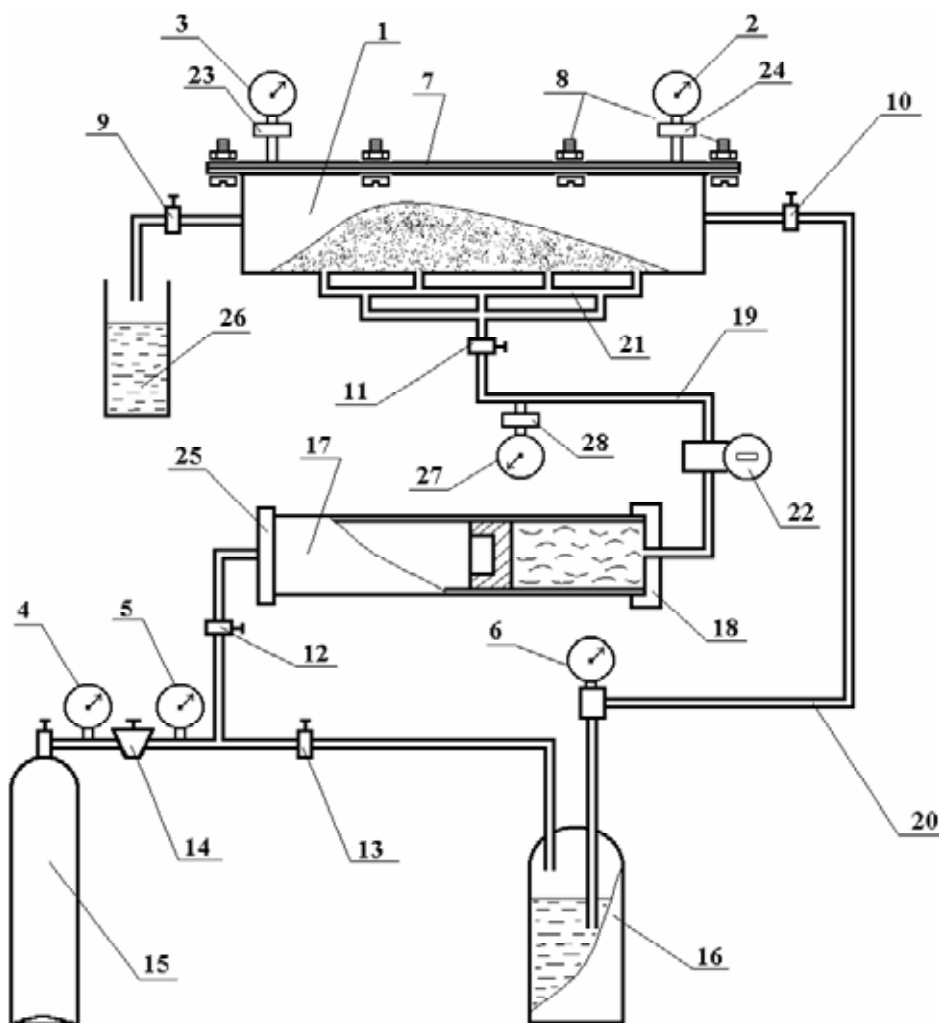


Рис. 1. Схема экспериментального стенда для исследования процесса тампонажа деконсолированных дисперсных пород

Экспериментальные исследования на данном стенде позволяют установить закономерности:

- изменения коэффициента фильтрации пород от коэффициента деконсолидации, давления нагнетания и объема раствора;
- изменения прочности пород от коэффициента деконсолидации, давления нагнетания и объема раствора;
- распределения давления в фильтрационном канале в зависимости от свойств грунта.

Корреляционно-регрессионный анализ результатов экспериментальных исследований позволяет обосновать методику проектирования технологических параметров тампонажа аномальных зон горного массива вязкопластичными растворами.

### *Литература*

1. Константинов Ю.М. Гидравлика. – К.: Вища шк., 1981. – 360 с.

## **ОПЫТ ВОДОИЗОЛЯЦИИ БЕТОННОЙ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ НА ОБЪЕКТАХ ГОАО «ТРЕСТ ДОНЕЦКШАХТОПРОХОДКА»**

*Е.Б. Новик, Ю.А. Пшеничный, ГОАО "Трест Донецкшахтопроходка", г. Донецк*

Проблема подавления водоприток в вертикальных стволах в период их проходки и эксплуатации остаётся предельно актуальной в настоящее время. Темпы проходки стволов обычным способом резко падают, а её стоимость возрастает, когда водоприток превышает 15-20 м<sup>3</sup>/час.

Применением известных технологий и материалов тампонажных работ (чаще всего – цементацией) удаётся достичь желаемого эффекта по водоподавлению только в породах с явно выраженной трещиноватостью, в которых создаётся надёжная изоляционная завеса путём заполнения тампонажным материалом трещин и других пустот на определённом расстоянии от места производства работ. Что касается мелкопористых водоносных горизонтов, то создать в них подобную завесу не представляется возможным по причине того, что такие породы плохо принимают тампонажный материал, не обеспечивая сплошность завесы, или совсем его не принимают.

В этом случае уменьшить водоприток в горную выработку можно за счёт применения водоизоляционной крепи, лучшей из которых является чугунная тюбинговая, единственный недостаток которой – высокая цена. И далеко не всякий заказчик может позволить себе предусмотреть для крепления ствола подобный вид крепи.

Применяемая в настоящее время повсеместно для крепления вертикальных стволов крепь из монолитного бетона (железобетона) сама по себе не является надёжным водупором. А в тех зонах, где имеют место водоприток из вмещающих пород, качество бетонной крепи ухудшается за счёт вымывания цементной составляющей из бетонной смеси во время её укладки. Плюс к этому, водупорные свойства данного типа крепи ухудшены наличием в ней «холодных швов» на стыках отдельных заходов (как правило, каждые 4 м), что обусловлено применением совмещённой технологической схемы проходки вертикальных стволов, которая со всех других точек зрения более рациональна, удобна, подкреплена наличием необходимого оборудования и экономически оправданна.

В последние годы ГОАО «Трест Донецкшахтопроходка» проводил мониторинг существующих методов увеличения водостойчивой способности бетона как на стадии приготовления и укладки бетонной смеси, так и путём обработки уже возведённой крепи. Целью не ставилось достижения 100%-й водонепроницаемости, но снижение водопритока на более чем 50% было необходимым условием.

Плодотворный характер носило сотрудничество треста с ООО НПП «Графпласт» (г.Донецк) в последние 10 лет по герметизации стыков чугунной и

железобетонной тубинговых крепей стволов на шахтах «Кураховская», «Бутовка-Донецкая» и «Красноармейская-Западная № 1». Использование в качестве чеканочного материала герметика «Графпласт А2» на основе модифицированного графита позволило практически полностью ликвидировать протечки воды на стыках между отдельными тубингами. Данный материал при проникновении в него воды поглощает последнюю, набухает (до 200%) и плотно закупоривает шов, при высыхании восстанавливает свои первоначальные свойства. Процесс набухания и высыхания многократен.

Предложения ООО НПП «Графпласт» тресту по увеличению водонепроницаемости бетонной крепи вертикальных стволов путём инъекций суспензии СК из «Графпласт К» в швы и места протечек не были осуществлены по технологическим и экономическим соображениям.

В 2005 году ГОАО "Трест Донецкшахтопроходка" выполнял работы по последующему тампонажу водоносных горных пород на воздухоподающем стволе шахты «Трудовская» (г.Донецк). Ствол диаметром в свету 8,5 м и глубиной 1 119 м был окончен проходкой ещё в 1989 г. Водоприток по стволу составлял в 2005 г. 80 м<sup>3</sup>/час. Технология тампонажных работ была разработана институтом НИИОМШС (г.Харьков) и предусматривала в 7-ми зонах водопроявлений выполнение 2-х этапного тампонажа: 1-й этап – цементация пород приконтурного массива на глубину 1 м, 2-й этап – смолизация пород за цементным «барьером» на глубину 1,5 м карбамидоформальдегидными смолами и щавелевой кислотой в качестве отвердителя. При этом эффективность водоподавления прогнозировалась институтом 30-50%. Заказчика работ (шахта «Трудовская» и ГП «Донецкая угольная энергетическая компания») подобный прогноз не удовлетворил, так как водоприток по стволу оставался бы значительным. В связи с этим, для повышения эффективности водоизоляционных работ решением технического совета ГП «Донецкая угольная энергетическая компания» (протокол от 19 августа 2005) было предложено ГОАО "Трест Донецкшахтопроходка" совместно с ООО НПП «Донспецизоляция» (г.Донецк) в качестве эксперимента провести работы по водоподавлению смолами на пенополиуретановой основе на определённом участке ствола (с отметки -287м до отметки -343м).

Подобные смолы - «ДЕНЕФ» бельгийского производства, применение которых было успешным при строительстве метрополитенов в гг.Москве, Санкт-Петербурге и Днепрпетровске, предполагалось использовать на этом стволе по методике НПКП «Специзоляция» ещё в 1995 году (приказ Минуглепрома Украины №343 от 18.10.95г.). Но тогда эксперимент не состоялся по причине отсутствия финансирования.

В настоящее время заводами России освоен выпуск гидроактивных пенополиуретановых составов Аквидур ТС и Аквидур ЭС, которые по цене успешно конкурируют с зарубежными аналогами. Для условий воздухоподающего

ствола шахты «Трудовская» специалистами ООО НПП «Донспецизоляция» был предложен Аквидур ТС (твёрдый в прореагировавшем состоянии).

### «Аквидур»

Это инъекционная однокомпонентная полиуретановая гидроактивная система (жидкое вещество коричневого цвета).

Аквидур ТС (ЭС) относится к высокореактивным изоцианатным соединениям, представляет собой однородную смесь толуилендиизоцианата и предполимера. В результате реакции системы Аквидур с водой образуется твёрдый (эластичный в случае Аквидур ЭС), вспененный полимер, увеличивающийся в объёме до 30 раз, с физическим и химическим связыванием воды.

### Свойства.

- долговечность;
- стойкость к микроорганизмам и грибковым поражениям;
- не растворяется водой и большинством химикатов, устойчив к воздействию различных агрессивных сред;
- не оказывает вредного влияния на человека и окружающую среду (подтверждено сертификатами).

### Особенности применения.

Для подачи системы Аквидур в полости, трещины, швы через шпурь необходимой длины применяются инъекторы и насосы, обеспечивающие перекачку вязких жидкостей с вязкостью до 2000 МПа x сек. Аквидур реагирует с водой (в том числе и с влагой воздуха) при соотношении Аквидур/вода от 1/10 до 10/1 с образованием полиуретанмочевины и выделением углекислого газа. Прочность образовавшегося жёсткого (эластичного) материала увеличивается с возрастанием соотношения Аквидур/вода. Время реакции (пенообразования) зависит от ряда факторов, в том числе: температуры воды, температуры массива, РН среды и т.д. При температуре воды в массиве +15°C реакция протекает в течение 4-10 минут. Не рекомендуется применять Аквидур при температуре воды ниже +5°C и выше +40°C.

### Правила обращения.

Хранение и транспортировка Аквидура должны осуществляться в герметичной таре, исключающей попадание влаги. Стандартная упаковка - канистры по 40 л. Вскрытую ёмкость с Аквидуром необходимо использовать достаточно быстро, и каждый раз после окончания работы герметично закрывать. Полиуретанмочевина, образующаяся при отверждении Аквидура, прилипает практически к любым поверхностям. Удалить же отверждённый материал можно только механическим путём. В этой связи, применяемое насосное оборудование должно предусматривать несложный порядок разборки на составные части для их очистки при каждой остановке процесса нагнетания.

При работе с Аквидуром необходимо учитывать, что он содержит в своём составе токсичные мономерные изоцианаты, обладающие высокой ингаляционной активностью. Поэтому, при работе с большими количествами Аквидура, и



особенно в закрытых помещениях, необходимо защитить органы дыхания противогазом или респиратором. Отверждённый же материал не представляет никакой опасности и может контактировать даже с питьевой водой.

**Применение состава Аквидур ТС на воздухоподающем стволе шахты "Трудовская". Октябрь-ноябрь 2005 года.**

Работы выполнялись силами Четвёртого шахтопроходческого стройуправления ГОАО "Трест Донецкшахтопроходка" с участием специалистов НПП «Донспецизоляция», осуществлявших рабочие консультации и авторский надзор.

На первом этапе были выполнены водоизоляционные заградительные пояса на отметках -288-289м и -345-346м. Их назначение: с целью экономии локализовать распространение состава Аквидур ТС в пределах участка ствола, оговоренного условиями эксперимента. Для создания этих поясов (рис.1) были пробурены по 2 ряда шпуров через 1 м глубиной по 1,5 м, в которые закачали 358 кг смолы (200 кг в верхний пояс и 158 кг - в нижний).

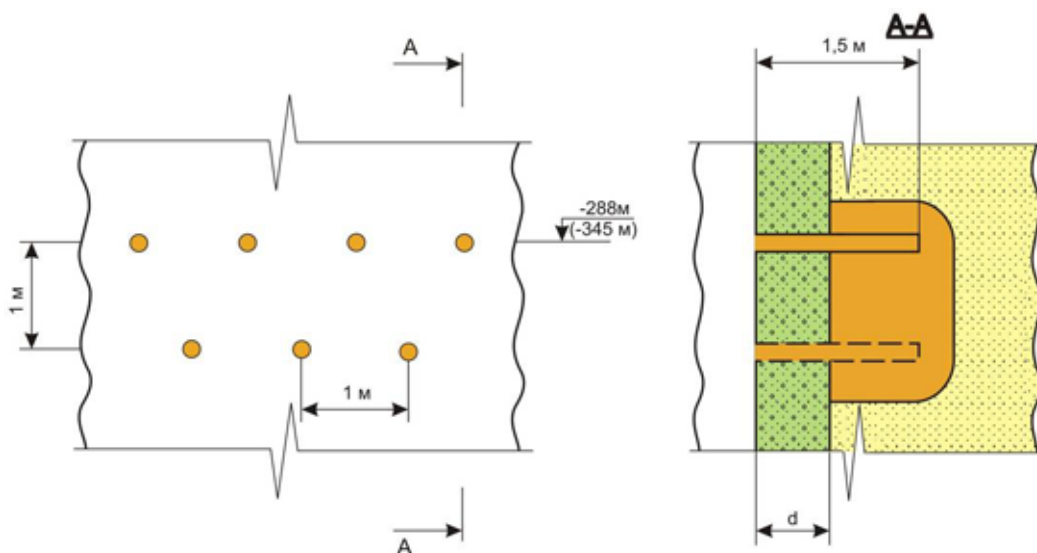


Рис.1. Схема создания заградительных поясов за крепью ствола

В дальнейшем производили гидроизоляционную обработку составом Аквидур наружной поверхности бетонной крепи ствола. Она сводилась к созданию водоизоляционной мембраны на контакте крепи и породы следующим образом (рис.2).

Шпуры диаметром 43мм бурили перфораторами с люльки по сетке 1,5×1,5м (16 шпуров в ярусе, расположение в ярусах - в шахматном порядке) только на толщину крепи, которая фактически составляла 0,5-1м.

После бурения шпуров в 2-х - 3-х ярусах переходили к нагнетанию смолы в нисходящем порядке (сверху вниз с отметки -290м).

Для герметизации шпуров использовались короткие пакеры цанговой конструкции, устанавливаемые ближе к породе с целью сокращения расхода смолы.

После нагнетания пакеры из шпуров не извлекались. Вместо пакеров возможно использование кондукторов, предварительно закрепляемых в шпурах.

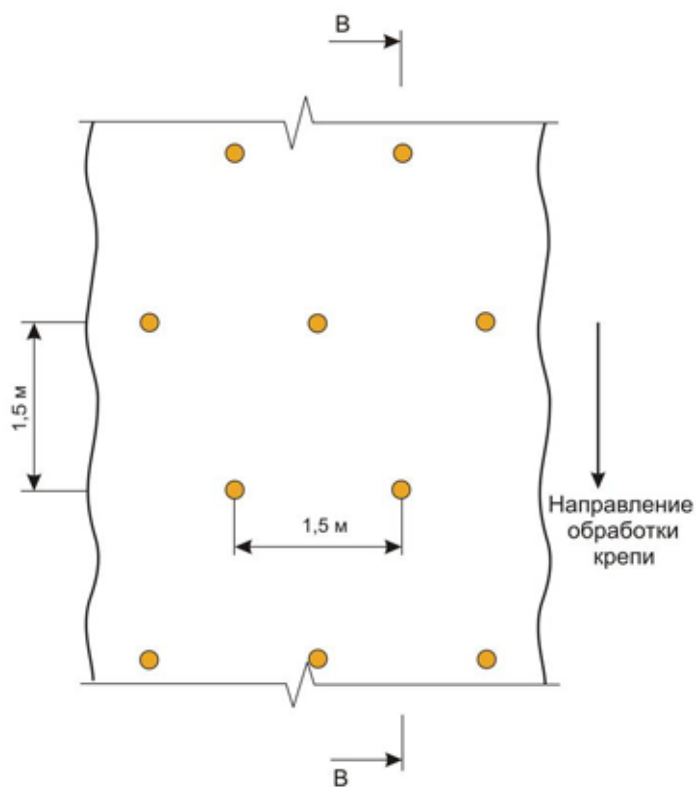


Рис. 2. Схема создания водоизоляционной мембраны на контакте крепи и породы

Для нагнетания смолы применялась насосная установка "Нагус-212м" (рис.3), работавшая в однокомпонентном режиме. Шпуры обрабатывались по одному.



Рис. 3. Общий вид насоса «Нагус-212м»

Нагнетание прекращалось при появлении смолы в соседних шпурах (рис.4) или по достижении расчётного давления нагнетания - 1 МПа.

Расход материала составил 5-10 кг/шпур (70-150 кг в ярус). В процессе нагнетания наблюдались выходы уже реагирующего с водой Аквидура через неплотности крепи, особенно на стыке отдельных заходок в районе "холодных" швов. При этом происходила надёжная герметизация

именно этих «слабых» мест в бетонном креплении ствола. Эти факты положительно свидетельствовали о действенности применяемого метода водоизоляции.

Всего было закачено 2721 кг состава Аквидур ТС. Этого количества смолы, предварительно закупленного для эксперимента, хватило для обработки ствола на участке длиной 29 м от отм.-288м до отм.-317м. В связи со значительной стоимостью материала заказчиком было принято решение об окончании эксперимента, несмотря на полученные позитивные результаты.



Рис. 4. Появление смолы при нагнетании в соседние шпуры.

В итоге проведенной гидроизоляции составом Аквидур ТС удалось получить положительный эффект. До начала работ приток воды в водоуплаивающее кольцо на отметке -304,5м составлял  $15\text{ м}^3/\text{час}$ , после -  $1,5\text{ м}^3/\text{час}$ . То есть, снижение водопритока на обработанном участке составило  $13,5\text{ м}^3/\text{час}$  из 15 или 90%.

В последующем, в интервале отметок -317 - 345м тампонажные работы были проведены по методике института НИИОМШС (цементация и обработка породного массива карбамидоформальдегидными смолами). В настоящее время продолжают работы по последующему тампонажу в стволе с обработкой других водоносных горизонтов. Общий приток воды по стволу сегодня составляет  $60\text{ м}^3/\text{час}$ .

**Применение состава Аквидур ЭС на скиповом стволе шахты "Красноармейская-Западная № 1". Март 2006 года.**

Ствол диаметром в свету 7,0 м и конечной глубиной 880 м находится в проходке. По состоянию на 01.03.2006 г. забой ствола имел отметку – 565м. Приток воды в ствол составлял  $21\text{ м}^3/\text{час}$ , что сильно осложняло выполнение всех основных проходческих процессов и резко отрицательно сказывалось на темпах. Водоносные горизонты, пересечённые уже стволом, подвергались предварительной цементации из забоя, однако в некоторых водонасыщенных песчаниках желаемого эффекта по снижению водопритока достигнуто не было по причине их мелкопористой структуры. Особенно значительный приток ( $9\text{ м}^3/\text{час}$ ) был получен в интервале глубин -466-490м.

В сложившейся ситуации и с учётом положительного опыта водоизоляции составом Аквидур на шахте «Трудовская» ГОАО "Трест Донецкшахтопроходка"

совместно с заказчиком (шахта «Красноармейская-Западная № 1») и инвестором (ЗАО «Донецксталь») принимают решение на 1-2 недели остановить проходку ствола, подняться полком к неблагоприятной с точки зрения водопритоков зоне и обработать её составом Аквидур с привлечением НПП «Донспецизоляция».

В процессе подготовки данных работ специалисты последнего предложили применить состав Аквидур ЭС, отличающийся в затвердевшем состоянии некоей эластичностью, что обеспечило бы надёжную работу водоизоляционной мембраны в условиях сейсмического воздействия при проведении БВР в забое ствола и в условиях возможных подвижек горных пород до наступления геомеханического равновесия.

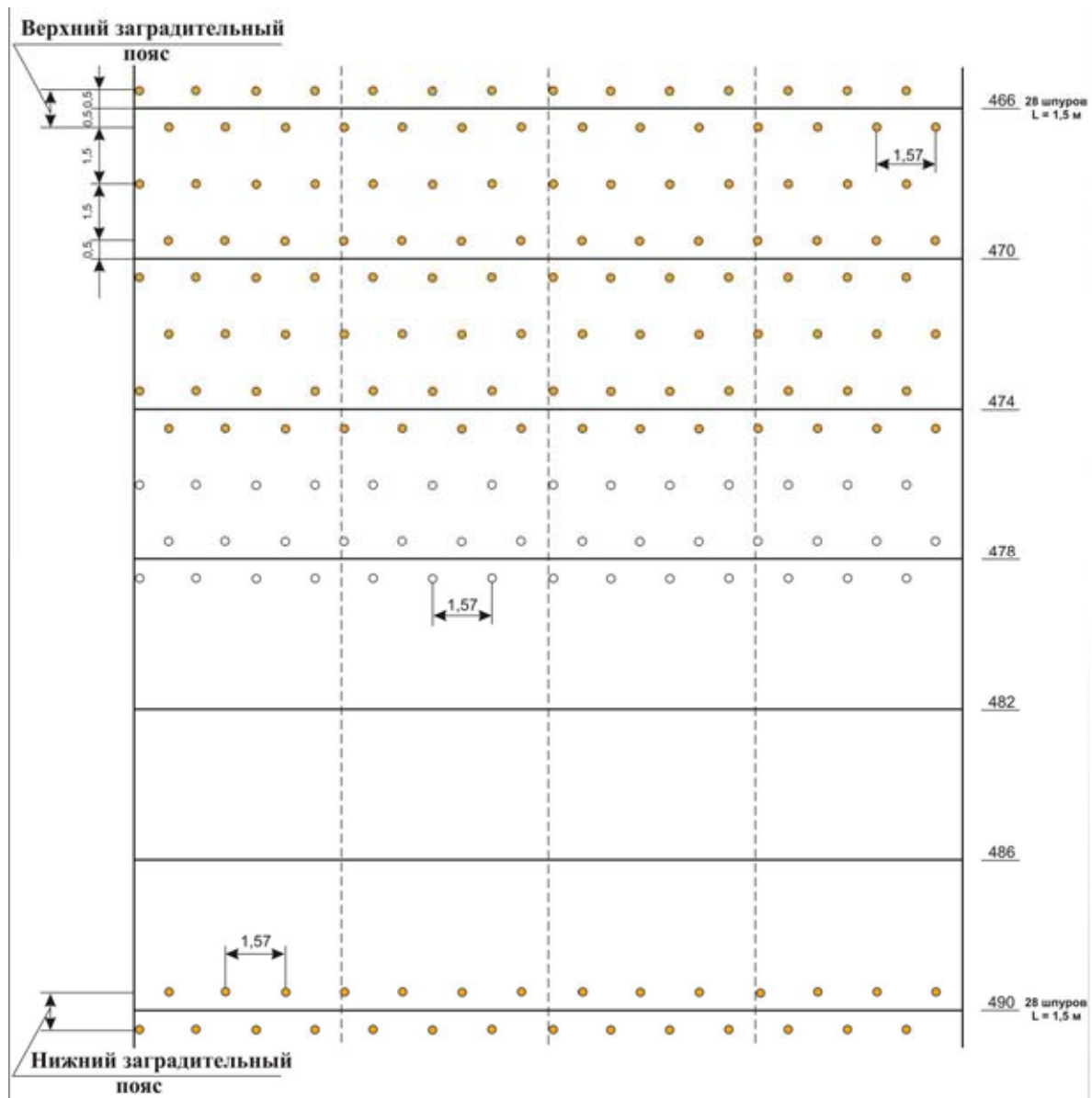


Рис. 5. Схема выполнения работ по водоизоляции бетонной крепи в скиповом стволе шахты «Красноармейская-Западная № 1»



Также специалистами НПП «Донспецизоляция» было предложено сблизить ряды шпуров к стыкам заходок с тем, чтобы с высокой степенью надёжности обеспечить сплошность водоизоляционного слоя в районе «холодных» швов в бетонной крепи (рис.5).

Технология проведения тампонажа практически не отличалась от уже рассмотренной и осуществлённой на воздухоподающем стволе шахты «Трудовская». Работы выполнялись силами Третьего шахтопроходческого стройуправления № 3 ГОАО "Трест Донецкшахтопроходка" совместно с работниками НПП «Донспец-изоляции», которые как и в предыдущем случае сотрудничества осуществляли рабочие консультации и авторский надзор. Бурение шпуров осуществлялось перфораторами с верхнего этажа подвешенного проходческого полка, бадейные проёмы которого во время бурения перекрывались специальными настилами.

В процессе закачки состава Аквидур ЭС насосом «Нагус-212м» в направлении сверху вниз на обрабатываемом участке в местах дефектов бетонной крепи наблюдались интенсивные выходы реагирующей с водой смолы, что вынуждало прекращать закачку и делать необходимую выдержку (рис.6).



Рис. 6. Проявления реагирующего с водой Аквидура ЭС на бетонной крепи ствола.

Всего на обрабатываемом участке ствола (25м) было закачано за крепь 2000 кг состава Аквидур ЭС. Критерием окончания нагнетания в шпур было расчётное количество закачанной смолы (5-10кг). По окончании закачки в шпур, пробуренные по сетке, был выполнен локальный тампонаж в местах, в которых имели место небольшие водопритоки сквозь бетонную крепь.

Выполнение данных гидроизоляционных работ в скиповом стволе шахты «Красноармейская-Западная № 1» позволило в крепи и за крепью обработанного участка создать надёжную водоизоляционную защиту, в результате чего водопристок на этом участке снизился с 9 до 2 м<sup>3</sup>/час.

Заявленную производителями смол Аквидур долговечность завесы может подтвердить или опровергнуть лишь время. Пока что увеличения притоков в обработанных зонах на 2-х стволах не наблюдается.

С экономической точки зрения применение состава Аквидур для водоизоляции бетонной крепи вертикальных стволов является, несомненно, более затратным, нежели традиционная последующая цементация. Так например, стоимость материалов для обработки 1м ствола составом Аквидур составляет в среднем 7000 грн., а то же с применением 2-х этапного тампонажа по техноло (1)

НИИОМШС - 1000 грн. Хотя справедливости ради необходимо отметить, что трудозатраты при использовании Аквидура вдвое меньше. Также нужно и ввиду, что достигнутое после применения Аквидура существенное снижение водопритока в выработку позволяет обеспечить более высокие темпы её сооружения и резко снизить эксплуатационные расходы по её содержанию. А это несомненное экономическое преимущество.

ГОО "Трест Донецкшахтопроходка", основываясь на положительном эффекте водоизоляции бетонной крепи 2-х вертикальных стволов пенополиуретановыми составами Аквидур, намерен приобрести собственное оборудование для осуществления данной технологии и в дальнейшем использовать при необходимости данный метод водоизоляции крепи, особенно на небольших глубинах, где гидростатические напоры подземных вод невелики, и положительные итоги описанной выше технологии практически гарантированы.

УДК 550.83:622.25

## **МАГНИТОДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТРОСКОПИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ГОРНОЙ ГЕОФИЗИКЕ**

*Е. Г. Соболев, Дон НИГРИ, г. Донецк, П. Н. Должиков, А.Э. Кипко,  
Антрацитовский факульт горного дела и транспорта,  
ВНУ им. В.Даля, г. Антрацит*

Современные исследования в вопросах геомагнитного поля доказывают, что магнитное поле Земли является суммой двух составляющих. Одна из этих составляющих порождается внешними по отношению к физической поверхности

Земли источниками относительно быстро изменяющимися, другая же вызывается внутренними источниками и является квазистационарной. Переменная часть геомагнитного поля составляет около 4 – 5 % от значения наблюдаемого поля. Если исключить при измерениях поле вариаций, тогда полная геомагнитная индукция будет равна:

$$\vec{B}_T = \vec{B}_n + \vec{B}_a,$$

где  $\vec{B}_T$  – полная геомагнитная индукция поля в данном регионе;  $\vec{B}_n$  – нормальная часть геомагнитной индукции;  $\vec{B}_a$  – аномальная часть геомагнитной индукции, вызванная структурными неоднородностями в верхних слоях литосферы.

Под «нормальным» подразумевается геомагнитное поле, измеренное на участках месторождений, разрезы которых являются характерными для всего месторождения, не содержат физических и геометрических неоднородностей нерудной природы (аномалий типа карстов, тектонических нарушений, повышенной обводненности и пр.), и массивы которых находятся в равновесно напряженном состоянии. Общепринято, что породы осадочного комплекса (месторождения нерудного сырья) являются практически немагнитными и причисляются к парамагнетикам. С достаточной точностью квазистационарное геомагнитное поле таких месторождений описывается макроскопическими уравнениями Максвелла [1].

С учетом реальных свойств материальных сред вводятся параметры:  $D = \bar{D}(\bar{E})$ ,  $B = \bar{B}(\bar{T})$ ,  $j = \bar{j}(\bar{E})$ . Эти уравнения являются уравнениями материальной среды.

Для условий электромагнитного поля Земли согласно феноменологической теории Максвелла тогда можно записать:

$$\begin{aligned} \bar{D} &= \varepsilon \cdot E, \\ \bar{B} &= \mu \cdot T, \\ j &= \sigma \cdot E + j_{СТР}, \end{aligned} \tag{2}$$

где  $\varepsilon$ ,  $\mu$  – соответственно диэлектрические и магнитные проницаемости породы;  $\sigma$  – удельная электропроводность породы;  $j_{СТР}$  – плотность сторонних токов.

В числе аппаратных средств для определения основных составляющих магнитного поля Земли используются высокоточные квантовые и протонные магнитометры собственной конструкции типа М-33, ММП-303, М-60, позволяющие вести как пошаговую, так и непрерывную съемку. Наиболее перспективным в этом направлении является магнитодинамическая интроскопия при помощи приборов МДИМ-1, МДИМ-2 и МДИМ-3 с записью информации на

бумажный и магнитный носитель. Опишем принципиальную конструкцию магнитоизмерительной станции на примере интроскопа МДИМ-3.

Магнитный регистратор МДИМ-3 предназначен для регистрации и измерения аномалий главного магнитного поля Земли слабой и низкой интенсивности (40...500 нТл). Основным достоинством регистратора является его способность регистрировать вышеуказанные пределы магнитных аномалий в движении без остановок на точках измерения. При этом регистрируется магнитное поле Земли по всей длине исследуемых профилей без пропусков между точками измерения. Блок-схема регистратора МДИМ-3 представлена на рис. 2.

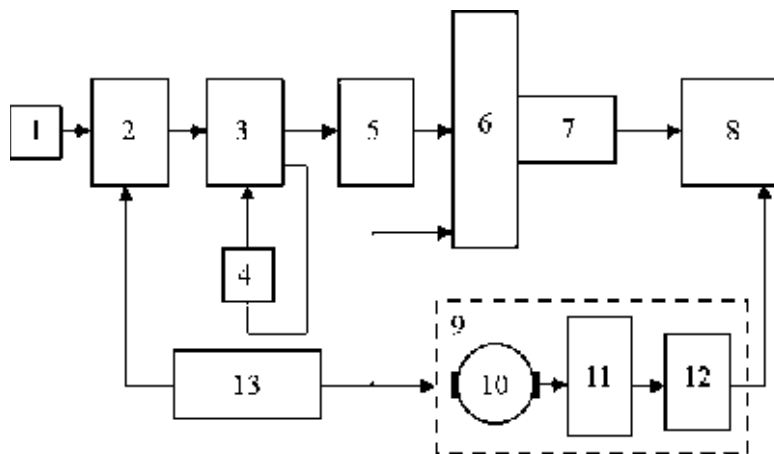


Рис. 2. Структурная схема магнитодинамического интроскопа массивов горных пород МДИМ-3

Магнитодинамический интроскоп МДИМ-3 содержит последовательно соединенные: магниточувствительный датчик 1; блок режекторных фильтров 2; предварительный усилитель 3, охваченный элементом 4 частотно-зависимой отрицательной обратной связью; усилитель 5 постоянного тока (УПТ); блок регистрации сигналов 6, в котором вместо теплового пера установлен графитовый стержень 7 для записи регистрируемых сигналов на обычную бумажную ленту 8; лентопротяжный механизм (ЛПМ) 9, состоящий из электродвигателя 10, дополнительного масштабного редуктора 11 протяжки ленты и основного редуктора 12. Источник питания 13 служит для питания электродвигателя и электрических схем регистрации. Для управления работой регистратора МДИМ-3 и осуществления протяжки теплочувствительной и бумажной ленты используется блок управления и лентопротяжный механизм с электрокардиографа ЭК1Т-04 [2].

Использование блока режекторных фильтров и дополнительной частотно-зависимой отрицательной обратной связи значительно повышает характеристики измерительных и регистрирующих сигналов.

Установка дополнительного редуктора 11 в ЛПМ позволяет осуществлять протяжку ленты в выбранном масштабе 1:500, 1:1000, принятых в геологии.

Регистратор э. д. с. и магнитной индукции стабильно работает в условиях промышленных помех в диапазоне температур от  $-10$  до  $+50^{\circ}$  С. Графические



кривые изучаются непосредственно в полевых условиях. Измерения регистратором можно производить и в автомобильном варианте.

После того как произведена магнитосъемка, далее осуществляется обработка и интерпретация полученной информации. Для этого, прежде всего выбирается статическая интерпретационная модель, более или менее отвечающая имеющимся геологическим представлениям о данной структурной неоднородности.

В качестве интерпретационных моделей на исследуемых участках можно применить следующие: поверхностный карст в скальных породах представляется шаром, диском, полусферой; тектоническое нарушение – параллелепипедом, простирающимся под различными углами к земной поверхности в глубину и длину. При этом принимается квазиоднородность электромагнитных свойств как самой аномальной зоны, так и пород, вмещающих ее.

На основании данных практики выявлены некоторые закономерности изменений геомагнитных полей над структурными неоднородностями, а именно: с увеличением ширины геомагнитных аномалий на графиках  $T$ ,  $Z$ ,  $\Delta Z$  глубина залегания верхней кромки неоднородности увеличивается; с уменьшением ширины уменьшается глубина залегания; увеличение амплитуды аномалии при равной ее ширине связано с уменьшением глубины залегания неоднородностей.

На вышеперечисленных закономерностях построено большинство методов решения обратных задач магнитодинамики (геологической интерпретации). К числу наиболее применяемых относятся метод центрально-угловой симметрии, способ полумаксимумов, правила Гилбурга и Ханнеля [2].

Эффективность применения магнитодинамической интроскопии доказана на многочисленных объектах: на дамбах 65 накопителей жидких отходов химических, коксохимических, угольных, металлургических, энергетических, рудных производств Донецкого и Криворожского бассейнов; на площадках промышленного и гражданского строительства Харцызского трубного завода, ОАО «Концерн «Стирол» (г. Горловка), Запорожского алюминиевого комбината, Енакиевского коксохимзавода; на бортах карьеров (прогноз и предотвращение оплзневых процессов) по добыче металлургических известняков и доломитов, огнеупорных глин и каолинов; при разведке подземных вод хозяйственно-питьевого назначения для городов Балаклава, Пологи, Снежное и пр.

К числу достоинств магнитодинамической разведки перед другими геофизическими методами можно отнести:

1. Высокая оперативность метода и возможность быстрой геологической интерпретации.
2. Простота измерительной аппаратуры и ее мобильность.
3. Возможность как пошаговой, так и непрерывной съемки.
4. Высокая информативность съемки.
5. Явное преимущество перед методами каротажа – отсутствие скважинной сети.
6. Удешевление в 2 – 3 раза комплекса геологоразведочных работ по сравнению с другими методами.

Наиболее ярким примером же эффективного применения магнитодинамических методов может служить исследование ОАО «УкрНТЭК» тела дамбы и основания шламонакопителя емкостью 300 тыс. м<sup>3</sup> ОАО «Никопольский завод ферросплавов». В ходе геофизических исследований выявились причины техногенных утечек – наличие в теле дамбы и основания аномальных зон разуплотнения и напряженно-деформированного состояния грунта, являющиеся путями фильтрации шламовых вод.

Кроме магнитодинамической, геофизический комплекс исследований включал и электрометрическую съемку. При этом отмечалась полная синхронность (идентичность) полученных результатов, что опять таки стало подтверждением надежности и высокоинформативности магнитодинамического метода. Обнаруженные аномальные зоны были успешно затампонированы (по комплексному методу), и угроза загрязнения района шламовыми водами была предотвращена.

Таким образом, магнитодинамические методы могут стать очень мощным, информативным, недорогим и оперативным способом разведки в арсенале геофизических средств комплексного метода тампонажа, увеличивая в целом его эффективность.

### *Литература*

1. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт/ Э.Я. Кипко, Ю.А. Полозов, О.Ю. Лушникова и др. – М.: Недра, 1984. – 280с.
2. Соболев Е. Г. Отраслевые методические рекомендации по применению магнитодинамических методов обнаружения структурных неоднородностей на месторождениях огнеупорного и нерудного металлургического сырья // Под ред. заслуж. деят. АН СССР, проф. Ямщикова В. С. / МЧМ СССР, ГФ ВАО, ГР 01.08.0015679. Донецк, 1992. – 80 с.
3. Логачев А. А. Курс магниторазведки. – М.: Госиздат, 1955. – 302 с.

УДК 622.831.3.001.5: 622.26

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

***А.Н. Шашенко, А.В. Солодянкин, С.Н. Гапеев, А.К. Гавриш, Р.Н. Терещук, Н.В. Хозяйкина, А.Н. Пашко, Национальный горный университет, г. Днепропетровск***

Решение различных инженерных задач при освоении подземного пространства предполагает предварительное исследование и обоснование принимаемых решений. Рассмотрение таких задач в аналитической постановке

предполагает использование относительно простых расчетных схем. Их усложнение с целью учета влияния очистных работ, других технологических факторов, наличия области разрушенных пород вокруг очистных или подготовительных выработок, структурных особенностей породного массива резко затрудняет решение, использование простых аналитических зависимостей становится невозможным даже в предположении упругого деформирования породной среды.

Более точное решение поставленной задачи можно получить, если расчетная схема или метод позволяют изначально учесть интересующие исследуемые факторы. Широкие возможности открывают в этом плане численные методы решения, заимствованные из механики твердого деформируемого тела. Наиболее эффективные из них – метод конечных элементов (МКЭ) и метод граничных элементов (МГЭ).

Эти методы представляют собой мощные вычислительные средства, получившие в последние годы особую ценность с развитием компьютерной техники и программного обеспечения. Они достаточно гибки в отношении решения большого разнообразия задач для многосвязных областей с различным типом неоднородностей. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки в зависимости от решения задач с конкретными особенностями.

**ЦЕЛЮЮ НАСТОЯЩЕЙ СТАТЬИ** является систематизация результатов решения некоторых геомеханических задач численными методами, выполненных на кафедре строительства и геомеханики Национального горного университета.

### **1. Задача о параметрах компенсационных полостей при обеспечении устойчивости выработок камерного типа.**

Характерным примером использования МГЭ является задача по обоснованию параметров способа управления напряженным состоянием пород вокруг выработок камерного типа в условиях разработки пильных известняков Крыма. Их месторождения представляют собой плотные, почти без трещин, толщи большой мощности, залегающие на небольшой глубине. Для анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) пород в таких условиях могут быть использованы с достаточной степенью точности методы теории упругости. Применяемый для решения задачи МГЭ позволяет определять напряжения и деформации в любой точке исследуемой области.

Расчетная схема представляла собой три камеры прямоугольного поперечного сечения. В углах камер под углом  $\alpha_c$  располагались щелевые пропилов длиной  $l_c$  с внутренним давлением  $P_c$ .

Задача усложнялась тем, что исследуемый способ управления НДС породного контура основан на применении компенсационных полостей (пропилов), длина которых на порядок отличается от периметра выработки. В связи с этим предварительно были проведены исследования влияния количества аппроксимирующих граничных элементов, а также различия их длин на точность расчетов.

На основе известных алгоритмов, а также с учетом результатов проведенных исследований, был разработан новый программный продукт (ПП)

*Underground*, на современном уровне реализующий метод граничных элементов.

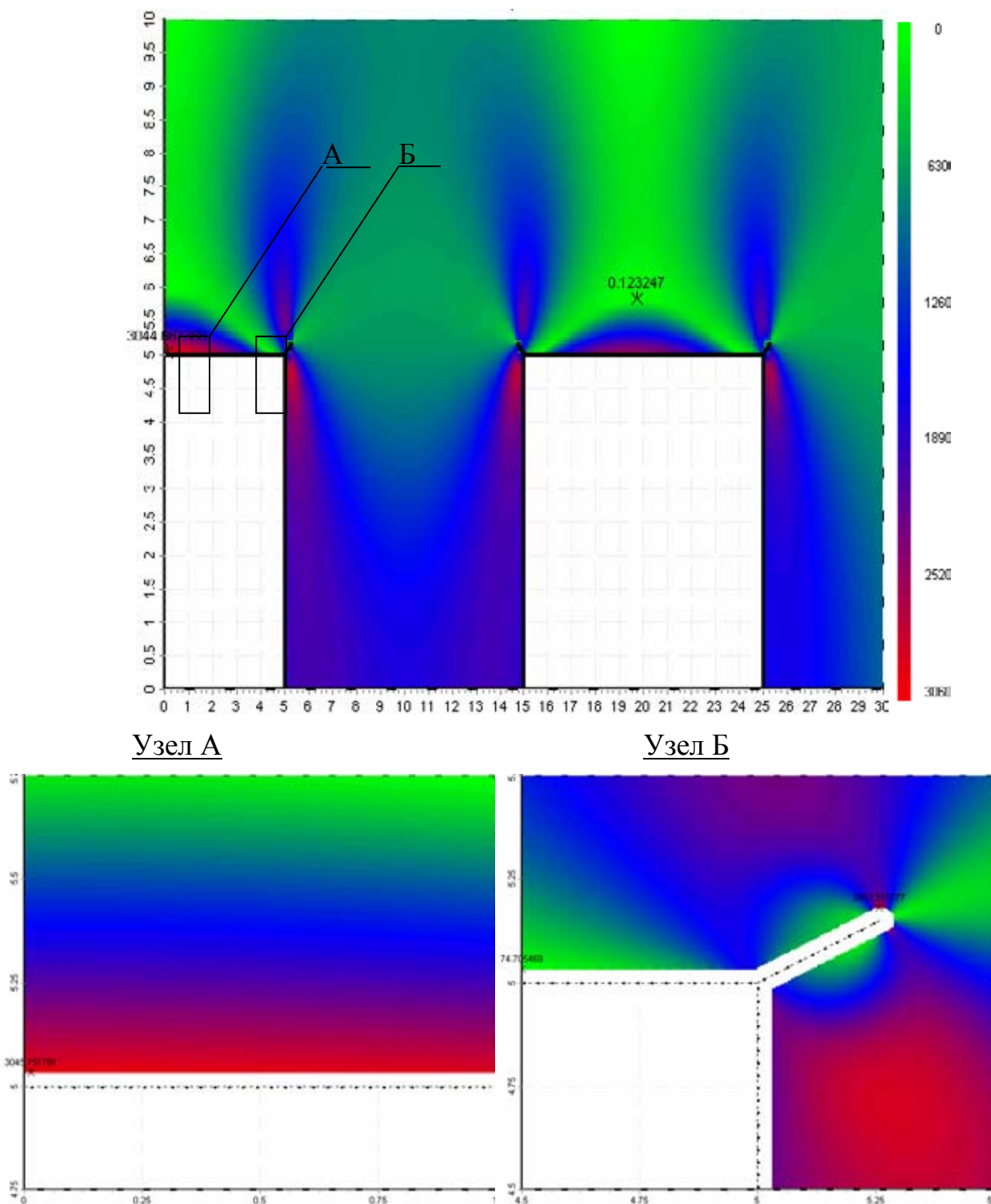


Рис. 1. Распределение эквивалентных напряжений в окрестности камер с применением компенсационных полостей длиной  $l_c = 30$  см, расположенных под углом  $\alpha_c = 30^\circ$  с внутренним давлением  $P_c = 3$  МПа при  $\sigma_{yy} = 1.2$  МПа,  $\mu = 0.3$ ,  $\psi = 0.125$

На рис. 1 приведен один из вариантов расчета, характеризующий состояние приконтурного массива в окрестности камеры прямоугольного поперечного сечения, находящейся в устойчивых породах с пределом прочности на одноосное сжатие  $R_c = 10 \text{ МПа}$ , на одноосное растяжение  $R_p = 1 \text{ МПа}$  на глубине  $H = 100 \text{ м}$ .

Результатом выполненных исследований с применением МГЭ было установление рациональных параметров компенсационных полостей для повышения на 30-50% устойчивости выработок камерного типа, целенаправленно формирующихся при подземной разработке пыльных известняков Крыма [1] с целью их последующего долговременного использования.

## **2. Исследование явления потери устойчивости почвы протяженной выработки.**

В основу решения задачи о потере устойчивости пород почвы в протяженных выработках положен упрощенный подход Ишлинского-Лейбензона [2, 3] к исследованию состояния механической системы при потере устойчивости равновесия. Суть его заключается в том, что параметр нагружения вводится только в граничные условия, которые учитывают изменение формы границы при вспучивании. Это обстоятельство существенно упрощает решение.

Полученные в ходе решения упругопластической задачи размеры зоны неупругих деформаций оценивались на предмет возможности возникновения вспучивания почвы. В качестве критерия использован критерий в виде выражения [4]

$$\bar{\varepsilon}_V r_L^{*2} \ln^2 r_L^* + 2 > 0, \quad (1)$$

где  $\bar{\varepsilon}_V$  – среднее относительное объемное разрыхление пород (определяется из опытов на сжатие породных образцов в процессе контролируемого разрушения);  $r_L^*$  – некоторая критическая величина радиуса зоны неупругих деформаций, приведенного к радиусу выработки  $R_0$ , при которой наступает возможность вспучивания.

В случае выполнения неравенства (что означает наступление потери устойчивости почвы и начало пучения), в конечно-элементных узлах на контуре выработки в почве задавались новые граничные условия в виде дополнительных перемещений. Величина этих дополнительных перемещений принималась равной «порогу пучения» [5] и составляла 0,3 м. Конфигурация нового контура почвы задавалась в виде косинусоиды с максимумом по центру выработки.

Аналізу подвергались размеры ЗНД вокруг выработки при данной величине перемещений в почве (рис. 2). Установлено, что размеры зоны неупругих деформаций в почве выработки при величине вспучивания 0,3 м в 2-3 раза превышают начальные.

Натурные наблюдения за состоянием выработок в условиях, моделирование которых осуществлялось для условий по пласту  $l_8$  на шахте «Белозерская» ГП «Добропольеуголь», показали характерные в таких условиях деформации крепи, как результат поднятия почвы при сравнительно небольших деформациях крепи в кровле.

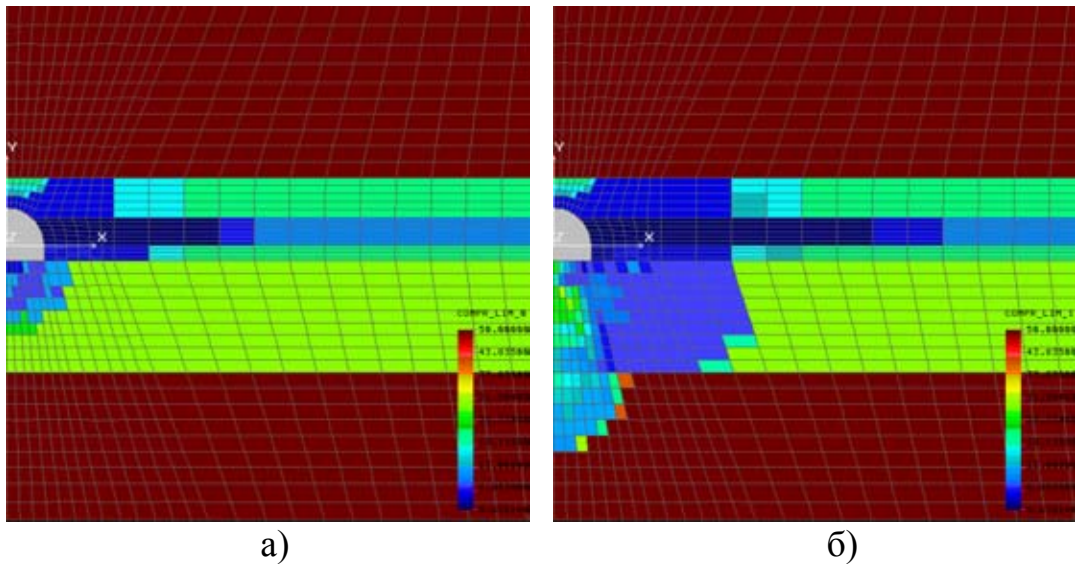


Рис. 2. Конфигурация зон неупругих деформаций до (а) и после (б) вспучивания (существенно неоднородный массив)

### 3. Деформирование породного массива в окрестности протяженной выработки, закрепленной анкерной крепью.

Решение задачи об НДС породного массива вокруг выработки, закрепленной анкерной крепью, выполнено с целью обоснования параметров анкерной крепи для условий шахты «Алмазная» ГХК «Добропольеуголь». Для выполнения расчетов использован метод конечных элементов.

Учет нелинейного поведения массива производится путем решения задачи известным методом секущих модулей [6]. В ходе решения определяются те конечные элементы, имитирующие горные породы, в которых выполняется условие

$$\sigma_e \geq R_c \quad (2)$$

где  $R_c$  – предел прочности породы на одноосное сжатие,  $\sigma_e$  – эквивалентное напряжение, определяемое через компоненты тензора напряжений в точке в соответствии с критерием прочности Парчевского-Шашенко [7]:

$$\sigma_3 = \frac{1}{\psi} \left[ (\psi - 1) \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \sqrt{(1 - \psi)^2 \left( \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \right)^2 + 4\psi \left( \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right)^2} \right]$$

где  $\psi = R_p/R_c$  – величина отношения предела прочности на растяжение к пределу прочности на сжатие, а  $\sigma_1, \sigma_3$  – главные значения тензора напряжений.

Эти элементы сформировали новую группу, которая характеризуется нелинейными механическими свойствами и моделирует разрыхленную породу. Рис. 3 дает представление об общей форме и размерах области разрыхления при



установке в выработке семи анкеров длиной 1,0 м (рис. 3,б); 2,5 м (рис. 3,в); 3,0 м (рис. 3,г). На рис. 3,а представлена зона разрыхления в выработке при отсутствии анкеров.

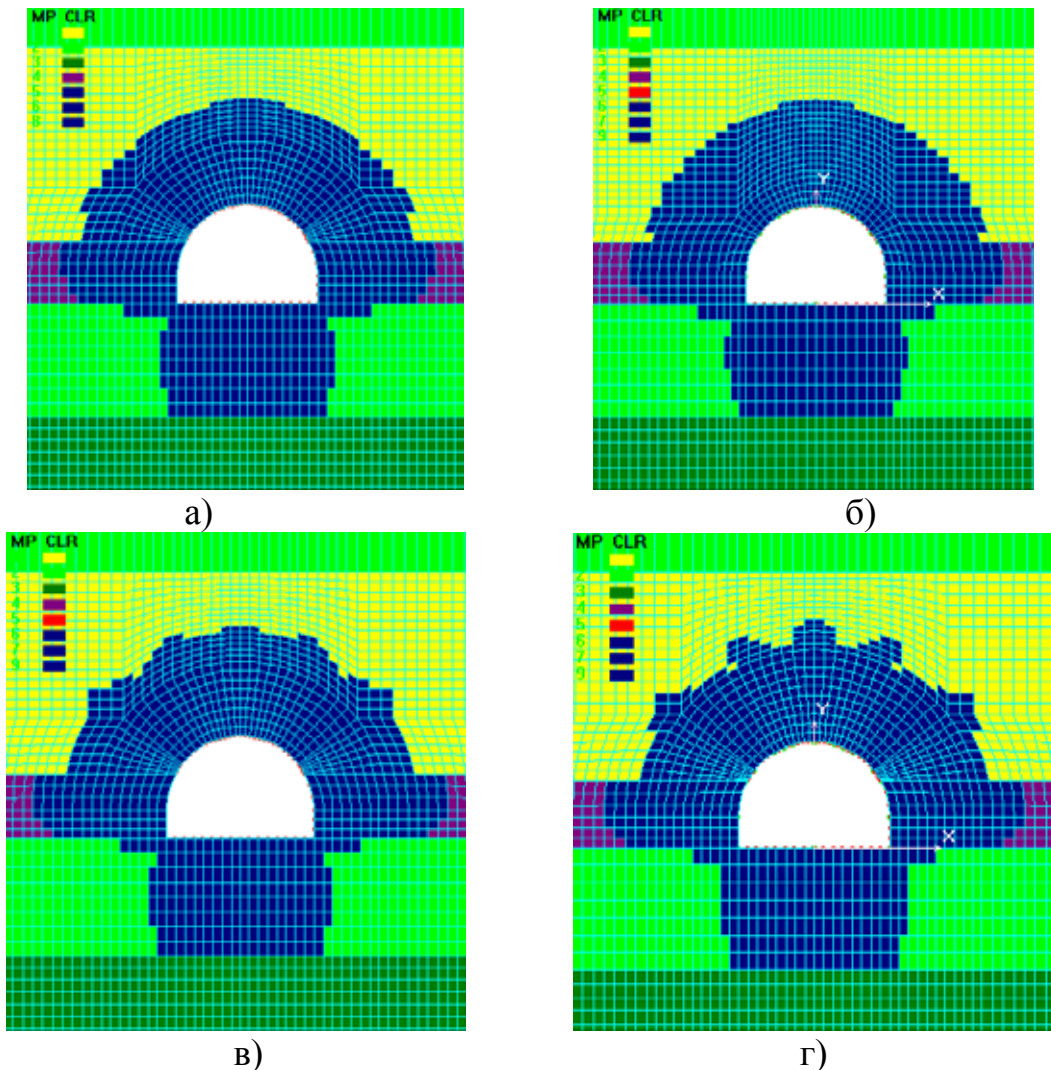


Рис. 3. Зона разрыхления в выработке при различной глубине анкеров

Анализ напряженно-деформированного состояния приконтурного массива в окрестности выработки с анкерной крепью показывает, что при проведении выработки в неоднородном породном массиве и установке анкерной крепи с параметрами: плотность анкерования  $0,8...1,2$  анк/м<sup>2</sup>, длина анкеров  $2,2...2,5$  м, также весьма значительно снижается уровень напряжений и перемещений на своде выработки, что приводит к повышению ее устойчивости [8].

#### 4. Компьютерное моделирование процесса обрушения сложноструктурной кровли в лавах пологопадающих пластов.

Процесс обрушения основной кровли в лаве сопровождается рядом специфических проявлений горного давления, которые затрудняют работу механизмов, снижают темпы проходки и безопасность ведения очистных работ.

Поэтому возникает задача прогнозирования момента обрушения пород основной кровли.

Изменение НДС пород массива при очистной выемке связано с непрерывным перераспределением концентрации напряжений, которое вызвано постоянным подвиганием очистного забоя, т.е. увеличением размеров обнажения.

Для определения изменений НДС пород рассмотрена последовательность расчетных схем, имитирующих подвигание очистного забоя. Нагрузка на контуре области задавалась с учетом коэффициента пригрузки  $k_\sigma$ . Решение задачи по МКЭ заключалось в выполнении последовательности расчетов (этапов), на каждом из которых моделировалась полость различных размеров (рис. 4).

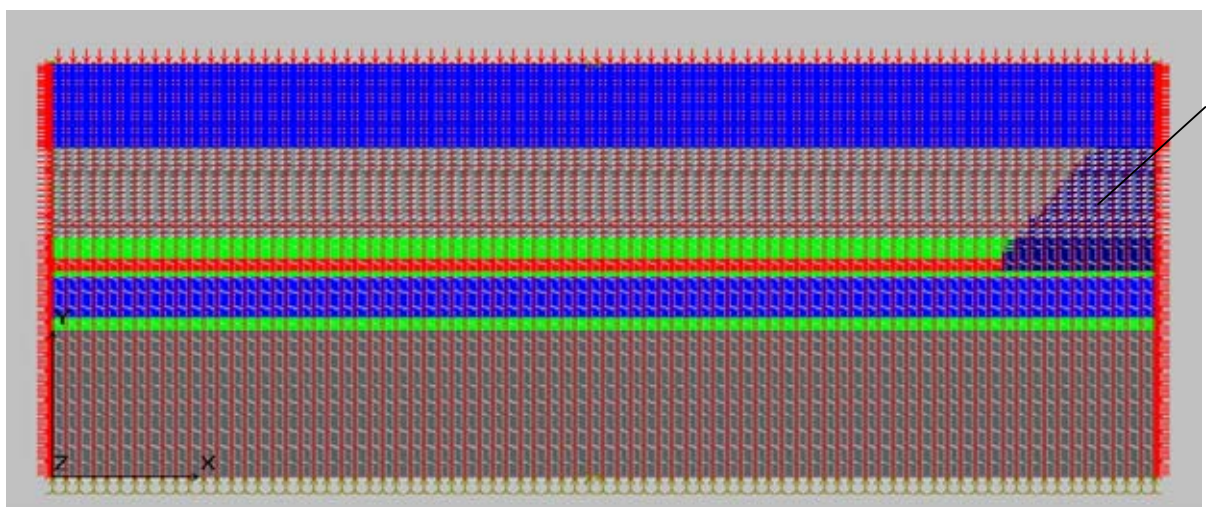


Рис. 4. Первоначальная компьютерная модель породного массива для изучения параметров установившегося шага обрушения, аппроксимированная треугольными элементами (1 – зона обрушенных пород)

В произвольной точке исследуемого массива угроза разрушения материала определяется на основе точечного критерия прочности, имеющего вид (2). Область массива, внутри которой выполняется условие (2), считается разрушенной. Однако обрушение пород кровли может произойти только в том случае, если выполняется интегральное условие прочности, определяющее целостность всей системы «выработка-породный массив», имеющее вид [9]

$$a = \frac{10R_c k_c^p h \sin \alpha}{\gamma h - 10R_c k_c^p}, \quad (3)$$

где  $k_c^p$  – коэффициент структурного ослабления при растяжении ( $k_c^p = 0,1 k_c$ );  $h$  – высота пород основной кровли, м;  $\alpha$  – угла наклона боковых линий аппроксимированной параболы свода обрушения кровли к горизонту. Параметр  $a$  в выражении (3) имеет смысл шага обрушения пород кровли.

Смыкание области, внутри которой выполняется точечное условие прочности (2), с границами области, определенной в соответствии с интегральным условием (3), служит признаком потери равновесия, т.е. обрушения пород кровли.



Определив в каждой точке массива значения эквивалентных напряжений и связанные с ними значения запаса прочности, можно оценить размеры и местоположение условных зон разрушения для сравнительного анализа изменений, которые произошли в массиве на каждом этапе подвигания очистного забоя (линия 1 на рис. 5).

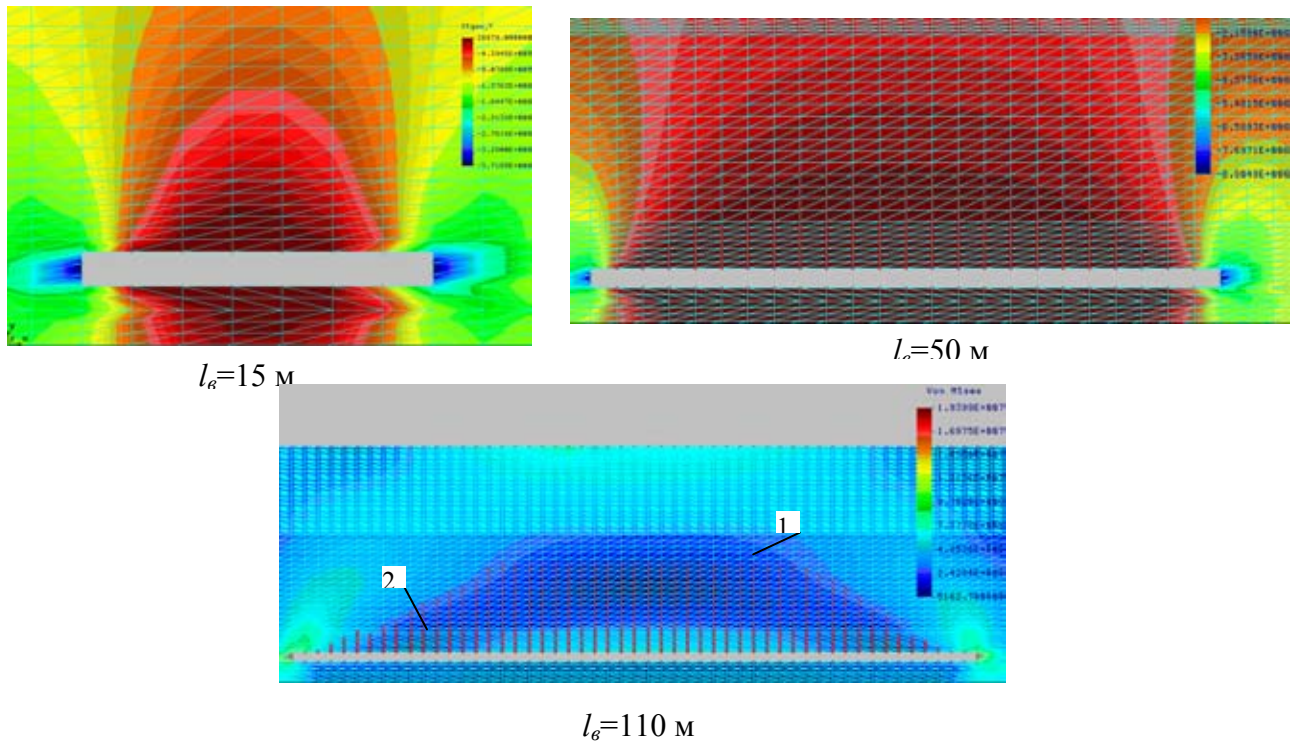


Рис. 5. Качественные картины условных зон разрушения кровли угольного пласта, представленные куполообразной формой, размеры которой по мере увеличения выработанного пространства растут, и при  $l_g=15$  м, 50 м охватывают постепенно непосредственную кровлю, а при  $l_g=110$  м – всю основную кровлю.

Качественная картина размера и местоположения условной зоны разрушения при генеральном обрушении представлена на рис. 5, в при  $l_g=110$  м. Линия 1 ограничивает область, в пределах которой выполняется точечный критерий прочности (2), а линия 2 ограничивает поверхность, на которой величина растягивающих нормальных напряжений превосходит предел прочности на растяжение, т.е. выполняется интегральный критерий прочности (3). В предельном состоянии обе эти линии практически совпадают и образуют криволинейный свод обрушения.

### 5. Оценка устойчивости выработок, пройденных в сложноструктурном породном массиве.

При сооружении южного полевого штрека гор. 1315 м шахты «Родина» ОАО «КЖРК» была применена методика оценки устойчивости, включающая компьютерное моделирование условий заложения выработки. Суть методики заключается в следующем:

– анализу подвергаются имеющиеся данные о горно-геологических условиях по трассе проводимой (или проектируемой) выработки;

– на основе этого анализа выбираются некоторые характерные участки трассы, в пределах которых наблюдаются особенности массива, которые могут повлиять на устойчивость выработки, например, геологические нарушения, пересечение границы контакта пород с различными физико-механическими параметрами, участки локального ослабления пород в массиве (повышенная трещиноватость, обводненность и т.п.) и др.;

– для выбранных участков на ЭВМ решается упругопластическая задача о напряженно-деформированном состоянии массива в окрестности выработки, расположенных на заданной глубине при заданных условиях;

– по результатам расчета определяются условия эксплуатации выработки (размеры и конфигурация зоны неупругих деформаций, распределение напряжений в окрестности выработки) и оценивается ее устойчивость по критерию, учитывающему возможность вспучивания [10]:

$$K_y = \frac{r_L^*}{r_L} = 1, \quad (4)$$

где  $r_L$  – радиус зоны неупругих деформаций, отнесенный к радиусу выработки.

Если критерий (4) меньше единицы, то в выработке ожидается вспучивание пород почвы и состояние выработки в целом неустойчивое, т.е. в данных условиях при данной крепи эксплуатировать выработку нецелесообразно.

В ходе компьютерной оценки устойчивости южного полевого штрека были получены размеры и конфигурации зон неупругих деформаций в окрестности выработки для четырех выделенных участков (рис. 6), на которых ожидалась и наблюдалась различная устойчивость штрека.

Из рисунков видно, что во всех случаях параметры зоны неупругих деформаций различны, что и обуславливает различную устойчивость выработки на этих участках: показатель  $K_y$  принимает значения от 0,87 (для ситуации на рис. 6,а) до 2,03 (для ситуации на рис. 6,б). Вполне очевидно, что характер и величина смещения пород в пределах зоны неупругих деформаций на указанных участках будет различной и тем большей, чем больше размеры этой зоны нарушенных пород.

Конфигурация зон разрыхления (рис. 6) свидетельствует: в таких условиях будет иметь место несимметричная нагрузка на крепь, что может и наверняка придет к концентрации напряжений в ее элементах. Следовательно, в этом случае необходимо проводить проверочный расчет крепи на устойчивость с учетом характера формирования нагрузки, перейдя от величин смещений к величинам действующей на крепь нагрузки.

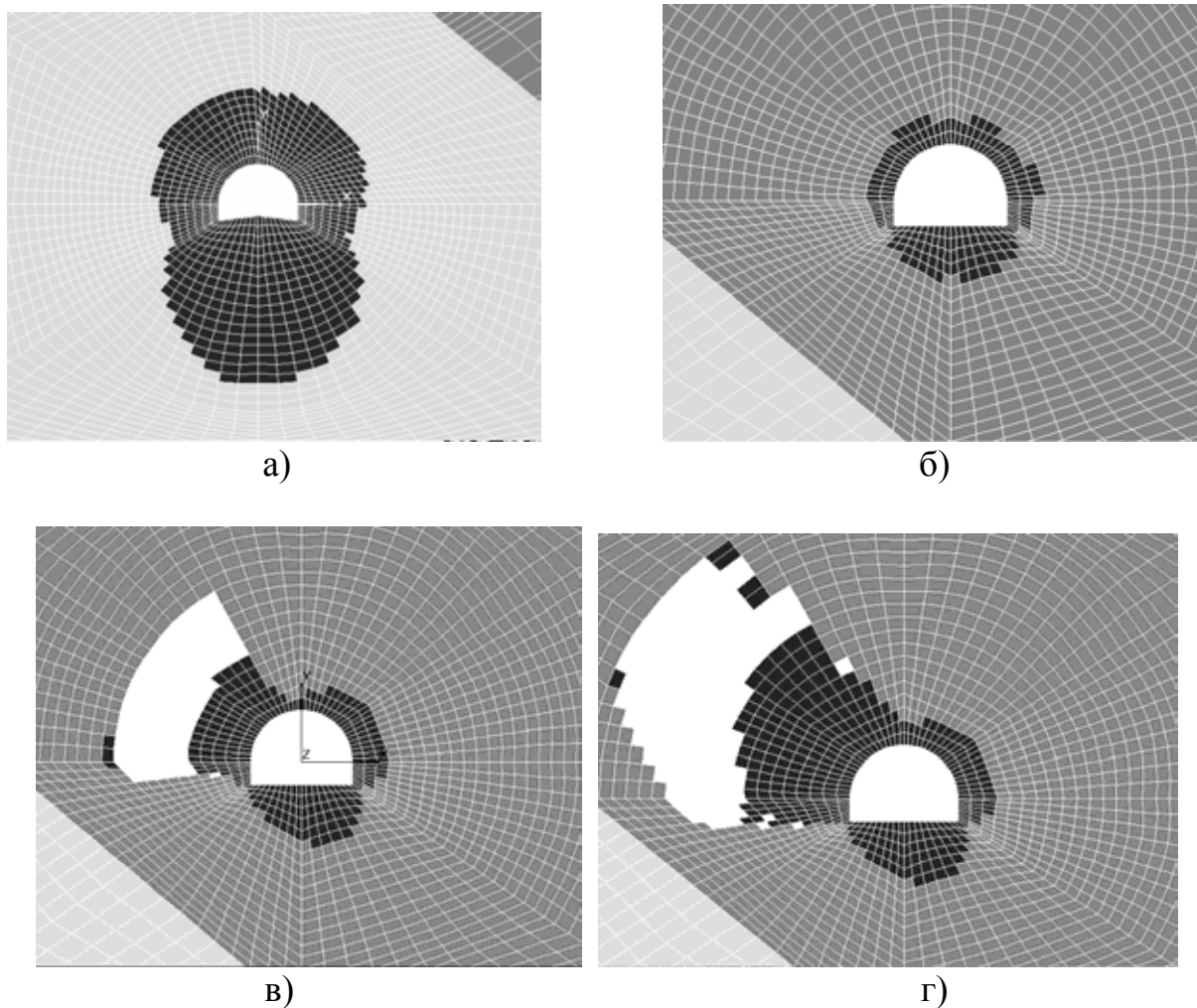


Рис. 6. Расчетные конфигурации зон неупругих деформаций (темный цвет) в окрестности выработки на различных участках трассы

### **6. Состояние породного массива в окрестности протяженной выработки в условиях вывалообразования.**

Полость вывала породы оказывает дополнительное влияние на состояние породного массива, и как следствие, на устойчивость выработки, находящейся в подобных условиях. Задача исследований в этом случае заключается в определении уровней напряжений, деформаций и величин перемещений на контуре такой выработки, оценить ее устойчивость и влияющие факторы.

При решении задачи по МКЭ рассматривается ситуация, когда выработка арочной формы закреплена крепью, обладающей отпором  $P_0$ . При этом породы в ближней окрестности контура обнажения подвержены объемному разрыхлению (дилатансии), т.е. являются упругопластической средой. Считается, что область породного массива переходит в разрыхленное состояние в том случае, когда для материала внутри нее выполняется условие (2). Размеры полости вывала могут варьироваться, тогда как ее положение относительно вертикальной оси выработки определяется трещиноватостью и остается постоянным.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что увеличение

размера зоны разрыхления в кровле выработки не влияет на размер зоны в почве, а, следовательно, и на величину поднятия пород почвы, но существенным образом снижает НДС приконтурного массива. Увеличивается размер зоны пластических деформаций (разрыхления) (рис. 7, 8). При увеличении размера вывала происходит образование в верхней части купола зоны неразрушенных пород и изменение характера распределения напряжений.

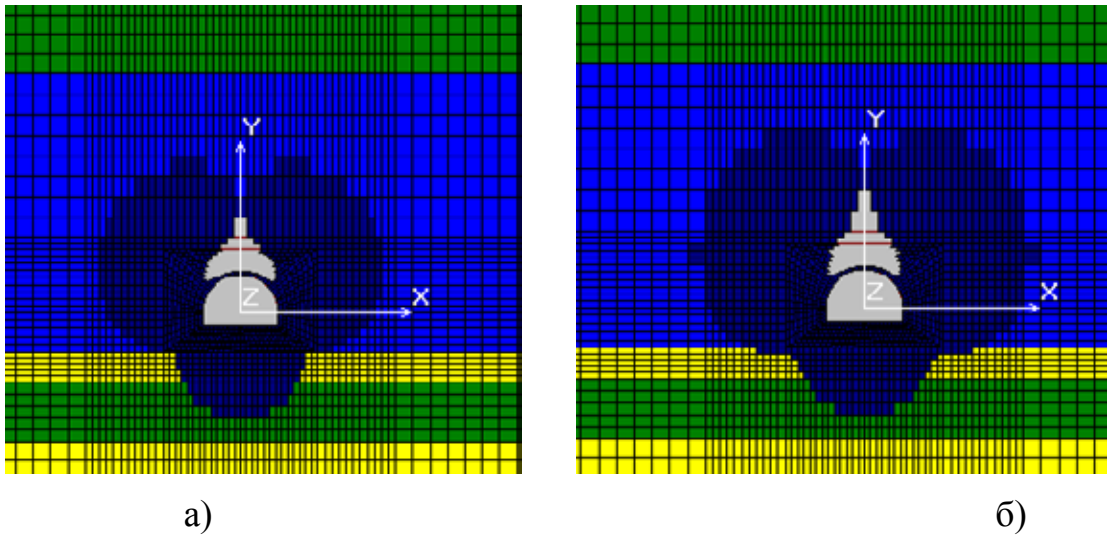


Рис. 7. Зона разрыхления для одиночной выработки с вывалом на высоту  $R_0$  от контура (а),  $2R_0$  от контура (б)

С увеличением размера обрушения кровле от 0,5 до 9 м максимальный размер зоны неупругих деформаций увеличивается в 2,14 раза. При этом количество разрушенных элементов в почве выработки остается неизменным или изменяется незначительно. При этом смещения пород на контуре превышают в 1,8 раза максимальные смещения пород при расчете напряженно-деформированного состояния выработки при отсутствии вывала.

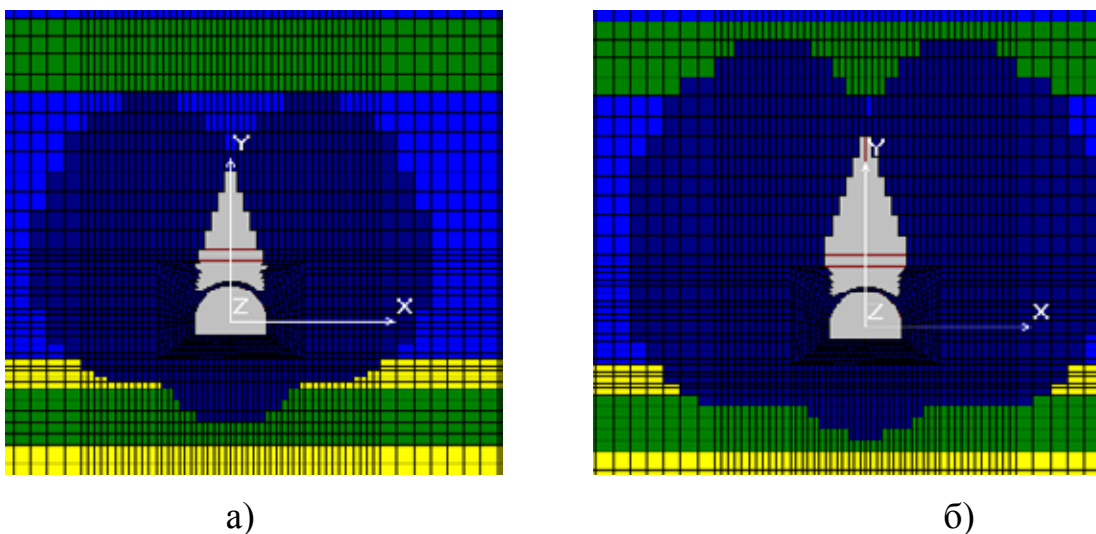


Рис. 8. Зона разрыхления для одиночной выработки с вывалом на высоту  $3R_0$  от контура (а) и  $4R_0$  от контура (б)

## **ВЫВОДЫ**

Приложение численных методов к решению задач геомеханики существенно расширяет условия, в которых становится возможным исследование напряженно-деформированного состояния породного массива, оценка устойчивости системы «выработка-породный массив». Применение соответствующих алгоритмов и подходов позволяет приблизить условия в модели к реальным условиям, изначально учесть влияющие факторы, смоделировать развитие того или иного геомеханического явления, открывая тем самым перед исследователем новые горизонты познания.

## *Литературы*

1. Гавриш А.К. Геомеханическое обоснование способа управления напряженным состоянием пород вокруг выработок камерного типа. Дис...канд. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 2004. – 195 с.
2. Ишлинский А.Ю. Рассмотрение вопросов об устойчивости равновесия упругих тел с точки зрения математической теории упругости // Украинский математический журнал.– 1954.– т.6.– №2.– С.140-146.
3. Лейбензон Л.С. О применении гармонических функций к вопросу об устойчивости сферической и цилиндрической оболочек // Собр. тр.– М., 1951, т.1.– С.50-85.
4. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики.– К.: Универ. изд-во «Пульсари», 2002.– 304 с.
5. Заславский Ю.З. Исследование проявлений горного давления в капитальных горных выработках глубоких шахт Донецкого бассейна.– М.: Недра, 1966.– 180с.
6. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 236 с.
7. Шашенко А.Н., Майхерчик Т., Сдвижкова О.О. Геомеханические процессы в породных массивах.- Днепропетровск: НГУ, 2005.- 319 с.
8. Терещук Р.Н. Обоснование параметров анкерной крепи капитальных наклонных выработок в условиях шахт ГХК «Добропольеуголь»: Дис. ... канд. техн. наук: 05.15.04.– Днепропетровск, 2002.– 162 с.
9. Хозяїкіна Н.В. Закономірності зміни граничного напруженого стану у складно структурній покрівлі лав положистих вугільних пластів: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.15.09 / НГУ: Дніпропетровськ, 2004.– 17 с.
10. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород: Учебник для ВУЗов.– К.: Новий Друк, 2004.– 400 с.

**ИЗМЕНЕНИЕ УПРУГО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КРОВЛИ  
ЛИКВИДИРОВАННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК  
В УСЛОВИЯХ ТРЕЩИННО-ПОРОВОГО ХАРАКТЕРА  
ФИЛЬТРАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

*А.И. Савенко, В.А. Хорошавин, «Несветаевская ГРЭ» ОАО «Южгеология»,  
г. Новошахтинск*

В специальной и методической литературе обобщены условия формирования техногенного водоносного горизонта угольных шахт, в том числе и шахт Восточного Донбасса. В общем случае в выработанном пространстве и его кровле формируется зона обрушения, выше по разрезу зона трещин, а затем зона прогиба. Зона обрушения и зона трещин объединяются в зону водопроводящих трещин, они гидравлически связаны между собой с отработанным пространством, а в зоне прогиба формируются трещины параллельные напластованию пород которые, как традиционно считается, гидравлически разобщены от зоны водопроводящих трещин.

В целом, несмотря на огромный объем выполненных геологоразведочных работ, и продолжительный опыт эксплуатации шахт, в структурном отношении техногенный водоносный горизонт угольных шахт остается практически не изученным. Это связано с разнообразием факторов влияющих на его формирование. Так в пределах одного шахтного поля мощность горизонта изменяется от 0 до сотен метров. Фильтрационные параметры горизонта изменяются как по площади так и в разрезе. Горизонт горных работ может составлять только первые проценты общей мощности техногенного водоносного горизонта, и может составлять 100% его мощности. В некоторых случаях, горные работы могут быть задавлены породами почвы и кровли до такой степени, что (практически) техногенный водоносный горизонт будет отсутствовать. В частности, вышеуказанное, может быть подтверждено опытом доразведки поля шх. «Западная Капитальная», когда техногенный водоносный горизонт был вскрыт более чем 100 скважинами. Как правило, скважины вскрывали горные работы по двум и трем пластам ( $k_2^1$ ;  $k_2^H$ ;  $i_3^H$ ), а поглощение промывочной жидкости фиксировалось только в 70 % пересечений мест горных выработок.

Учитывая общие закономерности формирования техногенного водоносного горизонта и опыт геологоразведочных работ обоснованно можно сделать вывод, что в конкретных условиях совсем не обязательным является формирование зоны водопроводящих трещин, однако формирование зоны прогиба является обязательным условием, иначе необходимо предположить, что недра обрушаются блоками, по сместителю достающим дневную поверхность. Допущенное предположение не подтверждается натурными наблюдениями. Так же весьма вероятна зона прогиба и при наличии выраженной зоны водопроводящих трещин,



что следует из анизотропии физических констант пород карбона при нагрузках в различных направлениях и общих законов механики горных пород.

Традиционно сложившееся мнение, что техногенные трещины зоны прогиба гидравлически не связаны с зоной водопроницающих трещин в целом не верно. Породы карбона обладают двумя типами водопроницаемости – по трещинам и порам (к поровой водопроницаемости можно отнести так же движение воды по микротрещинам). Безусловно, скорости фильтрации воды в трещинах многократно выше, чем в поровом пространстве (как известно скорость фильтрации находится в квадратной зависимости от величины раскрытия канала) но, принимая во внимание фактор времени (десятилетия, в отдельных случаях столетия) пренебрегать поровой проницаемостью массива нельзя. Через определенное время зона водопроницающих трещин и трещины зоны прогиба окажутся в гидравлическом взаимодействии. В условиях эксплуатации шахтного водоотлива гидростатическое давление в них будет меньше нормальной величины. Изложенное, может быть подтверждено расчетами по известным формулам гидродинамики разработанных для условий упругого режима фильтрации жидкости в пластах.

В условиях ликвидации шахты с полным затоплением отработанного пространства динамические процессы протекают в обратную сторону. Первоначально, причем достаточно быстро, восстанавливается гидростатическое давление на горизонте горных работ, в пределах всей зоны водопроницающих трещин. В трещинах зоны прогиба восстановление давления будет происходить с запозданием, причем это запоздание будет пропорционально отношению чисто трещинной и поровой проницаемости массива. Таким образом, продолжительный период времени в кровле техногенного водоносного горизонта будет нарушено равновесие, т.к. суммарное напряжение, вызванное горным давлением и статическим давлением подземных вод, будет выше в кровле зоны водопроницающих трещин, чем в трещиноватом массиве зоны прогиба. В результате создаются условия для поднятия массива и закрытия трещин в зоне прогиба.

Гипотеза о возможности сдвижения горных пород под действием статического напора воды неоднократно проверялась при производстве исследований фильтрационных свойств пород карбона методом расходографии. Несветаевской ГРЭ наиболее полные материалы собраны при изучении фильтрационных свойств пород по оси откаточного квершлага шх. «Комсомольская правда». На данном участке более чем в двадцати скважинах выполнена расходография при нагнетании воды в скважину. Нагнетание воды проводилось не менее чем в трех режимах, с различными дебитом и давлением. По результатам производства опытов установлено общее свойство пород карбона, которое заключается в изменении положения проницаемых зон в исследуемом интервале скважины при различных режимах нагнетания. При производствах опытов по одной и той же скважине, в одном и том же интервале, ранее выявленные зоны поглощения переставали работать, открывались новые зоны, либо отмечалось уменьшение приемистости одной зоны и увеличение

приемистости в другой зоне. Причем, перепады давления нагнетания в опытах составляли первые атмосферы, а исследования проводились на глубине 250-300 м.

В описанном опыте давление на массив передавалось через скважину и зону ее влияния, площадь которых вряд ли превышала первые кв. метры (учитывая кратковременность опытов). При затоплении горных выработок равновесие нарушается на площадях исчисляемых кв. километрами, перепады давления, при глубинах отработки в несколько сотен метров, составляют десятки атмосфер. В подобных условиях, накапливается энергия которая при освобождении может проявиться в различного рода сдвигениях массива пород. Сдвигение массива даже на доли метра могут вызывать серьезные последствия, создать угрозу безопасности работы сопряженных шахт, проявиться на поверхности в виде трещин, нарушить целостность коммуникаций, зданий и сооружений, привести к перераспределению фильтрационных потоков подземных вод и потоков воды внутри техногенных водоносных комплексов.

Предлагается учитывать фактор изменения напряженно-деформированного состояния пород кровли техногенного горизонта при разработке проектов выполнения работ по мониторингу последствий ликвидации шахт, проектировании очистных сооружений, расчете водоупорных перемычек и охранных целиков, прокладке магистральных трасс коммуникаций.

УДК 622.258.3

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АНКЕР-ИНЪЕКТОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АРМИРОВКИ И УПРОЧНЕНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА**

*С.Г. Страданченко, А.Ю. Прокопов, С.В. Басакевич,  
Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического  
университета, Россия*

Конструкция крепи и армировки вертикальных стволов во многом определяет надежность, безопасность и производительность подъемного комплекса шахты, что напрямую связано с эффективностью работы всего горного предприятия. Как показывает практика, способ закрепления элементов армировки (расстрелов, консолей, опорных конструкций и т.д.) к крепи оказывает решающее влияние как на надежность армировки, трудоемкость работ и продолжительность ее возведения, так и на целостность и работоспособность самой крепи на участках крепления армировки.

До 80-х гг. XX в. в отечественной горнодобывающей промышленности наиболее широко применялся способ заделки расстрелов в лунки бетонированием. Условия работы узлов крепления расстрелов при этом были чрезвычайно тяжелыми. Так как эксплуатация армировки ведется в условиях повышенных



притоков воды и агрессивной среды, в местах заделки концов расстрелов в крепи ствола наблюдается активная коррозия металла и бетона.

Неоднократно проводившиеся обследования стволов показали, что нарушения заделки расстрелов в лунках является одним из наиболее часто встречающихся дефектов армировки (до 30 %), приводящих к ее отказу [1]. Одной из причин этого дефекта следует считать некачественную заделку концов расстрелов в крепи, связанную с технологией ведения работ.

Как показывает практика, в результате воздействия динамических нагрузок со стороны подъемных сосудов, в местах заделки расстрелов в крепь происходит разрушение бетона и нарушается сплошность крепи. Аналогичные деформации и нарушения крепи могут возникать от усилий со стороны деформирующегося породного массива.

Другим способом крепления расстрелов в вертикальных стволах является использование анкеров различных конструкций [2-4]. Данный способ активно исследуется и внедряется с середины 80-х гг. Его применение позволило механизировать большую часть операций, тем самым снизить трудоемкость работ и увеличить темпы армирования. Кроме того исключение такого процесса, как долбление и бетонирование лунок, позволило снизить площадь нарушенных участков крепи, повысить степень ее водонепроницаемости и устойчивости.

Тем не менее на участках водоносных горизонтов, особенно в стволах, пройденных с применением предварительного замораживания вмещающих пород, в период эксплуатации стволов наблюдается значительная фильтрация воды через крепь. Наибольшая фильтрация возникает на стыках колец монолитной бетонной крепи, а также в местах крепления расстрелов.

Фильтрация воды на стыках монолитной крепи

Вывалы крепи в районе крепления расстрела

Фильтрация воды и коррозия бетона в районе крепления расстрела



Рис. 1. Фрагмент монолитной бетонной крепи вентиляционного ствола №1 шахты им. Чиха в месте крепления расстрела

На рис. 1 приведена фотография участка крепи вентиляционного ствола №1 шахты им. Чиха в месте анкерного крепления расстрела.

Устье, технологический отход и протяженная часть этого ствола до отм. 90,2 м проходились в слабых, неустойчивых (глины, суглинки, пески, супеси, углисто-глинистые сланцы) и сильнообводненных породах. Проектируемый ствол пересекает три пльвуна на отм. 16,6-25,7 м; 39,4-50,4 м и 58,2-90,2 м. Для обеспечения безопасности производства горно-строительных работ, создания герметичной завесы, препятствующей проникновению воды к месту выполнения работ, до начала сооружения ствола производят замораживание горных пород по контуру проектируемой выработки. Ниже замороженных пород с отм. 102 м до отм. 155 м ствол проходил по слабым, малообводненным породам обычным способом. На отм. 160,3-191,4 м ствол пересекает крепкий, трещиноватый, обводненный (с притоком воды до 18 м<sup>3</sup>/ч) песчаник. Этот участок проходил с применением способом предварительного тампонажа вмещающих пород.

С целью максимального сохранения сплошности крепи ствол был заармирован с применением узлов крепления расстрелов анкерами. Однако на участке ниже 150 м (см. рис. 1) в настоящее время наблюдается значительная фильтрация агрессивных вод в ствол, в результате чего наблюдается значительная коррозия как бетонной крепи ствола, так и металлических расстрелов. Особенно высока фильтрация на стыках колец бетонной крепи и местах крепления опорных плит расстрелов.

Этот и ряд других примеров свидетельствует о необходимости дополнительной гидроизоляции крепи на участках стволов, пересекающих водоносные горизонты, а также упрочнения пород, непосредственно контактирующих с крепью ствола, с целью повышения их водонепроницаемости.

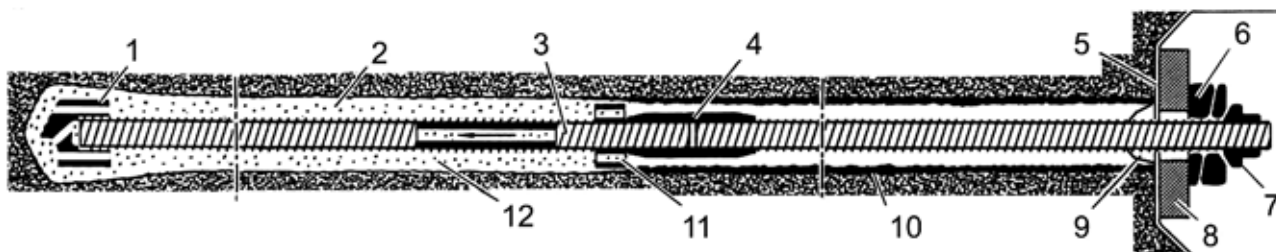


Рис. 2. Схема установки инъекторного анкера:

- 1 – крестообразная коронка с направляющей трубой; 2 – впрессовываемое тело;
- 3 – винтовая арматура; 4 – соединительная гайка; 5 – шпунтовая стенка; 6 – две клиновидные шайбы; 7 – гайка с фланцем; 8 – пластина для распределения нагрузки;
- 9 – пакер; 10 – корж; 11 – распорка; 12 – цементный камень

Для упрочнения крепи ствола в местах заделки расстрелов предлагается использовать для их крепления анкер-инъекторы (рис. 2), позволяющие устранить наклонные и крутые пересекающие трещины, разделяющие крепь на отдельные большие блоки неправильной формы, тем самым повысить несущую способность

крепи и узла крепления армировки. При ремонте крепи и армировки такой способ крепления расстрелов обеспечит дополнительное усиление крепи.

Фирмой Titan Ischebeck [5] выпускаются анкер-инъекторы различных типоразмеров (внешним диаметром от 30 до 103 мм) для крепления выработок и тоннелей большого сечения, скважин, упрочнения склонов, берегов и др. В табл. 1 приведены характеристики только тех типоразмеров анкер-инъекторов, которые могут применяться в вертикальных стволах для крепления элементов армировки и одновременного упрочнения нарушенных участков крепи и вмещающих пород.

Таблица 1

Техническая характеристика анкер-инъекторов фирмы Titan Ischebeck, рекомендуемых для крепления элементов армировки

Характеристика	Ед. изм.	Типоразмер анкера		
		TITAN	TITAN	TITAN
Внешний диаметр	мм	30	30	40
Внешний диаметр для статического расчета	мм	27,2	26,2	37,1
Внутренний диаметр	мм	16	11	16
Доп. нагрузка на растяжение и сжатие	кН	100	150	300
Допустимая поперечная сила	кН	58	88	164
Разрушающая нагрузка	кН	220	320	660
Линейная плотность	кг/м	3,0	3,5	6,9
Наименьшее сечение	мм <sup>2</sup>	332	446	879
Напряжение текучести	Н/мм <sup>2</sup>	470	580	590
Момент инерции	см <sup>4</sup>	2,37	2,24	8,98
Момент сопротивления	см <sup>3</sup>	1,79	1,71	4,84

Новизной данного способа является использование в качестве анкера винтовой арматуры, которая одновременно является и буровой штангой. Винтовая арматура имеет резьбовые ребра, на которые накручивается распорка для увеличения давления цементного раствора в забое шпура (скважины), а также пакера для уменьшения вытекания бурового раствора из шпура (скважины). Анкер изготавливается из винтовой арматуры диаметром 16-32 мм класса А500С по ТУ 14-1-5254 с внутренним отверстием диаметром 8-11 мм, выпуск которой освоен и продолжается на Западносибирском металлургическом комбинате.

Специально для такого вида анкеров были созданы дешевые одноразовые коронки с боковым отверстием, при помощи которого осуществляется подача цементного раствора в шпур. Это способствует увеличению скорости бурения и улучшению разрушения массива околоствольных пород.

При бурении по каналу внутри инъекционного анкера под медленно повышающимся (от 0 до 5-20 кН/м<sup>2</sup>) давлением подается буровой (цементный) раствор с В/Ц = 0,4-0,7 и, выходя через отверстие в буровой коронке, помогает разрушать породу. Одновременно с этим буровой раствор заполняет трещины, образовавшиеся при бурении, распространяясь в массив на глубину, равную 1,5-2 диаметрам буровой коронки. Помимо всего прочего данный тип анкеров имеет повышенную антикоррозионную защиту и повышенную несущую способность, что позволяет их использовать не только для ремонта крепи, но и для крепления расстрелов к стенке ствола. Антикоррозионная защита достигается за счет следующих преимуществ, присущих только данному типу анкеров:

– бурение осуществляется с одновременным нагнетанием цементного раствора под давлением 5-20 кН/м<sup>2</sup>, что позволяет восстановить целостность крепи вертикального ствола в отличие от обыкновенного бурения шпуров;

– в отличие от обыкновенных анкеров для анкер-инъекторов характерна повышенная антикоррозионная защита, которая достигается равномерным покрытием стали цементным камнем минимальной толщиной 20 мм в слабых породах и 10 мм – в крепких. Если необходима пассивная защита стали, она может быть улучшена за счет комбинированной обработки: «горячая оцинковка + эпоксидное покрытие»;

– повышенная допустимая нагрузка на растяжение и сжатие порядка 150–200 кН.

Таким образом, применение для крепления элементов армировки к бетонной крепи ствола вышеописанных анкер-инъекторных конструкций позволит:

– повысить водонепроницаемость крепи на участках крепления расстрелов и снизить водопиток в ствол;

– упрочнить зону контакта бетонной крепи ствола и вмещающих пород и повысить устойчивость крепи;

– снизить коррозионный износ бетонной крепи и металлической армировки, тем самым увеличить срок их службы;

– уменьшить количество операций при армировании, тем самым снизить трудоемкость монтажа армировки

### *Литература*

1. Ягодкин Ф.И., Вестфаль Г.О. Эффективная технология армирования вертикальных стволов// Научно-технические достижения и передовой опыт в угольной промышленности. – М.: ЦНИЭИуголь, 1990.– Вып. 8. – С. 18 – 30.

2. Ягодкин Ф.И., Вестфаль Г.О., Будник А.В. Анкерное крепление элементов армировки стволов // Цветная металлургия, 1990. – №6. – С 33 – 37.

3. Барханьский Б., Задаржны М. Анкерное крепление армировки стволов угольных шахт в ПНР. – Шахтное строительство, 1980. – № 12. – С. 23 – 25.

4. Доржинкевич И.Б., Самонин А.В., Яковенко Ю.К. Новые конструкции штанг для крепления армировки шахтных стволов. – Шахтное строительство, 1980. – № 6. – С. 6 – 8.

УДК 622.26

## **ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ЗОНЫ НЕУПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ВОКРУГ ПРОВОДИМОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ**

*Г.В. Бабиюк, М.А. Диденко, Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск*

Одной из актуальных задач при эксплуатации угледобывающих предприятий является обеспечение устойчивости и безопасного состояния протяженных горных выработок. Устойчивость выработки зависит от ряда факторов, учесть которые во всей совокупности в рамках теоретических моделей не представляется возможным. С точки зрения описания реальных условий заслуживает внимания комплексная методика текущего прогнозирования состояния выработки на стадии её проведения, состоящая в мониторинге за развитием зоны неупругих деформаций (ЗНД) вокруг выработки и численном моделировании на ЭВМ, периодически контролируемом по результатам шахтных наблюдений [1, 2]. Изложенный подход к оценке состояния выработки применен при прогнозировании устойчивости воздухоподающего уклона пласта  $l_1$  шахты им. XIX съезда КПСС ГП «Луганскуголь».

Выработка, проводимая вне зоны влияния очистных работ, предназначена для подачи свежей вентиляционной струи от вспомогательной вентиляционной скважины, сооруженной у южной границы шахтного поля до гор. 700 м. При проведении воздухоподающего уклона выемка угля пласта  $l_1$ , мощностью 0,9 м, и верхняя подрывка пород производится комбайновым способом. Крепление выработки осуществляется трехзвенной арочной металлической податливой крепью КМП-А3 с плотностью 1,43 рамы/м с деревянной затяжкой кровли. Проектная площадь сечения в свету до осадки – 13,8 м<sup>2</sup>. Угол наклона выработки 2-4°. Проектная длина 800 м.

Шахтные исследования включали:

- полевые испытания образцов с целью определения их физико-механических свойств пород;
- визуальные наблюдения за деформированием породного контура выработки и крепи для установления формы проявления горного давления и статистической оценки условий работы крепи;
- инструментальные измерения смещений породного контура на специально оборудованных замерных станциях;
- специализированные измерения трещинной пустотности массива горных пород путем электроемкостной интроскопии.

Испытания пород на прочность проводились с помощью экспресс-методов, позволяющих оперативно получить информацию о прочностных свойствах массива в конкретных горно-геологических условиях. Образцы горных пород отбирались непосредственно в шахтных условиях с обнажений горной выработки. Подготовка проб пород осуществлялась в соответствии с ГОСТ 21153.3-85. Для снижения трудоемкости проведения испытаний показатели прочности определялись раскалыванием образцов неправильной формы сферическими инденторами при помощи прибора ППЭИ. Испытания пород с прочностной анизотропией производились путем приложения нагрузки перпендикулярно и параллельно слоистости, по результатам чего вычислялись прочность на сжатие параллельно слоистости  $\sigma_{ср}^{\parallel}$  и прочность перпендикулярно слоистости:  $\sigma_{ср}^{\perp}$ .

Для установления прочностных свойств пород было проведено 479 испытаний образцов. Результаты испытания на прочность породных слоев, слагающих массив, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний горных пород на прочность

Наименование породы и ее мощность	Ориентация усилия относительно напластования	Предел прочности на растяжение, $\sigma_p$ , МПа	Коэффициент вариации $\sigma_p$ , %	Предел прочности на сжатие, $\sigma_c$ , МПа	Коэффициент вариации $\sigma_c$ , %
Аргиллит, $m = 16,0$ м	⊥	2,0	16,3	43,8	12,3
	∥	3,6	12,3	23,7	16,3
Известняк $L_2$ , $m = 0,55$ м	⊥ = ∥	7,2	14,9	107,9	14,9
Аргиллит, $m = 7,2$ м	⊥	2,2	9,6	47,2	11,3
	∥	3,9	11,3	26,7	9,6
Уголь пл. $l_1$ , $m = 0,9$ м	⊥ = ∥	2,0	7,8	17,8	7,8
Алевролит, $m = 4,8$ м	⊥	2,9	14,9	64,7	11,4
	∥	4,3	11,4	43,5	14,9
Уголь пл. $l_0$ , $m = 0,25$ м	⊥ = ∥	2,1	12,2	19,0	12,2
Алевролит, $m = 20,0$ м	⊥	3,0	9,5	67,5	12,9
	∥	4,5	12,9	44,7	9,5

Анализ результатов испытаний показывает, что породы, вмещающие пласт  $l_1$ , имеют явно выраженную прочностную анизотропию, так как отношение прочности на сжатие параллельно слоистости к прочности перпендикулярно слоистости ( $\sigma_c^{\parallel}/\sigma_c^{\perp}$ ) изменяется от 0,24 до 1,0. Так, например, прочность на сжатие

аргиллита кровли пл.  $l_1$  перпендикулярно слоистости составляет 39 МПа, в то время как прочность параллельно слоистости только 10 МПа.

Визуальное обследование состояния выработки показывает, что сразу же после очередного подвигания забоя наблюдается процесс образования свода в кровле выработки с частичным разрушением пород в боках. При этом разрушение в кровле, являющееся доминирующим, может быть обусловлено наличием растягивающих напряжений, либо повышенных сжимающих напряжений. Второй случай возможен при наличии прочностной и деформационной анизотропии пород, что согласуется с результатами испытаний механических свойств пород.

Для измерения смещений по длине выработки оборудовались замерные станции, на которых устанавливались контурные реперы (рис. 1). Для установки контурного репера бурились шпуров длиной 0,3 м, плотно забивались в них деревянные пробки, в которые затем закреплялись реперы с измерительным кольцом, служащим для зацепления крючка рулетки с натяжной лентой. Смещения пород регистрировались по реперам, заложенным в кровле, боках и почве выработки по линиям Б-Б и П-К. Каждая замерная станция состояла из трех замерных пунктов, расположенных по длине выработки на расстоянии 2,8 м друг от друга (четыре шага установки крепи).

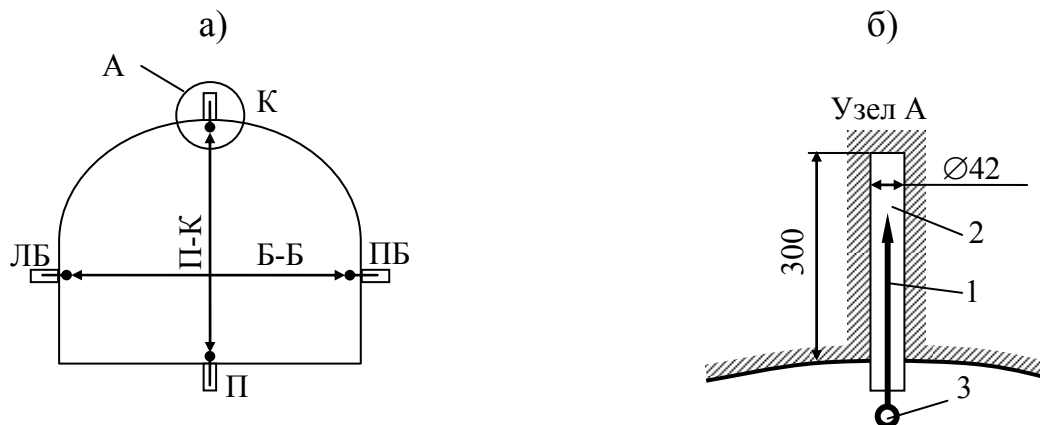


Рис. 1. Схема замерной станции (а) и устройство контурного репера (б):  
1 – репер, 2 – деревянная пробка, 3 – кольцо для закрепления рулетки.

Фиксировались смещения кровли, почвы и боков выработки с момента установки замерной станции. Величины смещений кровли и почвы вычислялись по отношению к контурным реперам, заложенным в боках выработки. Наблюдения на замерной станции в течение первых четырех недель производились с периодичностью один замер в сутки, а затем, по мере удаления забоя от замерной станции, частота наблюдений уменьшалась вплоть до одного раза в десять дней.

Результаты замеров смещений контура представлены на рис. 2. За весь период наблюдений (86 сут) вертикальная конвергенция кровли и почвы составила 286 мм, горизонтальная конвергенция – 45 мм, максимальное опускание

пород кровли – 93 мм. Следует также отметить значительные смещения пород почвы выработки, которые на протяжении всего времени наблюдений превышали величину опускания кровли и на последний замер составили 193 мм.

На рис. 3 представлена зависимость интенсивности опускания кровли выработки в зависимости от времени. Как видно из графика, максимальное значение интенсивности (16,1 мм/сут) наблюдалось в первые сутки после обнажения. В последующие интервалы времени наблюдалось снижение скорости смещений. В период с 35 по 86 сут интенсивность опускания кровли практически не менялась и составила в среднем 0,2 мм/сут, что свидетельствует о стабилизации процесса. Средняя интенсивность смещений кровли за весь период наблюдений составила 1,1 мм/сут.

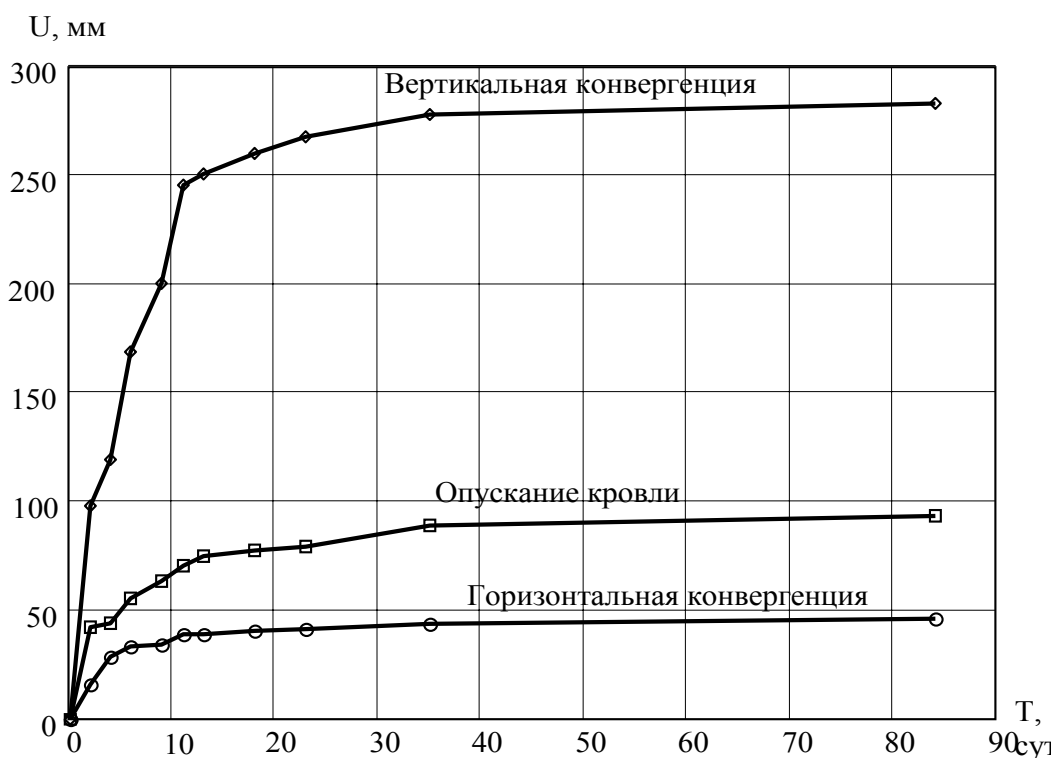


Рис. 2. Смещения породного контура выработки

Отсутствие на графике (рис. 3) периода нарастания интенсивности смещений пород дает основания утверждать, что зарождение разрушения пород имеет место уже впереди забоя, а условия проведения выработки относятся к первому типу [3]. Протяженность зоны влияния забоя, определяемую процессом перераспределения напряжений в результате образования полости и реологическими свойствами пород, можно принять равной длине части выработки, проведенной в течение первых 35 суток наблюдений (до момента стабилизации смещений пород), что составляет 71,4 м или в относительных единицах  $34 L/R$ , где  $R$  – приведенный радиус выработки, равный 2,1 м.



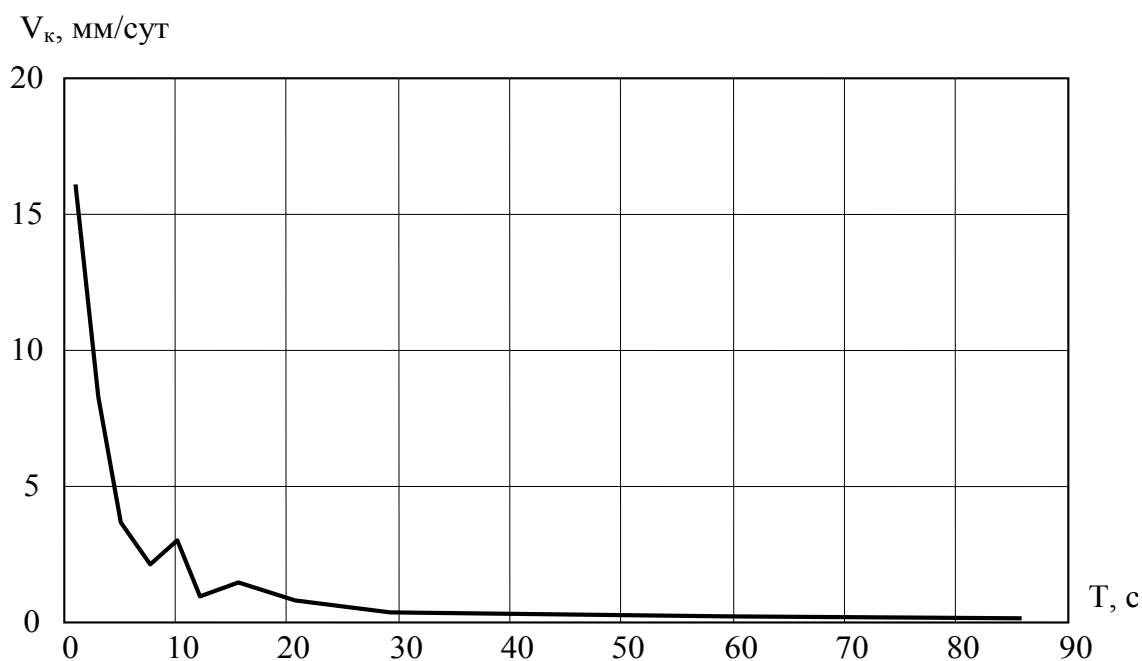


Рис. 3. Интенсивность опускания кровли выработки

Для наблюдения за расслоением и деформированием пород вокруг выработки использовался электроемкостный метод оценки состояния массива [4]. Неоднородности пород изучались на замерной станции, состоящей из пяти шпуров диаметром 42 мм и глубиной 2,2 м (рис. 4).

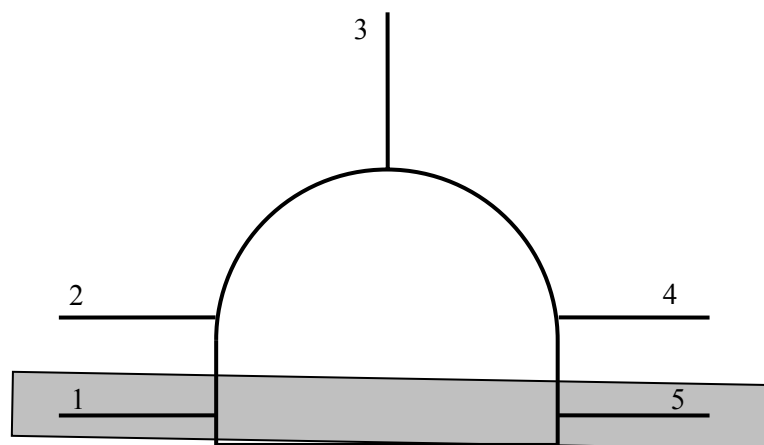


Рис. 4 .Схема расположения шпуров на замерной станции для электроемкостной интроскопии массива

Измерения проводились при помощи электроемкостного преобразователя, состоящего из цилиндрических колец, выполненных из проводящего материала и расположенных соосно. Такая форма прибора позволяет помещать датчик в шпур, пробуренный в массив горных пород и измерять его диэлектрическую

проницаемость по всей длине шпура при поинтервальном перемещении по нему датчика.

Электроемкостный зонд разработан проф. Г.Г. Литвинским и доц. В.А. Касьяновым [5]. Блок измерения конструктивно представляет собой цифровой частотомер с диапазоном измерения от 1 до 9999 кГц, позволяющий регистрировать изменения частоты колебаний  $A$  автогенератора прибора вследствие изменения диэлектрической проницаемости среды, в которую помещен зонд прибора, включенный в цепь колебательного контура. Для центровки датчика по оси шпура зонд снабжен направляющими. Перемещение зонда вдоль шпура осуществлялось с помощью досылочного устройства, имеющего линейную измерительную шкалу. При этом по блоку измерений фиксировалась частота колебаний автогенератора через каждые 5 см шпура при пятикратном повторении измерений. В результате анализа показаний прибора были получены данные о структурных особенностях массива, наличии и раскрытии отдельных трещин. Замеры электроемкостным методом производились с той же периодичностью, что и замеры смещений породного контура выработки до момента стабилизации смещений.

Показания прибора при перемещении датчика вдоль шпура, расположенного в кровле выработки представлены на рис. 5. Каждая точка на графике отражает среднее по пяти повторениям измерения значение. Зависимости имеют нелинейно убывающий характер. Для остальных шпуров зависимости аналогичны. Экстраполируя данные зависимости до точки пересечения с уровнем показаний прибора в ненарушенном массиве ( $A_m = 3531$ ) можно определить глубину зоны неупругих деформаций от контура выработки. Полученные размеры ЗНД представлены в табл. 2.

Авторами прибора предложено оценивать трещиноватость массива относительным показателем неоднородности массива  $P_n$ :

$$P_n = \frac{A - A_1}{A_2 - A_1}, \quad (1)$$

где  $A$  – показания прибора, когда датчик установлен по центру трещины;  
 $A_1, A_2$  – показания, когда датчик соответственно находится в массиве и в трещине бесконечного раскрытия (на воздухе); в условиях проведения шахтных измерений  $A_2 = 3719$ .

В [4] отмечено, что при ширине раскрытия трещины, не превышающей половины длины эффективной зоны чувствительности датчика, наблюдается почти линейная зависимость показателя неоднородности от ширины раскрытия трещины.

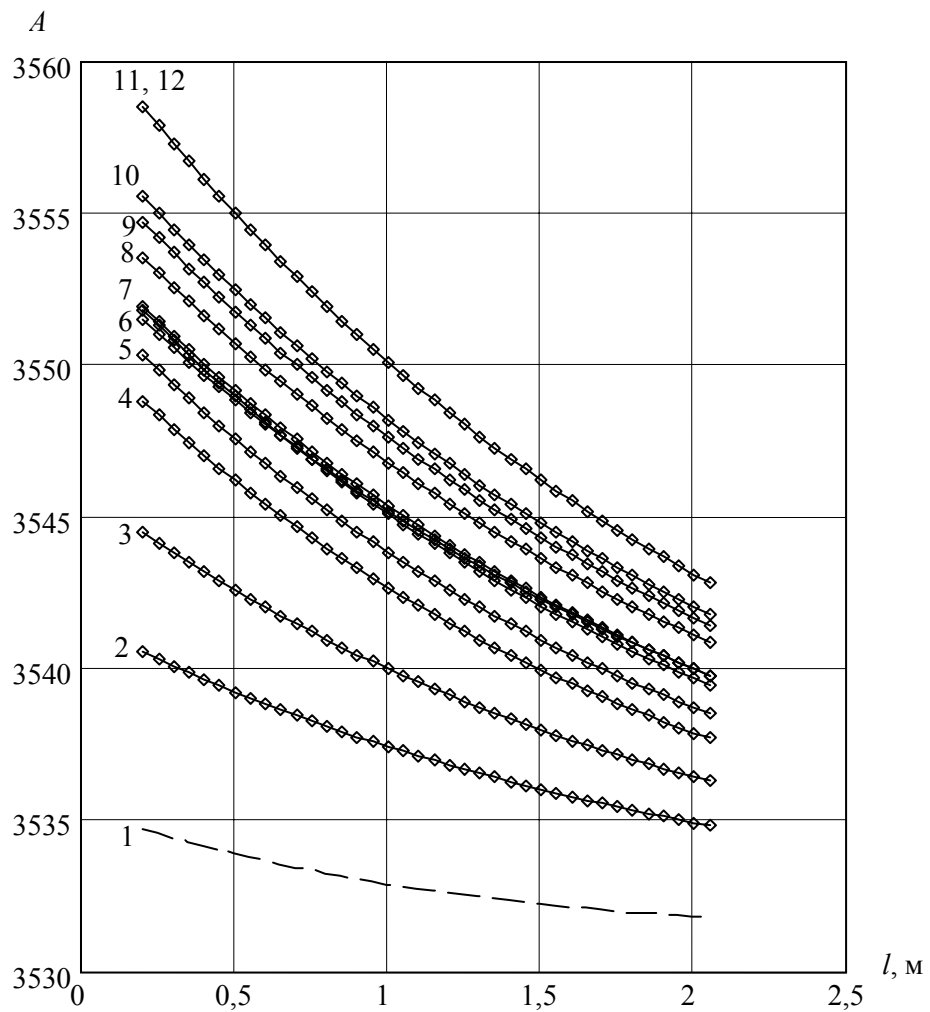


Рис. 5. Показания интроскопа по глубине  $l$  шпура, расположенного в кровле выработки на расстоянии от забоя:  
 2 – 2,8 м; 3 – 5,6 м; 4 – 11,9 м; 5 – 17,5 м; 6 – 23,8 м; 7 – 28 м; 8 – 30,8 м; 9 – 44,1 м; 10 – 57,4 м; 11 – 74,2 м; 12 – 189 м; 1 – прогнозная линия для плоскости забоя

Таблица 2

Размеры зоны неупругих деформаций вокруг выработки

Расстояние от забоя, м	0	2,8	5,6	11,9	17,5	23,8	28	30,8	44,1	57,4	74,2	189
Размер ЗНД в боках выработки, м	2,05	2,33	2,59	2,73	2,92	3,15	3,27	3,34	3,54	3,62	3,65	3,67
Размер ЗНД в кровле выработки, м	2,19	5,49	6,04	6,33	6,71	7,18	7,44	7,58	7,98	8,14	8,21	8,24

Это существенно упрощает расшифровку показаний и дает основание для вывода линейной зависимости между относительным показателем

неоднородности и коэффициентом трещиноватости массива, принятым в дальнейшем для оценки адекватности результатов численного моделирования на ЭВМ протеканию геомеханических процессов в натуре. Зависимость может быть представлена в виде:

$$k_{mp} = a \cdot P_n = a \cdot \frac{A - A_1}{A_2 - A_1}, \quad (2)$$

где  $a$  – коэффициент пропорциональности.

Используя данную зависимость, можно перейти к смещениям  $u_j$  породного контура выработки в месте заложения  $j$ -го шпура:

$$u_j = \int_0^{r_{Lj}} k_{mp,j}(l) dl = \int_0^{r_{Lj}} a_j \cdot \frac{A_j(l) - A_1}{A_2 - A_1} dl = \frac{a_j}{A_2 - A_1} \cdot \left[ \int_0^{r_{Lj}} A_j(l) dl - A_1 \cdot r_{Lj} \right], \quad (3)$$

где  $r_{Lj}$  – размер зоны неупругих деформаций в направлении  $j$ -го шпура.

Поскольку смещения породного контура известны по результатам измерений на контурных реперах, это дает возможность определить коэффициент пропорциональности  $a_j$  для каждого шпура.

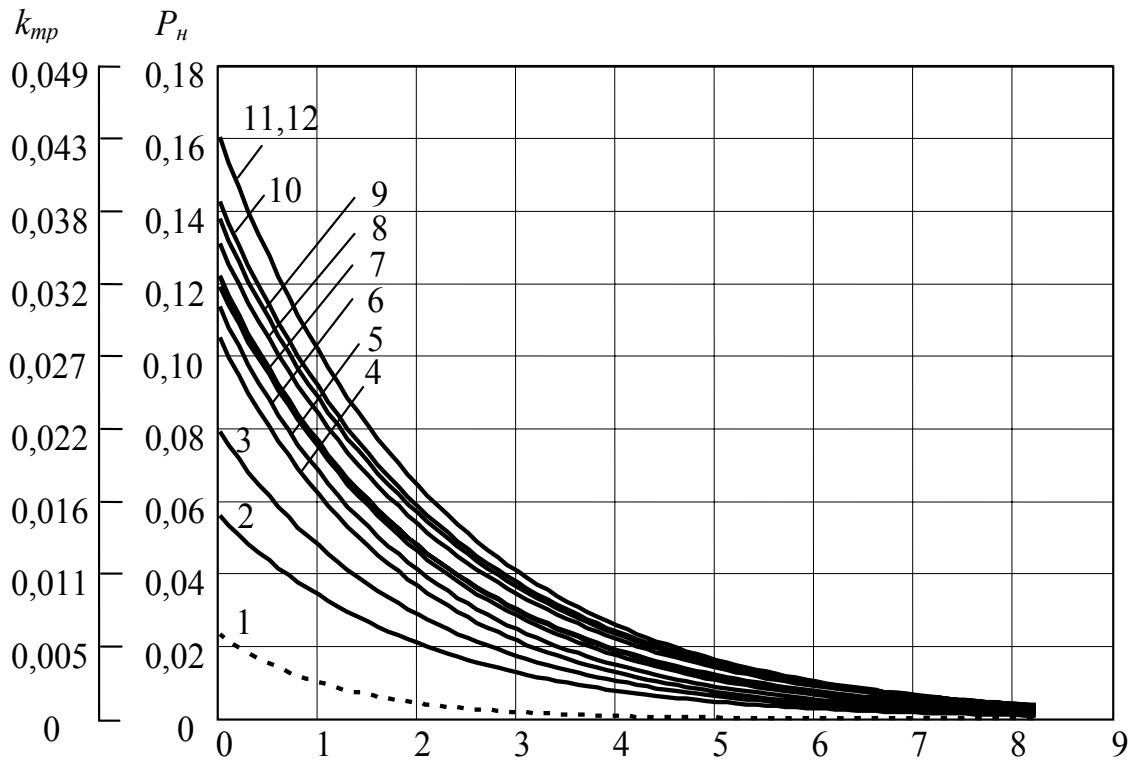


Рис. 6. Зависимости показателя относительной неоднородности  $P_n$  и коэффициента трещиноватости  $k_{mp}$  от глубины  $l$  шпура, расположенного в кровле выработки на расстоянии от забоя: 2 – 2,8 м; 3 – 5,6 м; 4 – 11,9 м; 5 – 17,5 м; 6 – 23,8 м; 7 – 28 м; 8 – 30,8 м; 9 – 44,1 м; 10 – 57,4 м; 11 – 74,2 м; 12 – 189 м; 1 – прогнозная линия для плоскости забоя

На рис. 6 показаны рассчитанные зависимости показателя относительной неоднородности  $P_n$  и коэффициента трещиноватости  $k_{mp}$  от глубины  $l$  шпура,

расположенного в кровле выработки на различных расстояниях от забоя.

Построенные графики зависимостей близки по форме к графикам убывающей экспоненциальной функции и могут быть аппроксимированы выражением вида:

$$k_{mp} = b \cdot \exp(-c \cdot l) \quad (4)$$

где  $b, c$  – эмпирические коэффициенты.

Полученные зависимости могут быть использованы для построения картин распределения коэффициента трещинной пустотности вокруг проводимой выработки с целью осуществления текущего прогнозирования состояния выработки в соответствии с методикой, изложенной в работе [2].

### *Литература*

1. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
2. Бабиюк Г.В., Диденко М.А. Прогнозирование проявлений горного давления при проведении выработок // Сб. «Разработка рудных месторождений» Криворожского технического университета. – 2004. – №85 – С. 176-179
3. Бабиюк Г.В., Диденко М.А. Моделирование на ЭВМ зоны неупругих деформаций пород вокруг проводимой выработки // Прогрессивные технологии строительства, безопасности и реструктуризации горных предприятий: материалы региональной научно-практической школы-семинара. – Донецк: Норд-Пресс, 2006. – С. 216-224
4. Касьянов В.А. Исследование и разработка электроемкостного метода измерения трещиноватости пород вокруг горных выработок. Автореф. дисс. канд техн. наук. – Алчевск, 1997.
5. А.с. 1631482 СССР, МКИ G 01 V 3/06. Электроемкостный зонд / Литвинский Г.Г., Касьянов В.А. (СССР). – №4478948/25: Заявлено 2.09.88; Оpubл. 28.02.91, Бюл. №8.

УДК 622.257

## **РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ АНКЕРНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ КРЕПИ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЖГУТОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

***А.В. Чесноков, В.В. Чесноков, Л.Г. Косоногова, Ю.П. Должиков,  
Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля, г. Луганск***

Крепление горных выработок и поддержание их в рабочем состоянии в период эксплуатации шахт является одним из основных и очень важных производственных процессов при подземной добыче угля, без которого

невозможна безопасная и производительная работа шахтеров, нормальная работа шахты в целом [1].

Трудоемкость подготовительных работ составляет в настоящее время 18-19 % общей трудоемкости подземных работ и около 50 % трудоемкости очистных работ. Одним из направлений снижения затрат на крепление горных выработок, а также увеличения темпов их проведения является широкое внедрение в соответствующих горно-геологических и горнотехнических условиях анкерной крепи.

На шахтах Украины используются металлические анкера с механическим закреплением в породах: типа ШК-1м, АК-8, АД-1, АР-2 и ШК-3 принятых Министерством в качестве основных для серийного производства и промышленного применения [2]. В настоящий момент альтернативным материалом для изготовления анкеров является композиционный материал (КМ). Преимуществом КМ анкерной крепи является отсутствие сопротивления режущему инструменту исполнительного органа выемочных или проходческих машин.

Несущая способность анкерной крепи зависит как от прочности анкера, так и от надежности закрепления его в скважине. Если идти по пути создания высокопрочного полимерного несущего стержня, как основы анкерной крепи, то вопрос о креплении его в скважине горной породы приобретает большое значение.

Существующие технологии изготовления анкеров в виде стержня с однонаправленной волокнистой арматурой требуют повышенного расхода КМ. Поэтому, целью данной работы является разработка новой конструкции анкерной крепи, анализ ее элементов и проектирование необходимого оборудования для изготовления опытной партии анкеров из КМ.

Предлагаемая конструкция анкера состоит из плетеной трубчатой штанги с вплетаемым фитингом у торца. Фитинг выполнен с осевым резьбовым отверстием, в которое вкручивается болт, обеспечивая необходимое усилие натяжения анкера.

Штанга анкера выполнена плетеной, из жгутов, так как этот способ обеспечивает равномерное распределение армирующего материала по поверхности, стабильность толщины стенки и хорошее соединение с различными законцовочными фитингами. Поскольку в таком изделии армирующие жгуты наносимого слоя переплетены, то ячеистая структура позволяет локализовать повреждение, повысить надежность конструкции из КМ. Ячеистая структура также обеспечивает хорошее сцепление с закрепляющими составами. В качестве армирующего материала, на основании анализа литературных источников [3], выбран стекложгут, как материал имеющий наиболее оптимальное соотношение

цены и прочности. Плетеный слой состоит из переплетаемых жгутов под заданным углом (рис. 1), для повышения несущей способности между оплеточными жгутами располагаются продольные жгуты. Усилие, выдерживаемое, жгутом продольной арматуры определяется, по формуле:

$$P_B^{KM} = \frac{T \sigma_{вр}}{10^3 \cdot \gamma_B}$$

где  $T$  - линейная плотность используемого жгута, для стекложгута марки ЖС  $T = 1300$  Текс;

$\sigma_{вр}$  - предел прочности на растяжение стекложгута,  $\sigma_{вр} = 1800$  МПа;

$\gamma_B$  - удельный вес стекловолокна,  $\gamma_B = 2,58 \frac{\text{Гр.}}{\text{см}^3}$ .

Усилие, выдерживаемое жгутом расположенным под углом  $\alpha$  к оси анкера будет равно:

$$P_B^{KM'} = P_B^{KM} \cos \alpha$$

Угол переплетения жгутов  $\alpha$ , выбираем равным  $30^\circ$ , исходя из рациональных размеров ячейки.

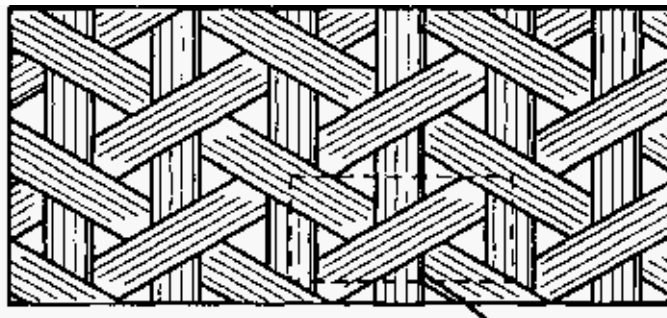


Рис. 1. Структура плетеного слоя

Для определения количества жгутов продольной и оплеточной арматуры произведен расчет несущей способности штанги из условия, что она должна быть не ниже чем у стального стержня  $d = \varnothing 20$  мм.

Сила, выдерживаемая стальной штангой:

$$P_{ст} = \sigma_T \frac{\pi d^2}{4},$$

где  $\sigma_T$  - напряжение текучести для стали, ст.3  $\sigma_T = 240$  МПа.

В результате условие принимает вид:

$$P_{ст} = P_B^{KM} (n + k \cos \alpha), \quad (1)$$

где  $n$  - количество продольных жгутов;

$k$  - количество оплеточных жгутов.

Для плетения штанги спроектирована плетельно-пултрузионная машина. Принципиальная схема машины и расположения технологического оборудования для реализации непрерывного процесса изготовления трубчатых изделий составлена по подобию типовой схемы пултрузионного процесса формования

профильных изделий из однонаправленных КМ [4]. Дополнительно в состав машины включены элементы оборудования и оснастка, которые обеспечивают проведение необходимых технологических операций и позволяют получить изделия заданной структуры. В качестве принципиальной схемы технологического процесса получения изделий силового назначения из КМ предлагается использовать схему, представленную на рис 2.

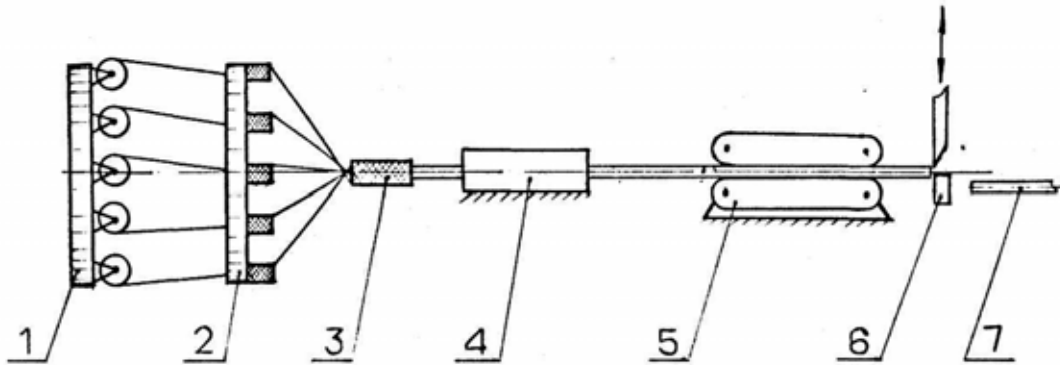


Рис. 2. Принципиальная схема плетельно-пултрузионной машины:  
 1 - шпулярник; 2 - оплеточное устройство; 3 - узел пропитки; 4 – узел отверждения; 5 - тянущее устройство; 6 - отрезное устройство;  
 7 - готовое изделие

На плетельно-пултрузионной машине осуществляется непрерывный технологический процесс изготовления плетённых анкерных штанг.

Наиболее сложным узлом машины является оплеточное устройство 2, которое содержит две группы веретен, несущих паковки со жгутами. Веретена перемещаются по круговым волнообразным траекториям, причем одна группа перемещается по часовой стрелке, а другая – против. Жгуты, сходящие с веретен левого направления, попеременно проходят под и над жгутами, сходящими с веретен правого направления движения.

Для реализации схемы армирования (рис. 1) с продольной арматурой к оплёточному устройству добавляется группа неподвижных веретен установленных в шпулярнике 1. Жгуты сматываются со шпулярника 1 и поступая сквозь отверстия в оплеточном устройстве переплетаются и подаются в узел пропитки 3, являясь продольной арматурой. Каждая ромбическая ячейка структуры материала содержит продольную прядь, которая располагается вдоль оси штанги, а две наклонные пряди попеременно проходят под и над продольными жгутами (рис. 1). Исходя из прочности штанги, количество жгутов в продольных прядях может варьироваться.

Устройство может иметь либо независимый от осевой подачи изделия привод, либо общий, где вращение веретен и подача изделия взаимосвязаны.

Количество подвижных веретен определяется исходя из размеров сечения изделия, требований, предъявляемых к раскладке арматуры, и ее вида. В разработанном типоразмере машины 20 веретен, из них 10 совершают движения



по часовой стрелке, а 10 – против. Количество неподвижных веретен с осевой арматурой – 20, при этом каждое из них может содержать несколько жгутов. Диаметр окружности центров вращения шестерен 620 мм выбран конструктивно. Скорость движения веретен с оплеточной арматурой 5-10 об/мин.

Узел пропитки служит для равномерного нанесения связующего на жгуты и отжима излишков связующего с пропитанных жгутов.

Узел отверждения 4 представляет собой разъемную металлическую форму, с встроенными нагревательными элементами. Длина камеры зависит от сечения штанги, типа связующего, скорости протяжки и варьируется в пределах 300...1500 мм. Рабочий канал должен иметь форму сечения, соответствующую сечению формуемой штанги. Входная часть выполняется с закругленными краями для предотвращения повреждения волокон жгутов.

Непрерывное движение формуемой штанги осуществляется тянущим устройством 5, которое выполнено в виде двух пар зажимных захватов, имеющих возвратно-поступательные движения. При этом один захват прижимается к другому посредством гидравлического привода в момент, когда штанга находится между ними. В то время, пока одна пара захватов осуществляет перемещение формуемой штанги на заданную длину, вторая выполняет холостой ход – возвращается в исходное положение. Для обеспечения безостановочного движения, холостой ход выполняется с большей скоростью, чем рабочий и зажим второй пары захватов производится прежде, чем произойдет разжим первой пары захватов.

Отрезное устройство выполнено в виде модуля с абразивным режущим инструментом. Для качественной отрезки готового изделия 7 во время реза модуль перемещается со скоростью изделия.

Все описанные устройства объединены в одну технологическую линию для реализации непрерывного технологического процесса производства изделий из КМ плетельно-пултрузионным методом.

Изготовленная экспериментальная установка представлена на рисунке 3. Движение полуфабриката на рис. 3 осуществляется с права налево.

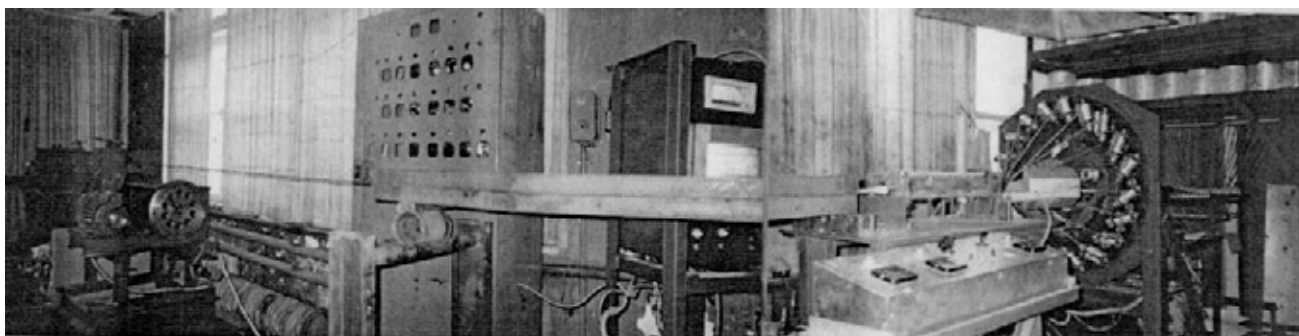


Рис. 3. Общий вид технологической установки изготовления изделий плетельно-пултрузионным методом.

Фитинг служит для крепления трубчатой штанги с крепью. Разработано

несколько конструкций фитингов: в виде втулки на боковой поверхности которой располагаются металлические шипы конической формы; в виде металлической втулки, на боковой поверхности которой располагается винтовой выступ треугольной формы. Авторами предложена новая конструкция фитинга (рис. 4) в виде металлической втулки с резьбовым отверстием, на наружной поверхности которой расположены продольные пазы для продольных жгутов и винтовые канавки треугольного сечения левого и правого направлений для оплеточных жгутов. В этом случае плетение по поверхности, содержащей такие канавки под жгуты, автоматически обеспечивает расположение армирующего материала в канавках, не вызывая при этом повреждения и искривления волокон. Получаемые соединения (рис. 5) технологичны и имеют повышенную прочность в сравнении с традиционными.

Для подкрепления соединения фитинга со штангой на поверхности соединения может быть нанесена кольцевая обмотка, дающая более высокую степень обжатия жгутов к фитингу. Изготовленное обмоточное устройство представлено на рис. 6.

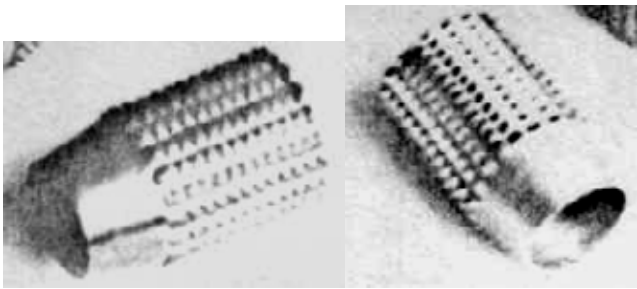


Рис. 4. Фитинг

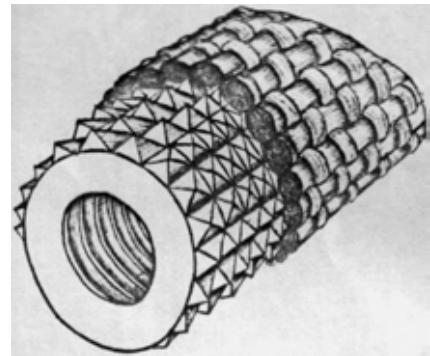


Рис. 5. Соединение фитинга со штангой

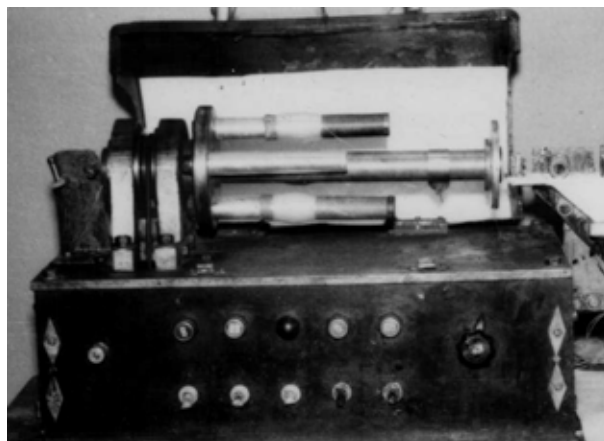


Рис. 6. Обмоточное устройство

Изготовленное оборудование находится в лаборатории неметаллических материалов для транспортных средств НАН Украины, Восточноевропейского национального университета им. В. Даля и позволяет наладить опытное производство анкеров, предлагаемой конструкции.

Размеры анкера, предлагаемой конструкции, выбраны для совместимости с серийно-выпускаемыми анкерами и стандартным буровым инструментом. Длина анкера 2 метра, наружный диаметр 38 мм. Количество жгутов оплёточной арматуры выбрано минимальным из параметров оплёточного устройства  $k = 20$ , количество продольной арматуры рассчитано по формуле (1) и принято  $n = 70$ , при таком количестве жгутов и связующего, средняя толщина стенки штанги примерно равна 2,8 мм. Фитинг, описанной конструкции, имеет резьбовое отверстие М24, что соответствует условию равнопрочности конструкции анкера. Верхний край штанги деформирован для получения скоса. Скос используется для разрыва пакета и смешивания компонентов ампул со связующим.

Предлагаемая конструкция анкера сравнивалась с серийно выпускаемыми анкерами равной несущей способности. По сравнению с полимерным стержневым анкером  $\varnothing 20$  мм в 3,2 раза уменьшено количество армирующего материала. По сравнению с металлическим анкером  $\varnothing 20$  мм в 10 раз уменьшен вес.

Технология закрепления анкера не отличается от разработанной: в пробуренную скважину вставляется пакет с химическим составом и вслед за ним анкер, к анкеру прикладывают осевую силу и вращающий момент, при вращении анкер разрывает пакет и перемешивает компоненты, которые постепенно заполняют зазор между штангой и скважиной. После отверждения связующего за резьбовое отверстие крепят свод.

Закрепление анкера в породах может осуществляться промышленно выпускаемыми ампулами с химическими составами на основе смол.

Спроектированное оборудование универсально, позволяет изготавливать штанги и другого диаметра, при уменьшении диаметра штанги возможно изменение конструкции фитинга из втулки с внутренней резьбой, в валик с наружной резьбой для крепления кровли.

Выводы. Предложена новая конструкция анкера на основе волокнистых высокопрочных жгутов. Конструкция предложенного анкера позволила уменьшить в 3,2 раза расход КМ без потери несущей способности. Проанализированы элементы предлагаемой конструкции, произведен расчет основных ее параметров. Это позволило сформулировать требования к оборудованию спроектировать и изготовить его. Изготовленное оборудование позволяет наладить опытное производство анкеров для проведения испытаний в реальных условиях эксплуатации.

### *Литература*

1. Мельников Н.И. Анкерная крепь. - М.: Недра, 1980. - 252 с.
2. Отраслевая инструкция по применению металлических, сборных железобетонных и анкерных крепей в подготовительных выработках угольных и сланцевых шахт. - М.: ИГД им. А.А. Скочинского. 1973. – 80 с.
3. Основы механики и технологии композиционных материалов / Фрегер Г.Е., Игнатьев Б.Б., Чесноков В.В., и др.: Учебное пособие. – К.: Аристей, 2004. – 524 с.

4. Терентьева М.И., Ильин В.В. Изготовление деталей из композиционных материалов пултрузией // В сб.: Техника, экономика, информация / Техника и технология. – 1985. – Вып. 1. – С. 3 – 11.

УДК 622.258

## **К ВОПРОСУ ОБ УВЕЛИЧЕНИИ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ МОНОЛИТНОЙ БЕТОННОЙ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА**

*С.В. Борщевский, А.А. Дрюк, А.Ж. Сирачев,  
ДонНТУ, г. Донецк*

Вертикальные стволы, отнесены к первому классу горных выработок по важности [1], так как их отказ в работе приводит к остановке работы всей шахты. Поэтому эксплуатационная надежность стволов должна быть высокой, а принимаемые конструктивно технические решения по креплению и управлению горным давлением должны обеспечить безремонтную их эксплуатацию.

На наш взгляд, будущее, что подтверждается и зарубежным опытом (ЮАР), за стволами больших диаметров (8...10м), когда стволы при наличии перемычек могут быть одновременно и вентиляционными и воздухоподающими. В общем случае зависимость скорости проходки стволов ( $V$ ) от влияющих факторов может быть представлена в виде феноменологической формулы:

$$V=f(H, D, q_1, q_2, Q, R_t, \delta, N), \quad (1)$$

где  $H$  – глубина ствола;

$D$  – диаметр ствола в свету;

$q_1, q_2$  – относительные показатели мощности подъемных и погрузочных средств;

$Q$  – приток воды в ствол;

$R_t$  - приведенная реологическая прочность пород, МПа;

$\delta$  - толщина бетонной крепи;

$N$  – число людей, работающих в забое.

При сооружении подобных стволов имеется ряд специфических проблем и особенностей, которые уже проявились на шахте «Красноармейская - Западная №1» и им.А.Ф. Засядько.

Под влиянием воды понижаются прочностные и повышаются реологические свойства приконтурных пород, к примеру, представленных на ВПС №2 ш.А.Ф.Засядько в основном аргиллитами и песчаниками подверженными

размоканию. Согласно геологическим характеристикам, на ВПС №2 происходит снижение прочности песчаников за счет водонасыщения в 2,5...3,0 раза (63,0...20,0МПа), что соответствует снижению крепости пород забоя по шкале Протодяконова с 6 до 2 и влечет за собой значительные объемы вывалообразования, а при малых водопритоках на ВВС №2 реологическая прочность песчаников достаточно высока и колеблется в пределах 65...95МПа, т.е. стенки ствола устойчивые, вывалообразование минимальное. Наряду с усиленным вывалообразованием на ВПС №2 ввиду слабых размокших пород, устойчивость стен ствола с увеличением диаметра уменьшается из-за того, что большой диаметр создает большие плоскости обнажения. При этом забой, представляющий собой в плане многоугольник, на малых диаметрах имеет меньшую длину граней, которые более аппроксимированы к кругу, и, следовательно, стенки ствола более устойчивы.

Обильные водопритоки на ВПС №2 не просто осложняли организацию работ, но исходя из того, что сооружение ствола приводит к изменению водообмена в водоносных горизонтах, вызванного дренирующим влиянием формирующейся полости ствола, провоцируется развитие в продуктивной толще новых областей гидроразгрузки зон водопонижения, в результате чего водоприток в ствол интенсифицируется, прочность пород и, особенно, устойчивость обнаженных стен забоя ствола падают, а это, в свою очередь, приводит к вывалам и удлинению во времени II фазы уборки породы, когда разлагающиеся песчаники размягчаются до «тестообразного» состояния. По данным ГОАО «Трест Донецкшахтопроходка» [2] влияние водопритоков более 15м<sup>3</sup>/час на скорость проходки составляет 15...20% (рис.1).

Вопросы разработки ресурсосберегающих технологий проходки вертикальных стволов в условиях повышенных водопритоков неразрывно связаны с решением ряда сложных технических и технологических задач уже на этапе составления проектов производства работ, до начала самой проходки.

При этом существует несколько направлений такого решения: тампонаж горных пород с поверхности по периметру будущего ствола в соответствии с данными геологоразведки; тампонаж из забоя ствола при подходе к водоносным горизонтам и организация водопритоков как в приконтурном массиве, так и по стволу. К сожалению, в этом вопросе еще нет единого мнения. В последние годы нашими учеными и практиками совместно с ПО «Спецтампонажгеология» отработана технология комплексного метода тампонажа пород с целью охраны стволов [3], в котором гидроизоляция водоносных горизонтов осуществляется с поверхности через наклонно-направленные скважины.

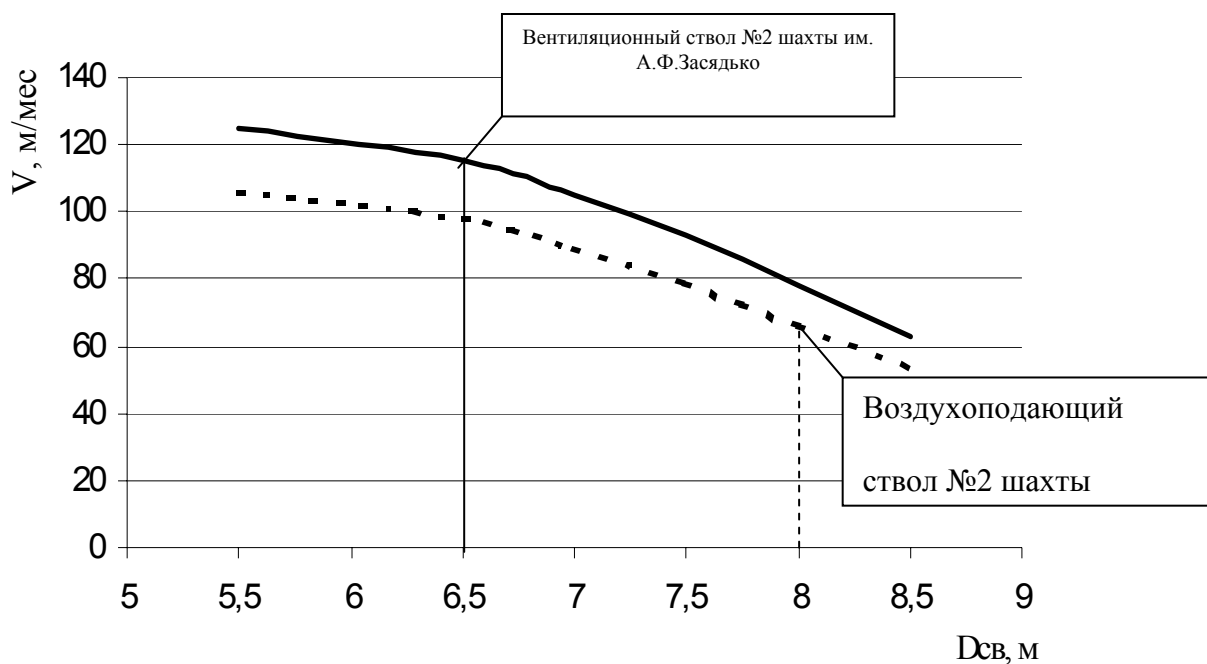


Рис. 1. Графики зависимости расчетной скорости проходки ствол от его диаметра в свету:

\_\_\_\_\_ - при водопитоках до 6м<sup>3</sup>/час;  
 ----- - при водопитоках более 15м<sup>3</sup>/час.

Создано новое научное направление по физико-механике тампонирования трещиноватых, пористых и нарушенных пород (Кипко Э.Я., Полозов Ю.А., Фотиева Н.Н., Должиков П.Н., Трупаков Н.Г. и др.). Первые два направления широко применяются в шахтопроходческой практике, а организации водопритоков уделяется очень мало внимания, а ведь в этом кроются большие резервы и перспективы. Одним из элементов является создание высокопрочной гидравлически стойкой монолитной крепи вертикального ствола, в которой учтены «узкие места», а именно:

- стыковка старого бетона с новым при выполнении работ по возведению монолитной бетонной крепи стволов;
- увеличение гидростойкости бетонной крепи в процессе изготовления бетона при помощи всевозможных химических добавок;
- обеспечение водонепроницаемости, защиты и улучшения свойств бетонной крепи после набора бетоном проектной прочности за счет обмазочной гидроизоляции;
- создания системы «породный массив-гидроизоляция-крепь» за счет обмазочной или торкрет-бетонной изоляции обнаженного породного массива и добавок в бетон в процессе его изготовления и укладки за опалубку.

Этим направлениям и посвящены наши разработки. Прежде всего, необходимо уточнить, что понимать под определением «высокопрочный и гидростойкий бетон». Создание высокопрочного бетона осуществляется в

основном за счет повышения активности цемента и применения более совершенной технологии изготовления бетона. При этом совершенно не учитываются реологические свойства компонентов, входящих в состав бетонной смеси на прочностные характеристики бетона [4]. Так, немецкий исследователь А. Хуммель предлагал считать высокопрочным бетон прочностью в 70 МПа и выше [5]. С.А. Миронов считал высокопрочными бетоны марок 300...500 [4]; А.Е. Десов, В.М. Москвин и Б.Г. Скрамтаев предлагали считать бетоны высокопрочными, если предел их прочности при сжатии выше 60 МПа и, кроме того, другие показатели (прочность при растяжении, морозостойкость) должны быть, по их мнению, также соответственно высоки [6]. Международная комиссия по высокопрочному бетону предлагает считать высокопрочными бетоны прочностью выше 100 МПа. Можно было бы продолжить подобные примеры, однако разница будет только в предлагаемой цифре — марке бетона, определяющей понятие «высокопрочный». Таким образом, несмотря на различие в величине прочности бетона, все эти предложения объединяет одно: в качестве определяющего фактора принимается лишь показатель марочной прочности бетона.

По нашему мнению, это не совсем верно, так как количественные характеристики прочности не учитывают целого ряда особенностей высокопрочных бетонов, качественно отличающих их от обычных. Поэтому, несмотря на одинаковую прочность, следует отдать предпочтение бетону более плотному, и, следовательно, более морозостойкому, водонепроницаемому и долговечному. Однако следует учитывать тот факт, что приготовить и уложить такой бетон гораздо труднее.

Связывать понятие о высокопрочном гидростойком бетоне с конкретными показателями его прочности без учета марки исходного цемента и технологии приготовления бетона принципиально неверно, так как при этом искажается сам смысл термина «высокопрочный бетон». В это понятие, по нашему мнению, следует вкладывать физический смысл, а не регламентировать его цифровыми различиями. Высокопрочные бетоны следует рассматривать так же как и «высокоплотные».

Работа проводилась в направлении установления доли вклада химических добавок и цементосодержащих гидростойких расширяющихся смесей для гидроизоляции тела бетонной крепи вертикальных стволов и стыков бетонной крепи по методике Донецкого Промстройниипроекта [7]. Для этого выполнялось сравнительное испытание стандартных бетонных образцов, полученных во время возведения монолитной бетонной крепи скипового ствола ш. «Красноармейская-Западная №1» на поверхности путем отбора в приствольном БРУ и после прохода бетонной смеси по бетонопроводу непосредственно в забое ствола. Прочность контрольных бетонных образцов на сжатие определялась на образцах размером 10x10x10 см по ГОСТ 10180-90 "Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам". Испытания проводились на прессе П-125 в стройлаборатории кафедры «Строительство шахт и подземных сооружений» Донецкого национального технического университета. В продолжение ранее

проведенных исследований по влиянию реологических характеристик заполнителей бетона [4], выполнялись сравнительные испытания образцов обычного тяжелого бетона, образцов этого же бетона с нанесением на их поверхность гидроизоляционного состава «SLURRY» и образцов бетона с введением в его состав добавки «SLURRY ADMIX» СПД - ФЛ Али Фарадж, а также сухой цементной смеси «Пенетрон» [8] для выяснения влияния этих смесей на повышение гидростойкости бетона.

Для сравнительных испытаний перечисленных бетонов приготавливались бетонные смеси. Компонентами бетонных смесей являлись портландцемент марки М400 производства ОАО Краматорского цементно-шиферного комбината "ПУШКА", щебень гранитный фракции 5...20 мм Караньского карьера, песок кварцевый Краснолиманского месторождения, материал химической обработки для обеспечения водонепроницаемости, защиты и улучшения свойств бетонов добавкой «SLURRY ADMIX» в количестве 1,5% от массы цемента.

Расход компонентов в кг на 1 м<sup>3</sup> бетона составлял:

Портландцемент М400	- 450 кг;
Щебень гранитный фр. 5...20 мм	- 1220 кг;
Песок Краснолиманский	- 580 кг;
Вода	- 200 л;
Добавка «SLURRY ADMIX»	- 7 кг.

Такой же расход компонентов, но без добавки имел контрольный состав бетона и состав для нанесения на поверхность состава «SLURRY».

Нанесение состава «SLURRY» на поверхность бетонных образцов производилось в соответствии с "Инструкцией по применению гидроизоляционного состава «SLURRY». Состав «SLURRY» применялся в виде жидкого водного раствора, включающего 3 части сухого состава «SLURRY» на 2 части воды. Бетонная поверхность образцов перед нанесением состава «SLURRY» увлажнялась.

Добавка «SLURRY ADMIX» применялся в соответствии с "Инструкцией по применению добавки «SLURRY ADMIX»".

Добавка «SLURRY ADMIX» добавлялась в бетонную смесь в количестве 1,5% от массы цемента, необходимого на замес.

Расчетное количество сухой добавки «SLURRY ADMIX» перемешивалось с песком, щебнем и частью воды затворения, затем в смесь добавлялись цемент и остальное количество воды и снова составляющие тщательно перемешивались.

Из приготовленных бетонных смесей изготавливались стандартные образцы для изучения следующих показателей бетонов: прочности на сжатие и водонепроницаемости.

Все образцы подвергались пропариванию в лабораторной пропарочной камере по режиму 4+4+8+3 при температуре изотермического прогрева +85°С.

Для приведения прочности бетона в образцах размером 10x10x10 см к прочности бетона в образцах базового размера применялся коэффициент 0,95.

Результаты испытаний образцов бетона на прочность при сжатии приведены в табл. 1.



## Результаты испытаний образцов бетона на прочность

Вид бетона	№ п/п	Размеры образцов, см	Масса образцов, г	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности на сжатие, МПа	
				ед.	среднее		един.	среднее
Обычный тяжелый	1	10x10x10	2419	2420	2422	371250	34,32	34,68
	2	10x10,1x10	2446	2422		368750	34,68	
	3	10x10x10,1	2449	2425		372500	34,43	
Обычный тяжелый с поверхностью, покрытой «SLURRY»	1	9,9x10x10	2426	2450	2437	385000	36,94	37,86
	2	10x10,1x10	2456	2432		402500	38,62	
	3	10x10,1x10,1	2479	2430		396250	38,02	
Обычный тяжелый с добавкой «SLURRY ADMIX»	1	10x9,9x10,1	2427	2427	2431	417000	39,96	39,81
	2	10x10,1x10	2454	2430		409750	39,27	
	3	10x10,1x10,1	2484	2435		426500	40,21	
Обычный тяжелый с поверхностью, покрытой «Пенетрон»	1	10x10x10	2420	2420	2422	375000	35,94	36,59
	2	10x10,1x10	2446	2422		382500	36,76	
	3	10x10x10,1	2449	2425		386250	37,07	
Обычный тяжелый с добавкой «Пенетрон»	1	9,9x10x10	2416	2440	2434	395000	37,95	38,98
	2	10x10,1x10	2456	2432		406750	38,98	
	3	10x10,1x10,1	2479	2430		417500	40,01	

Испытание бетонных образцов на водонепроницаемость производилось ускоренным методом в соответствии с ГОСТ 12730.5-84\* "Бетоны. Методы определения водонепроницаемости" с использованием фильтратометра ФМ-3 по методике, изложенной в "Руководстве по эксплуатации фильтратометра ФМ-3 и методу определения водонепроницаемости бетона", г. Донецк, 1985 год.

Фильтратометр устанавливали на нижнюю (при формовании) поверхность образца и закрепляли. Затем поднимали давление воды в камере фильтратометра до 10 МПа вращением ручки насоса и оценивали скорость падения давления. При медленном падении давления отмечали положение ручки насоса, а время соответствующее этому моменту принимали за начало испытания.

Ручкой насоса делали шесть полных оборотов, поддерживая давление в пределах  $(10 \pm 5)$  МПа и испытания прекращали. Это время принимали за окончание испытания.

По числу оборотов определяли вес воды, поглощенной бетоном, из расчета, что один полный оборот ручки насоса равен  $9,63 \cdot 10^{-3}$  Н, а так же измеряли диаметр затемненного круга  $D$ .

Коэффициент фильтрации бетона  $K_f$  (см/с) определяли по формуле:

$$K_f = (m \cdot \delta^2 / 240 \cdot \tau \cdot P)^{1,31} \quad (2)$$

где:  $m$  — коэффициент водопоглощения, Н/см<sup>3</sup>;

$\delta$  — путь фильтрации, равный  $D/2$ , см;

$\tau$  - время испытания образцов, см;

$P$  — избыточное давление в фильтратометре, МПа.

Коэффициент водопоглощения  $M$  определяли по формуле:

$$M = \frac{Q}{1,08 \cdot V} \quad (3)$$

где:

$Q$  - вес воды поглощенной бетоном, Н;

$V$  - объем бетона, насыщенного водой.

$$V = \frac{\pi \cdot D^3}{12} \quad (4)$$

Среднее значение коэффициента фильтрации бетона определяли по данным шести испытаний.

Результаты испытаний на водонепроницаемость приведены в табл. 2.

Таким образом, в результате испытаний установлено, что применение состава «SLURRY» для нанесения его на поверхность бетона увеличивает прочность последнего на 9,17%, водонепроницаемость увеличилась с марки W6 до марки W20.

Бетон с добавкой «SLURRY ADMIX» по сравнению с бетоном без добавки увеличил прочность на 14,79%, водонепроницаемость бетона увеличилась с марки W6 до марки W16.

Из таблиц 1,2 следует, что покрытие поверхности бетона составом «Пенетрон» увеличивает его прочность при сжатии на 5,51%, водонепроницаемость бетона увеличилась с марки W6 до марки W16. Бетон же с добавкой «Пенетрон» увеличивает его прочность на 12,39% по сравнению с прочностью бетонов, где эти добавки не применяются, водонепроницаемость увеличилась с марки W6 до марки W20.

Таблица 2

## Результаты испытаний образцов бетона на водонепроницаемость

Вид бетона	№ образцов	Коэффициент фильтрации бетона, см/с	Среднее значение	Марка бетона по водонепроницаемости	Среднее значение
1	2	3	4	5	6
Обычный тяжелый	1	$2,34 \cdot 10^{-9}$	$1,74 \cdot 10^{-9}$	W4	W6
	2	$1,38 \cdot 10^{-9}$		W6	
	3	$1,44 \cdot 10^{-9}$		W6	
	4	$2,1 \cdot 10^{-9}$		W4	
	5	$1,24 \cdot 10^{-9}$		W6	
	6	$1,9 \cdot 10^{-9}$		W6	
Обычный тяжелый с поверхностью, покрытой «SLURRY»	1	$0,42 \cdot 10^{-11}$	$0,52 \cdot 10^{-11}$	W20	W20
	2	$0,34 \cdot 10^{-11}$		W20	
	3	$1,07 \cdot 10^{-11}$		W16	
	4	$0,41 \cdot 10^{-11}$		W20	
	5	$0,36 \cdot 10^{-11}$		W20	
	6	$0,47 \cdot 10^{-11}$		W20	
Обычный тяжелый с добавкой «SLURRY ADMIX»	1	$3,17 \cdot 10^{-11}$	$2,17 \cdot 10^{-11}$	W16	W16
	2	$1,56 \cdot 10^{-11}$		W12	
	3	$3,22 \cdot 10^{-11}$		W16	
	4	$2,17 \cdot 10^{-11}$		W16	
	5	$1,14 \cdot 10^{-11}$		W12	
	6	$1,77 \cdot 10^{-11}$		W16	
Обычный тяжелый с поверхностью, покрытой «Пенетрон»	1	$2,97 \cdot 10^{-11}$	$2,05 \cdot 10^{-11}$	W16	W16
	2	$1,56 \cdot 10^{-11}$		W12	
	3	$2,89 \cdot 10^{-11}$		W16	
	4	$2,07 \cdot 10^{-11}$		W16	
	5	$1,24 \cdot 10^{-11}$		W18	
	6	$1,67 \cdot 10^{-11}$		W16	
Обычный тяжелый с добавкой «Пенетрон»	1	$0,40 \cdot 10^{-11}$	$0,51 \cdot 10^{-11}$	W20	W20
	2	$0,36 \cdot 10^{-11}$		W20	
	3	$1,08 \cdot 10^{-11}$		W18	
	4	$0,38 \cdot 10^{-11}$		W20	
	5	$0,36 \cdot 10^{-11}$		W20	
	6	$0,47 \cdot 10^{-11}$		W20	

Следовательно, «Пенетрон», состоящий из портландцемента, очень тонко измельченного кремниевого песка и различных активных химических добавок, является уникальным материалом химической обработки для обеспечения водонепроницаемости, защиты и улучшения свойств бетона вертикального ствола.

Эти активные добавки вступают в реакцию с влагой в только что приготовленном бетоне с побочными продуктами гидратации цемента, вызывая каталитическую реакцию, в результате которой создается нерастворимая кристаллическая структура в порах и капиллярных каналах бетона и вмещающих ствол пород. «Пенетрон» становится составной частью бетона, формируя с ним единое целое. Гидроизоляционная и защитная система «Пенетрон» на 100 процентов совместима с бетоном, а кристаллические новообразования «Пенетрона» блокируют проникновение воды. Таким образом, бетон становится герметичным от проникновения воды или жидкостей с любой стороны. Бетон также защищается от коррозии при воздействии окружающей среды (рис.2).

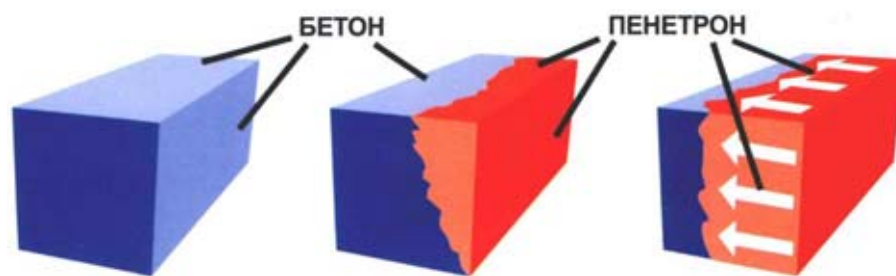


Рис. 2. Схема проникающего действия «Пенетрон»

Для герметизации стыков старого и нового бетона возможно применение «Пенекрита» [8] - цементной водостойкой укрепляющей строительной сухой смеси, применяемой для гидроизоляции стыков и примыканий, швов и трещин, имеющих в бетонных конструкциях. Она состоит из портландцемента, специально обработанного кварцевого песка и набора активных химических элементов. «Пенекрит» является вспомогательным, безусадочным, шовным материалом, однако о применении его в шахтном и подземном строительстве можно говорить только после лабораторной стендовой и шахтной экспериментальной проверки.

Самокритично отметим: пока ещё разнообразие условий строительства стволов не позволило создать универсальный метод изоляции обводненных пород с различными фильтрационными свойствами и надежно защищающий ствол, который бы базировался на единых технологических особенностях и в этом плане нашим специалистам надо много поработать. Представляется, что поиск новых технических решений по креплению стволов в обводненных породах должен ликвидировать недостатки технологии крепления при наличии водопритокков путем возведения заходок временной крепи с нагнетанием тампонажного раствора

и образованием противофильтрационного ограждения перед сооружением крепи постоянной с последующим устройством закрепных гидроизоляционных завес современными материалами. Такие технологии обеспечат существенное снижение трудоемкости работ и повышение качества.

Подчеркивая важность литолого-геомеханических и горнотехнологических характеристик при сооружении стволов, укажем, что базисными здесь являются: масштабность и глубина управляющих воздействий, предопределяемых энергетической компонентой. Это прежде всего извлечение пород при проходке, привнос массы строительных материалов для создания конструкции крепи, перенос потоков воды и растворенных в ней солей за счет её фильтрации через породы и крепи, перераспределение массы пород в связи с деформационными и геофильтрационными процессами вблизи стволов. Интенсивность этих процессов, их взаимосвязь и взаимовлияние возрастает при организациях скоростных проходок – квинтэссенции принятых проектных, технологических и производственных решений.

Это достаточно убедительно прослеживается, например, на выборе видов крепления в увязке с планированием темпов проходки и представлениями о геомеханических процессах, имеющих место в породах вблизи стволов в зависимости от скорости их проведения, с выбором рациональных параметров погрузки породы, ведения БВР, типа и конструкции крепи, места заложения стволов.

### **Выводы**

1. Вопросам организации водопритоков как в приконтурном массиве, так и по стволу при разработке технологий проходки вертикальных стволов необходимо уделять особое внимание.

2. Сооружение стволов больших диаметров требует новых подходов к проектированию как видов крепей, так и их конструкций, совершенствования организации проходки (точный геологический прогноз, повышенная надежность оснащения, усовершенствованные методы водоподавления и водоотлива, уточненная нормативная база). Доказано, что диаметр ствола – это комплексный системный показатель, влияющий на скорость проходки с точки зрения ее организации и учета геомеханических условий.

3. Необходимо максимальное использование новых нетрадиционных материалов и технологий, позволяющих повышать механические свойства бетонной крепи, в том числе их гидроизолирующую способность.

### ***Литература***

1. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи / ВНИМИ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР. – М.: Стройиздат. – 1983. – 272 с.
2. Звягильский Е.Л., Байсаров Л.В., Ильяшов М.А., Новик Е.Б., Левит В.В. Геомеханические и организационные особенности проходки стволов большого диаметра//Уголь Украины, №7. - 2003. – С.3-8.

3. Кипко Э.Я. Исследование и тампонаж обводненных трещиноватых горных пород через скважины, пробуренные с поверхности, при сооружении капитальных горных выработок: Автореф. дис. докт. техн. наук: 05.15.04 / ДГИ. – Днепропетровск. – 1989. – 33с.
4. Шевцов Н.Р., Борщевский С.В., Антонецкий Ю.И., Бабичев В.А., Новиков С.А. Влияние реологических характеристик заполнителей на получение сверхпрочной бетонной крепи.// Наукові праці ДонНТУ. Серія: “Гірничо-геологічна”. Випуск 72. – Донецьк, ДонНТУ, 2004. – С.97-102.
5. Хуммель А. О технологии высокопрочного бетона / Сборник иностранных переводов, 1955. — №2.
6. Миронов С.А., Аробелидзе Г.А. Вопросы технологии высокопрочного бетона. «Бетон и железобетон», 1955. — № 4.
7. Заключение Донецкого Промстройинипроекта о результатах определения основных сравнительных параметров гидроизоляционных составов. Договор №7/110-05 от 12.03.2005г.
8. <http://www.syrina.com>.

УДК 622.831

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КОНВЕЙЕРНОГО ШТРЕКАПРОДОЛЬНО-БАЛОЧНОЙ КРЕПЬЮ УСИЛЕНИЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

*Г.И. Соловьев, С.С. Гребенкин, А.Ф. Толкачев, А.С. Гребенкина, Н.Н. Малышева, Д.Г. Соловьев, Ю.Н. Панфилов, А.П. Ковшевский, шахта им. М.И. Калинина, Донецкая угольная энергетическая компания «Донецкуголь»*

Обеспечение устойчивости подготовительных выработок глубоких шахт остается одной из важнейших проблем подземной угледобычи [1,2].

Сотрудниками ДонНТУ был разработан новый способ поддержания выемочных выработок глубоких шахт [3-5].

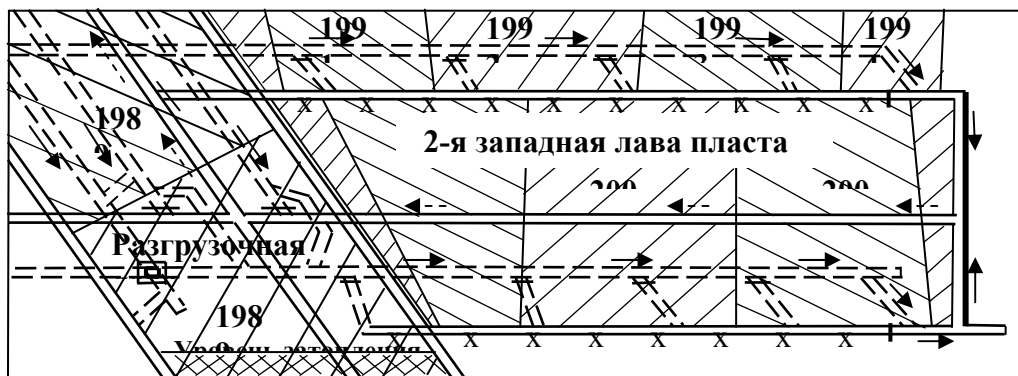


Рис. 1. Схема горных выработок 2-й западной лавы пласта  $h_{10}$  шахты им. М.И. Калинина

Для определения рациональных параметров поддержания выемочных выработок глубоких шахт в зоне влияния очистных работ при сплошной системе разработки на шахте им. М.И.Калинина со середины 2002 г. в конвейерном штреке 2-й западной лавы (рис. 1), а со второй половины 2005 г. в конвейерном штреке 2-й восточной лавы пласта  $h_{10}$  проводилась опытно-промышленная проверка продольно-балочной крепи усиления (рис 2,б, 3).

Пласт  $h_{10}$  «Ливенский» мощностью 1,14–1,3 м и углом падения  $20-23^{\circ}$  отрабатывался на глубине 1280 м. Конвейерный штрек, проходилась буровзрывным способом с опережением лавы на 40-45 м и группировался через 250 – 300 м промежуточными наклонными квершлагами на полевой штрек, проводимый в почве на расстоянии 15 м ниже пласта с отставанием от лавы на 80-100 м. Конвейерный штрек охраняется деревянной чураковой стенкой шириной 1,3 м и бутовой полосой шириной 2 м.

До начала эксперимента конвейерный штрек проходилась завышенным сечением ( $S_{штр}=28,5 \text{ м}^2$ ) с общей высотой выработки 6,2 м. В створе с лавой вертикальные смещения в конвейерном штреке перед лавой на участке длиной 40 м составляли около 2 - 2,5 м, из которых смещения кровли составляли 75-80%. Вслед за лавой на участке длиной 60 – 80 м при поддержании штрека в зоне активных смещений пород в выработанном пространстве вертикальные смещения составляли в среднем около 3 м (смещения кровли составляли примерно 60%) . Таким образом, уже на расстоянии 100 м за лавой появлялась необходимость перекрепления выработки из-за неудовлетворительного состояния комплектов арочной крепи.

Обследование состояния арочной крепи конвейерного штрека показало, что механизм проявления горного давления заключался в интенсивном выдавливании ножек арочной крепи на 0,9 – 1,3 м в выработку со стороны выработанного пространства с разрывом замков крепи (всего их было разорвано около 80%). При этом максимальные вертикальные смещения контура боковых пород наблюдались по напластованию боковых пород со значительными смещениями элементов крепи в замке со стороны массива, заклинивании замков и выдавливании крепи в выработку (рис.2, а).

Анализ визуальных и инструментальных наблюдений показал, что из-за фокусирования повышенных нагрузок на отдельные элементы крепи со стороны массива в кровле пласта происходило образование локальных зон давления, в которых наблюдались интенсивные смещения разуплотненных породных отдельностей (рис.2 а).

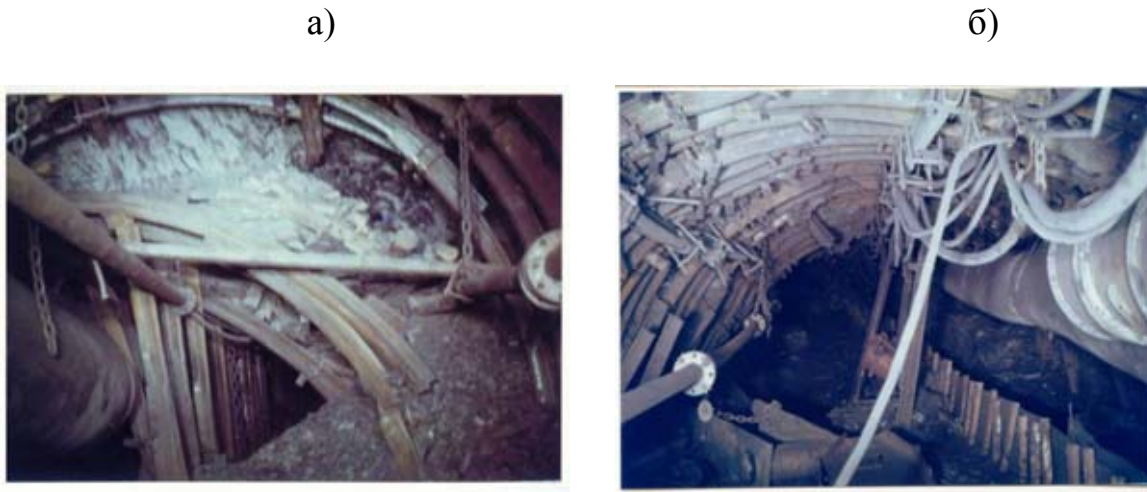


Рис. 2. Состояние конвейерного штрека без крепи усиления (а) при перекреплении выработки на расстоянии 220 м за забоем 2-й западной лавы; и с продольно-жесткой крепью усиления на расстоянии 120 м (б) и при подрывке почвы в 230 м за очистным забоем (в)

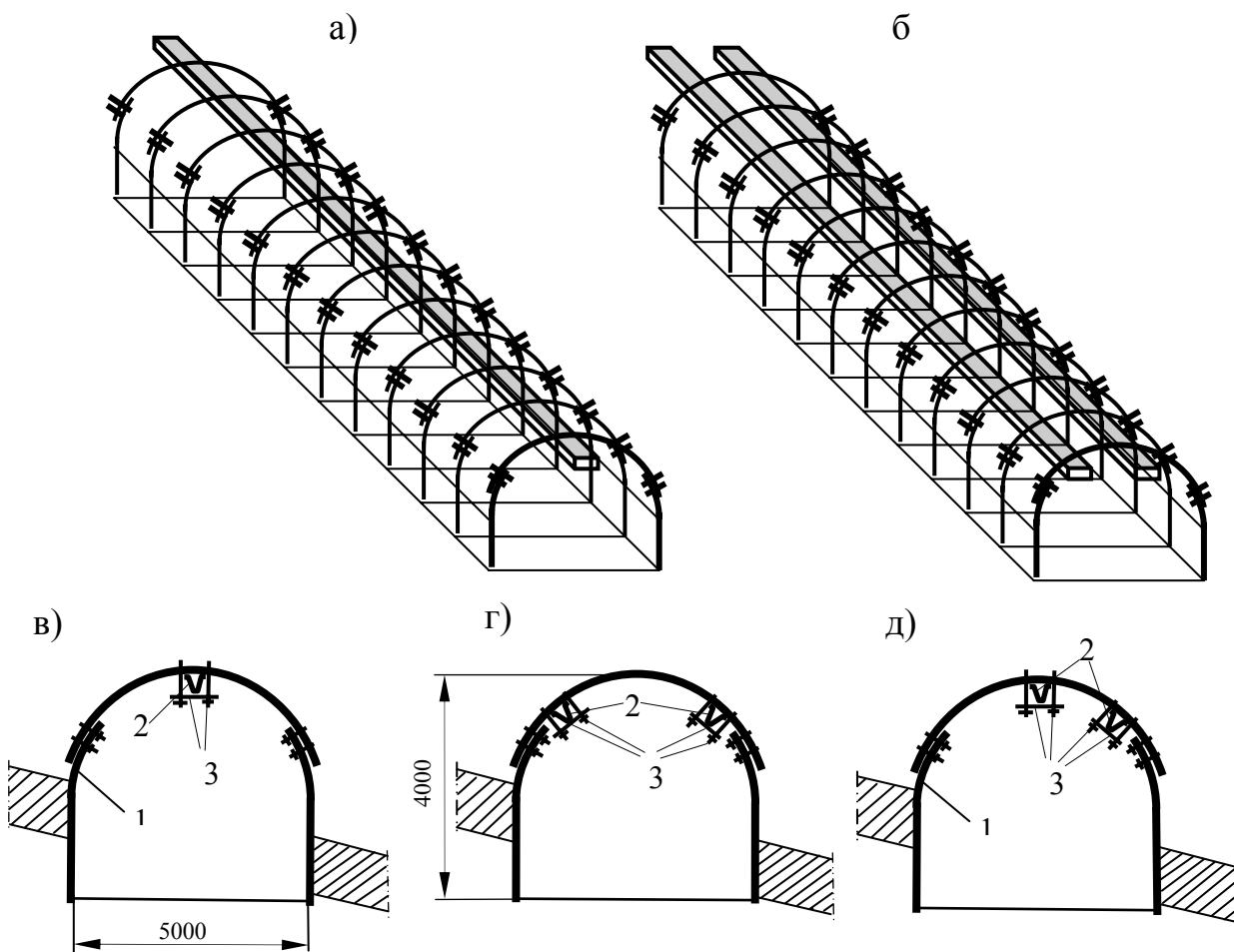


Рис. 3. Схема расположения одно- и двухбалочных продольно-жестких крепей усиления по длине (а,б) и в поперечном сечении выработки (в, г, д): 1 – комплект арочной крепи; 2 – продольные балки из спецпрофиля СВП-27; 3 – металлические планки и крепежные крючья с гайками



Опытно-промышленная проверка эффективности продольно-балочной крепи усиления состояла из четырех этапов. На первом – контрольном этапе были проведены инструментальные наблюдения за смещениями боковых пород без применения новой крепи усиления. На втором этапе арочная податливая крепь конвейерного штрека (АП-5/13,8 из спецпрофиля СВП-27 с шагом установки рам крепи 0,5 м) была усилена однобалочной продольно-жесткой крепью, в качестве которой применялась длинная балка из отрезков прямолинейного спецпрофиля СВП-27 длиной по 4м, которые соединялись на каждом стыке внахлест на 0,5 м двумя хомутами. Балка подвешивалась на 2-х специальных крючьях с планками и гайками по центру каждого верхняка крепи (рис. 3, а и в).

На третьем этапе для предотвращения интенсивных боковых смещений контура выработки со стороны напластования пород в штреке была установлена двухбалочная усиливающая крепь с симметричным расположением балок по верхняку на расстоянии 1,8 м друг от друга по ширине выработки (рис. 3, б и г).

Применение двухбалочной усиливающей крепи позволило повысить эффективность работы арочной крепи за счет пространственной консолидации ее комплектов и создания из них жесткой каркасной конструкции.

Из графиков представленных на рис. 4 видно, что применение одинарной продольно-жесткой усиливающей крепи позволяет снизить в 1,7-1,9 раза смещения пород кровли и 1,3 – 1,5 раза уменьшает смещения боков выработки.

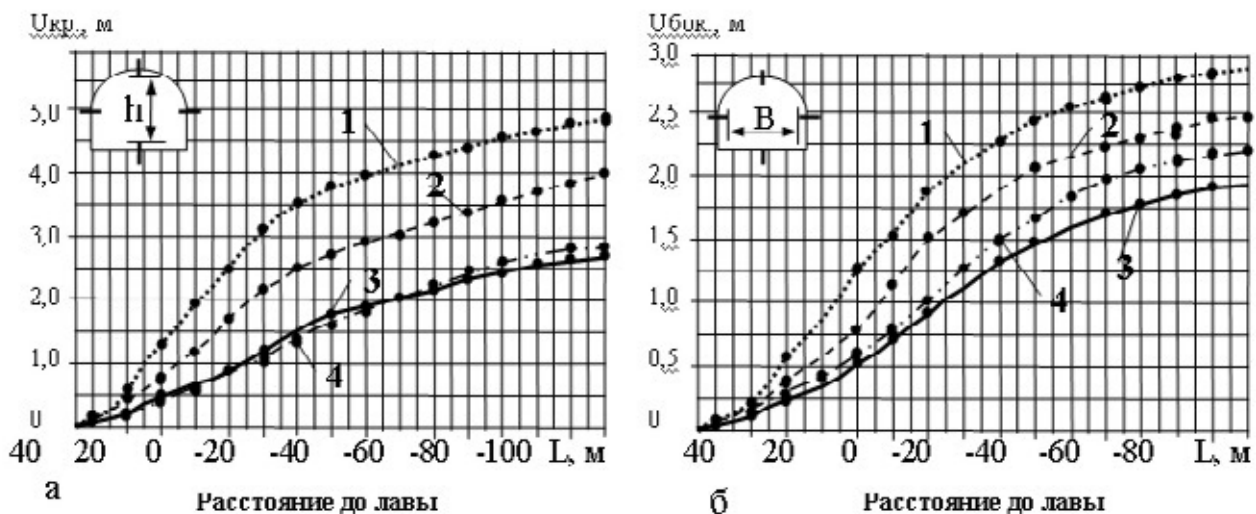


Рис. 4. График зависимости вертикальных (а) и горизонтальных (б) смещений породного контура конвейерного штрека 2-й западной лавы пласта  $h_{10}$ :  
 1 – на контрольном участке без применения продольно-балочной крепи усиления;  
 2 – на первом экспериментальном участке при использовании одной центральной балки из СВП-27; 3 и 4 – на втором и третьем экспериментальных участках при двух соответственно симметричных и асимметричных балках

При использовании двойной продольно-балочной усиливающей крепи вертикальные смещения в створе с лавой снижаются в 3-4 раза (с 2,0м до 0,5- 0,6

м), а горизонтальные в 2,5 – 3 раза (с 1,5 до 0,5 -0,6 м). Анализ результатов наблюдений показывает, что при однобалочном усилении арочной крепи вертикальные смещения снизились в среднем на 1 м, а при двухбалочной усиливающей крепи – на 2 м. Следует отметить, что асимметричное расположение двух балок на начальном этапе поддержания выработки (в створе слабой и на расстоянии 40 -50 м вслед за ней) позволило снизить смещения кровли, особенно со стороны массива угля.

Однако затем, вследствие деформирования и перемещения нижней балки вверх по профилю верхняка упирающимся в нее верхним концом ножки крепи, смещения кровли на данном участке превысили смещения на аналогичном участке с симметричными балками (рис. 5) на величину от 0,2 – 0,3 до 0,5 – 0,9 м.

Принимая во внимание необходимость повторного использования прямолинейных отрезков спецпрофиля, для исключения их чрезмерного деформирования было принято решение о применении в дальнейшем симметричной двухбалочной продольно-жесткой крепи усиления.

Таким образом, применение продольно-жесткой крепи усиления позволило, при минимальных затратах и без создания помех очистным работам в лаве, значительно снизить вертикальные и в меньшей степени горизонтальные смещения, за счет продольно-жесткой консолидации комплектов арочной крепи по длине выработки.

При этом на контуре выемочной выработки происходит образования и сохранения устойчивых грузонесущих сводов из породных отдельностей зоны неупругих деформаций, что обеспечивает устойчивое состояние выработки.

### *Литература*

1. Черняк И.Л., Ярунин С.А. Управление состоянием массива горных пород. М.: Недра, 1995. – 395 с.
2. Литвинский Г.Г., Гайко Г.И., Кулдыраев Н.И. Стальнве рамные крепи горных выработок. К.: Техніка, 1999. – 216 с.
3. Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Кублицкий Е.В., Мороз О.К. О влиянии жесткости каркасной крепи усиления на смещения пород кровли // Известия Донецкого горного института. 2001. № 1. С.59-61.
4. С.С. Гребенкин, Г.И.Соловьев, И.К.Демин, Ю.Н.Панфилов, Негрей С.Г., Нефедов В.Е., Малышева Н.Н. О сохранении устойчивости конвейерных штреков глубоких шахт / Вестник НГАУ, Днепропетровск, 2003, №10, С 31-33.
5. Соловьев Г.И., Панфилов Ю.Н., О продольно-жестком усилении основной крепи подготовительных выработок глубоких шахт // Известия Тульского государственного университета, 2005. С.177-185.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ГОРНО-ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА БАЗЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОБМЕННО-ТРАНСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ**

*С.Е. Барташевский, Национальный горный университет,  
г. Днепрпетровск, А.Н. Чубенко, ДонНТУ, г. Донецк*

Развитие горных работ в Донбассе связано с увеличением глубины разработки как действующих, так и строящихся шахт. Переход горных работ на глубокие горизонты сопровождается увеличением горного давления, температуры и газоносности угля и породы, частоты и интенсивности газодинамических явлений. Перечисленные факторы предъявляют дополнительные требования при разработке технологических схем проведения подготовительных выработок и в процессе эксплуатации требуют неоднократного их перекрепления для обеспечения проектных сечений и пропускной способности.

Анализ технико-экономических показателей работы подготовительных забоев подтверждает неуклонный рост технического уровня развития горно-подготовительных работ. Установлено, что основным направлением развития технологии проведения выработок является переход к мало операционным технологическим схемам с механизацией всего комплекса работ проходческого цикла.

Традиционно применяемые технологические схемы проведения выработок буровзрывным способом основаны на применении оборудования, механизующего какой-либо один процесс или операцию проходческого цикла. Технологические схемы включают буровое и погрузочное оборудование и средства обмена вагонеток. При этом большая часть операций проходческого цикла выполняется вручную.

Предлагаемые мало операционные технологические схемы представляют собой комбинированный вариант, базирующийся на применении как одно-, так и многофункционального оборудования. Применение многофункциональных погрузочных машин позволяет существенно сократить суммарную продолжительность проходческого цикла и его трудоемкость. Достигается это путем сокращения объемов непроизводительных, выполняемых вручную работ и параллельным выполнением основных и вспомогательных операций проходческого цикла.

В данной работе для сравнительной оценки традиционной и предлагаемой технологических схем был составлен граф технологичности.

Оценка технологичности осуществляется по 4-х балльной системе. Каждой из операций присваивается соответствующий балл. Операции, выполняемые вручную, в зависимости от их трудоемкости оцениваются от 2 до 4 баллов (табл. 1).

Механизированные операции оцениваются в 1 балл. Операциям, исключаемым из состава работ при применении мало операционной технологии, присвоена нулевая оценка.

Ковшевые машины осуществляют погрузку горной массы отдельными порциями. Машине 1ППН-5 с емкостью ковша 0,32 м<sup>3</sup> для загрузки одной вагонетки типа ВГ-1,6 необходимо осуществить 5 циклов погрузки и операции, связанные с заменой груженой вагонетки на порожнюю. За полный цикл погрузки 1 вагонетки машина 5 раз выполняет ритмично повторяющиеся операции черпания: разгон машины для создания напорного усилия и внедрение ковша в штабель, подъем ковша, отход машины от штабеля и разгрузку ковша.

Таблица 1

Показатели технологичности выполнения отдельных операций  
проходческого цикла

Операции	Баллы	Показатель оценки
Подкидка горной массы к ковшу погрузочной машины	3	В выполнении операции задействовано звено из 3-х человек
Дробление негабаритов крупностью до 800 мм	3	
Установка инвентарных полков	3	
Демонтаж полков	3	
Планировка и балластировка почвы выработки	3	
Доставка крепежных материалов к месту монтажа	4	В выполнении операции задействовано звено из 4-х человек
Подъем и установка верхняка	4	

В состав операций по обмену одиночных вагонеток, которые выполняются погрузочной машиной, входят: откатка груженой вагонетки до грузовой ветви разминовки, переход машины на порожняковую ветвь, прицепка порожней вагонетки и возврат к штабелю горной массы. Операции по обмену вагонеток и формированию состава выполняются на разминках при помощи маневровой лебедки. При проведении горных выработок в наиболее распространенных геотехнических условиях ( $S \approx 16 \text{ м}^2$ ,  $L \approx 1,5 \text{ м}$ , количество арок, устанавливаемых за одну заходку, - 3 шт.) для откатки горной массы требуется порядка 60 вагонеток емкостью 1,6 м<sup>3</sup>. Таким образом, при использовании машин типа ППН операции, связанные с загрузкой вагонеток и их обменом, повторяются 60 раз.

Применение машины МПК-3У позволяет упростить технологию и организацию работ в призабойном пространстве, существенно сократить

объемы выполнения обменно-транспортных операций и исключить наиболее трудоемкие операции процесса погрузки горной массы.

В аналогичных условиях ведения работ для загрузки одной вагонетки машине, имеющей емкость ковша  $1 \text{ м}^3$ , понадобится осуществить всего два цикла черпания. Боковая разгрузка ковша и гусеничное шасси позволяют осуществлять загрузку горной массы в партии вагонеток без их расцепки. При этом объем операций, связанных с обменом груженных и порожних вагонеток, сокращается в 3 раза по сравнению с традиционной организацией погрузочно-транспортных работ.

Все это учитывается при совокупной оценке технологичности традиционных и мало операционных технологических схем с циклично-поточной организацией погрузочно-транспортных работ через совокупную оценку уровня технологичности отдельных процессов и схем в целом.

Проведенная сравнительная оценка применяемых технологических схем, учитывающая уровень механизации основных процессов и вспомогательных операций проходческого цикла, количество выполняемых вручную операций и их трудоемкость, параллельность выполнения работ дает возможность оптимизировать технологические процессы и подтверждает эффективность мало операционных технологических схем с циклично-поточной организацией погрузочно-транспортных работ в сравнении традиционными, базирующимися на применении машин типа ППН.

УДК 622.273

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО РАСПОЛОЖЕНИЮ И ПРОВЕДЕНИЮ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ШТРЕКОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ КРУТЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

*Ю.А. Пивень, Донбасский научно-исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт (ДонНИИ), г. Горловка*

При подготовке крутых угольных пластов откаточные штреки, как правило, используются в качестве вентиляционных с переходом горных работ на нижележащий этаж. Поэтому около 70% вентиляционных штреков проводится по обрушенным породам в сечении погашенных бывших откаточных. Проведение вентиляционного штрека в таких условиях имеет свои особенности и отличается большим объемом ручного труда по выемке породы, извлечению оставленных при погашении элементов металлической крепи, рельсов и труб, установке передового ограждающего крепления, последовательностью выполнения проходческих операций. Причем для несомещаемых процессов проходческого цикла в общей трудоемкости 1 м готовой выработки, заложенной в породах средней крепости, эти величины весьма значительны и характеризуются следующими данными: выемка

породы - 31,6%, погрузка породы - 25,3%, установка опережающей крепи и крепление - 19,9%. Кроме того, при проведении вентиляционного штрека по неуплотненным обрушенным породам технология работ по выемке породы в забое штрека не обеспечивает полного предотвращения ее выпуска из-за контура сечения выработки. Проведение вентиляционных штреков по обрушенным породам в сечении погашенных откаточных штреков, даже при последовательном выполнении работ по выемке и уборке породы, не исключает ее перебор. Объем работ по выемке и уборке породы из-за несовершенства способов и средств ограждения увеличивается в 1,27-2,05 раза. Причем общая трудоемкость по постановке ограждающей крепи, выемке породы и ее погрузке возрастает с увеличением крепости вмещающих выработку пород.

Расположение вентиляционного штрека в сечении погашенного откаточного трудоемко не только по его проведению, но и по поддержанию. Вследствие перебора породы за крепью остаются пустоты, забучивание которых представляет значительную сложность. Оставленные пустоты над крепью приводят к увеличению давления на крепь и к частым динамическим нагрузкам на нее.

Расположение вентиляционного штрека в сечении бывшего откаточного создает определенную трудоемкость в его поддержании над рабочим пространством лавы. Как правило, ножка крепи со стороны висячего бока находится над выработанным пространством лавы и до подбучивания ее породой устанавливается на забойное крепление лавы. Отсутствие связи между ножкой крепи и подошвой выработки способствует ее выдавливанию кровлей пласта внутрь сечения штрека.

Оставление пустот над крепью штрека при его проведении, слабая связь между подошвой штрека и его крепью над лавой способствуют росту смещений боковых пород в зоне опорного давления от очистных работ, повышению нагрузки на крепь и ее деформации.

Именно тяжелые условия не только проведения, но и поддержания вентиляционных штреков, проводимых по обрушенным породам в сечении погашенных выработок предопределили направление исследований по выбору места заложения вентиляционного штрека, исключающее его проведение в сечении бывшего откаточного.

Вокруг откаточного штрека еще при его проведении в результате перераспределения напряжений образуется зона разрушенных пород, которая в дальнейшем из-за отсутствия жесткой связи между боковыми породами и крепью увеличивается.

Ко времени погашения откаточного штрека вокруг него уже сформировалась с определенными геометрическими и физическими параметрами зона разрушенных пород. При извлечении крепи зона разрушенных пород возрастает за счет смещения пород в выработку и дальнейшей их разгрузки от стационарного горного давления.

В процессе заполнения породой сечения погашенной выработки формируется четыре области. Первая область формируется из обрушенных пород, смещенных в выработку после удаления крепи. Вторая, третья и четвертая области образуются в процессе уплотнения обрушенных пород под воздействием стационарного опорного давления. Их величины зависят от прочностных характеристик боковых пород, окружающих выработку, и напряжений в них.

Размеры заполнения второй области смещенными породами составляет более 50% сечения погашенной выработки. Это объясняется более высокой концентрацией напряжений в кровле в зоне влияния очистных работ, меньшей прочностью пород кровли и направлением смещений боковых пород при разработке крутых пластов. Поэтому основное развитие зоны разрушенных пород происходит в кровле пласта. Боковые породы, смещаясь в погашенную выработку, увеличиваются в объеме за счет образования трещин, а напряжения в них снижаются. С течением времени обрушенные породы в сечении штрека уплотняются, а вокруг него образуется зона разрушенных пород с высокой степенью трещиноватости и локальным распределением напряжений в ней.

Приравнивая разрушенные породы с сильно развитой сетью микро- и макротрещин сыпучей среде, принимаем, что давление на крепь выработки будет предопределяться весом пород над ней, заключенных границами зоны разрушения.

Проведение выработки в разрушенных породах также влияет на перераспределение горного давления вокруг нее. Но в силу того, что массив обладает определенной податливостью из-за высокой его трещиноватости, повышение давления вокруг породного обнажения вызывает уплотнение отдельных частиц породы и предопределяет их перемещение в направлении наименьшего сопротивления среды. Наличие трещин и пустот в породах способствует интенсификации процесса уплотнения отдельных частиц пород и сглаживанию распределения напряжений по контуру выработки. Арочная крепь выработки работает в режиме ее технической характеристики.

Таким образом, одной из основных особенностей разрушенного массива является то, что при проведении в нем выработки происходит сглаживание концентраций напряжений за счет перемещений частиц породы в сторону локальных ослаблений, вследствие чего уменьшаются давление на крепь и смещения боковых пород в выработку и повышается ее устойчивость.

Установлено, что при управлении горным давлением обрушением нарушение пород в кровлю разрабатываемого пласта распространяется на величину, равную шестикратной мощности пласта. При закладке выработанного пространства рядовой породой эта величина уменьшается, как минимум, в два раза. Поэтому при разработке весьма тонких и тонких крутых пластов распространение технической трещиноватости определяется мощностью пласта и величиной усадки закладочного материала и не выходит за пределы расположения вентиляционного штрека. Шахтные

экспериментальные наблюдения за смещением массива кровли под вентиляционным горизонтом, показывают, что породы кровли в сторону пласта смещаются за счет их затухающего расслоения в глубину массива. Коэффициент их разрыхления не превышает 1,01. Песчаник смещается в основном, общим массивом без разрыва его сплошности. Породный массив кровли под вентиляционным штреком разрушается, но при этом не воздействует на его крепление. Очистные работы разрабатываемого пласта оказывают давление на крепь выемочного штрека только за счет упругого воздействия основной кровли не разрушенные вокруг пройденной выработки породы, которые, уплотняясь, передают боковое давление на крепь. Это подтверждено шахтными инструментальными наблюдениями при выносе выемочного штрека за пределы зоны разрушенных пород. В таких условиях выработка находится вне зоны влияния разрушенной среды и попадает в зону упругого воздействия боковых пород на крепь, когда максимальная величина смещений боковых пород кровли направлена по нормали к напластованию.

Аналитическими и инструментальными исследованиями установлено, что зона разрушенных пород вокруг погашенного откаточного штрека на крутых угольных пластах вытянута в сторону кровли пласта и направлена по нормали к напластованию. Параметры зоны зависят от ряда факторов, основными из которых являются сечение выработки, литология боковых пород, их прочностные свойства и напряженность. Так, размер зоны по нормали к напластованию изменяется в пределах 4-10 м, а по горизонтали – 2-4 м.

Шахтными исследованиями установлено, что наименьшие величины смещений контура выработок достигается при их расположении в зоне разгруженных пород, образованной погашением откаточного штрека, со стороны кровли пласта. Инструментальные наблюдения показали, что при определенных условиях охраны выемочных штреков обеспечивается их безремонтное поддержание при столбовой и сплошной системах разработки. В этих условиях конечные величины смещения боковых пород в выработку снижаются в 2-3 раза. Это достигается за счет наличия в зоне разрушенных пород пониженных напряжений, податливостью разрушенного массива и его способностью к сглаживанию концентраций напряжения в породном обнажении, что подтверждается равномерными смещениями контуров сечения выработок. Очистные работы не вносят существенных изменений в распределение напряжений вокруг вентиляционного штрека. При расположении выработки вприсечку к контуру погашенного штрека вертикальные смещения превышают боковые. С удалением контура штрека от погашенной выработки растут боковые и снижаются вертикальные смещения пород. В глинистых и песчано-глинистых сланцах вертикальные и боковые смещения одинаковы при



расположении штрека на расстоянии двух метров от контура погашенной выработки.

Расположение вентиляционных штреков в зоне разрушенных пород и пониженных напряжений со стороны кровли пласта позволило применить для их проведения проходческие комбайны избирательного действия типа ПК.

В этих условиях значительно снижаются трудоемкость работ и стоимость проведения выработки, повышается производительность труда проходчика до 14-15 м/месяц. Среднемесячные темпы проведения штреков составили 90-100 м.

УДК 622.016.3.112.3

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫПУСКА ПОРОДЫ ПРИ ПЕРЕКРЕПЛЕНИИ ВЫРАБОТОК НА ИХ ПОСЛЕДУЮЩУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ**

*Ю.А. Петренко, А.О. Новиков, Овчаренко Н.А., ДонНТУ, г. Донецк*

Опыт поддержания выработок после их перекрепления показывает, что состояние участков выработок, на которых при перекреплении происходило обрушение пород значительно хуже, чем на участках, где его не было. С целью оценки влияния выпуска породы при перекреплении на последующую устойчивость выработки (увеличение размеров зоны неупругих деформаций после перекрепления) решалась следующая задача.

Выработка круглой формы (рис. 1) пройдена в массиве однородных изотропных пород с объемным весом  $\gamma$ . Распределение напряжений на границе невесомой полуплоскости принято равнокомпонентным.

Выработка закреплена крепью с реактивным сопротивлением  $P$ . Радиус выработки при проведении -  $r_b$ . К моменту начала работ по перекреплению вокруг выработки образовалась зона хрупкого разрушения с размером  $r_p$  и продолжает формироваться зона пластического течения. Ее размер к началу перекрепления составляет  $r_3$ . В результате деформирования пород в зонах хрупкого разрушения и пластического течения произошли смещения контура выработки и ее радиус к моменту перекрепления уменьшился до  $r_b^*$ . Производится перекрепление выработки с расширением до первоначального размера, сопровождающееся обрушением пород на высоту  $h_0$  (принято условие наибольшей высоты обрушения  $h_0 = r_p - r_b$ ). Образовавшаяся полость обрушения заполняется материалом с характеристиками  $\sigma_{сж}^{м.з}$  и  $\lambda_{м.з}$ . Требуется определить конечный радиус зоны пластического течения -  $r_3^*$  (зоны неупругих деформаций), образующейся вокруг выработки после перекрепления).

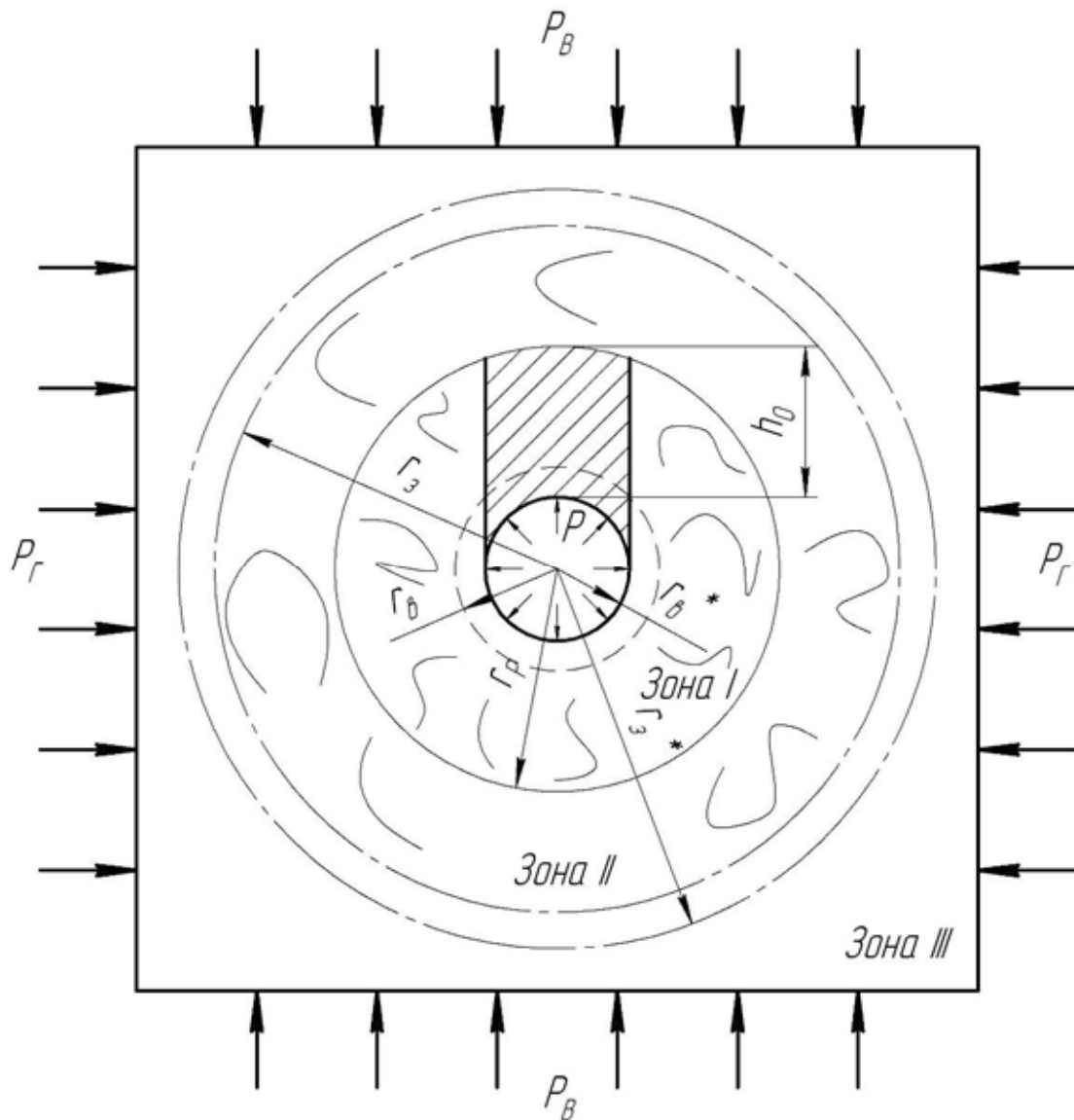


Рис. 1. Расчетная схема

При решении поставленной задачи были приняты следующие граничные условия:

$$\begin{aligned} \text{при } r = r_B, \quad \sigma_{r1} &= P; \\ \text{при } r = r_p, \quad \sigma_{r1} &= \sigma_{r2}; \\ \text{при } r = r_3^*, \quad \sigma_{r2} &= \sigma_{r3}, \end{aligned}$$

где  $\sigma_{r1}, \sigma_{r2}, \sigma_{r3}$  - соответственно радиальные напряжения на контуре выработки, на границе между первой и второй зоной, и на границе между второй и третьей зоной.

Для определения конечного радиуса зоны неупругих деформаций  $r_3^*$  воспользуемся уравнением предельного равновесия пород вокруг выработки.

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (1)$$

Тогда, приняв огибающую кругов Мора прямолинейной, уравнения предельного равновесия примут вид:

- на границе первой и второй зоны

$$\sigma_{\theta 1} - (2\lambda + 1) \cdot \sigma_{r1} = \sigma_n^{ocm} \quad (2)$$

- на границе второй и третьей зоны

$$\sigma_{\theta 2} - (2\lambda + 1) \cdot \sigma_{r2} \leq \sigma_o \quad (3)$$

- в третьей зоне, за пределами области предельного равновесия

$$\sigma_{\theta 3} - (2\lambda + 1) \cdot \sigma_{r3} \leq \sigma_\infty \quad (4)$$

Запишем значения радиальных напряжений в пределах каждой из зон, с учетом характеристик закладочного материала.

$$\sigma_{r1} = \left( P + \frac{\sigma_{сжс}^{М.3}}{2\lambda_{М.3}} \right) \cdot (r)^{2\lambda_{М.3}} - \frac{\sigma_{сжс}^{М.3}}{2\lambda_{М.3}}, \quad (5)$$

$$\sigma_{r2} = \left[ \left( P + \frac{\sigma_{сжс}^{М.3}}{2\lambda_{М.3}} \right) \left( \frac{r_p}{r_6} \right)^{2\lambda_{М.3}} - \frac{\sigma_{сжс}^{М.3}}{2\lambda_{М.3}} + \frac{\sigma_n^{ocm}}{2\lambda} \right] \cdot \left( \frac{r_6}{r_p} \right)^{2\lambda} \cdot r^{2\lambda} - \frac{\sigma_n^{ocm}}{2\lambda}, \quad (6)$$

$$\sigma_{r3} = \gamma H - \frac{2\lambda\gamma H + \sigma_\infty}{2(1+\lambda)} \cdot \frac{r_3^2}{r^2} \quad (7)$$

Решая совместно уравнения (5), (6) и (7) с учетом граничных условий, окончательно получим

$$r_3^* = r_p \cdot \left\{ \left( \gamma H - \frac{2\lambda\gamma H + \sigma_\infty}{2(1+\lambda)} + \frac{\sigma_n^{ocm}}{2\lambda} \right) \cdot \left[ \left( P + \frac{\sigma_{сжс}^{М.3}}{2\lambda_{М.3}} \right) \cdot \left( \frac{r_p}{r_6} \right)^{2\lambda_{М.3}} - \frac{\sigma_{сжс}^{М.3}}{2\lambda_{М.3}} + \frac{\sigma_n^{ocm}}{2\lambda} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{2\lambda}} \quad (8)$$

Конечный радиус зоны неупругих деформаций вокруг выработки, которая не перекрепляется определяется по формуле:

$$r_3 = r_6 \cdot \left[ \left( \gamma H - \frac{2\lambda\gamma H + \sigma_\infty}{2(1+\lambda)} + \frac{\sigma_n^{ocm}}{2\lambda} \right) \cdot \left( \frac{2\lambda}{2\lambda \cdot P + \sigma_n^{ocm}} \right) \right]^{\frac{1}{2\lambda}} \quad (9)$$

Для оценки степени влияния вывалообразования при ремонте выработок на их последующую устойчивость принят коэффициент  $k_1$ , который показывает во сколько раз увеличивается размер зоны неупругих деформаций после ремонта, сопровождаемого вывалообразованием по сравнению с конечным размером зоны неупругих деформаций вокруг выработки без ее ремонта:

$$k_1 = \frac{R_3^*}{R_3} \quad (10)$$

Для ведения расчетов по формулам (8) и (9), (10) необходимо знать значения величин  $\sigma_{сж}^{м.з}$  и  $\lambda_{м.з}$ .

Характеристика материала забутовки  $\sigma_{сж}^{м.з}$  и  $\lambda_{м.з}$  определялась путем построения паспорта прочности по данным, приведенным в работе [1].

Формула (8) получена из условия наличия контакта между забутовкой и породным контуром в месте вывала после ремонта.

Если же такого контакта нет (то есть при  $r = r_p$ ,  $\sigma_r = 0$ ), формула (8) для определения конечного размера зоны неупругих деформаций после ремонта запишется в виде:

$$R_3^* = (r_p) \left[ \frac{2\lambda}{\sigma_n^{ост}} \left( \gamma H - \frac{2\lambda\gamma H + \sigma_\infty}{2(1+\lambda)} + \frac{\sigma_\infty}{2\lambda} \right) \right]^{\frac{1}{2\lambda}} \quad (11)$$

Значения коэффициента увеличения размеров зоны неупругих деформаций при ремонте выработки  $k_1$  для различных горно-геологических и горно-технических условий представлены на рис. 2.

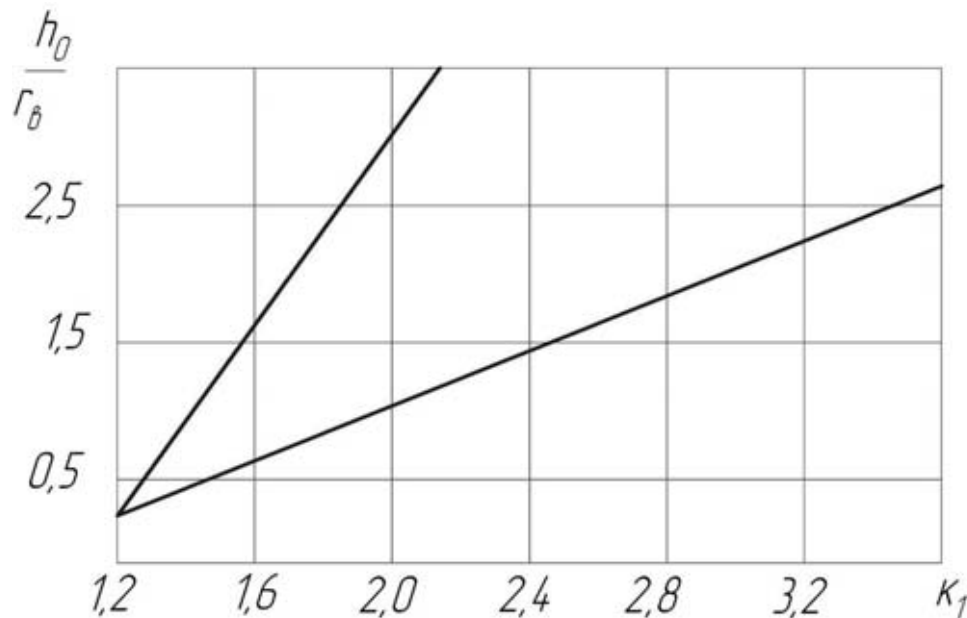


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента увеличения размеров зоны неупругих деформаций от размеров вывала:

- 1 – в качестве забутовки используются деревянные костры;
- 2 – нет контакта между забутовкой и породным контуром, образовавшимся после вывала

Проведенные исследования подтвердили результаты шахтных экспериментов и показали, что обрушение породы, происходящее при перекреплении существенно влияет на последующую устойчивость выработки. Поэтому особое значение приобретает технология перекрепления выработки, которая должна предупредить переборы породы и ее излишний выпуск при

расширении. Если же обрушение произошло, необходимо заполнить образовавшиеся пустоты [2, 3]. Одним из новых, перспективных направлений совершенствования технологии расширения выработок при ремонте, исключая возможность обрушения, является создание предварительного распора, обеспечивающего самоподдержание пород на новом проектном контуре выработки до установки «новой» крепи.

### *Литература*

1. Справочник по креплению горных выработок. Гелескул М.Н., Хорин В.Н., Киселев Е.С., Бушуев Н.П. – М.: Недра, 1976. – 58 с.
2. Руководство по ремонту подготовительных выработок. МУП УССР, ДонУГИ, Донецк, 1981. – 19 с.
3. Заславский Ю.З., Дружко Е.Б., Качан И.В. Инъекционное упрочнение горных пород. – М.: Недра, 1984. – 176 с.

УДК 622.281.74

## **СПОСОБ СОХРАНЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫРАБОТОК НА ОСНОВЕ АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫМ СОСТОЯНИЕМ ВМЕЩАЮЩЕГО МАССИВА («КРЕПЬ-ОХРАНА»)**

*Ю.А. Петренко, С.С. Гребенкин, Н.Н. Касьян, А.О. Новиков, ДонНТУ,  
г. Донецк*

В настоящее время 91,3% выработок на глубоких шахтах Донбасса крепится металлической арочной податливой крепью, которая практически исчерпала свои возможности, так как не соответствует реальным условиям нагружения и часто деформируются.

Как система крепления, арочная крепь имеет ряд недостатков. Фактически, она не поддерживает выработку до тех пор, пока вмещающие породы не разрушатся и не начнут смещаться в выработку, нагружая рамы крепи. То есть, крепь работает в пассивном режиме и не препятствует разрушению вмещающего массива. Кроме этого основными недостатками арочной крепи являются:

1. Большая металлоемкость.
2. Крепь не включается в работу сразу после обнажения проектного контура выработки.
3. Невозможность полной механизации процесса крепления (затяжка рам и забутовка закрепного пространства производится вручную).
4. Традиционная конструкция арочной крепи не соответствует условиям ее нагружения (нет соосности между направлениями податливости крепи и наибольших смещений контура выработки).

Опыт поддержания выработок показывает, что обеспечить их нормальное эксплуатационное состояние в течение всего срока службы можно лишь путем использования несущей способности породного массива, вмещающего выработки.

Все это требует применения нетрадиционных видов крепи, которые бы обладали значительной несущей способностью, низкой материалоемкостью и трудоемкостью возведения, поддавались бы высокой степени механизации, а также активно воздействовали на напряженно-деформированное состояние вмещающего массива с целью вовлечения его в совместную работу.

С учетом выше изложенных требований, ДонНТУ был предложен способ поддержания выработок «крепь-охрана».

Идея способа состоит в совмещении разгрузки вмещающего выработку массива от повышенных напряжений с процессом крепления. Это позволяет использовать несущую способность породного массива и снизить материальные и трудовые затраты на проведение и поддержание горных выработок.

Сущность способа (рис. 1) заключается в образовании вокруг выработки, на заданном удалении от ее контура, зоны пониженных напряжений путем взрывания камуфлетных зарядов ВВ в трубчатых анкерах. При этом энергия взрыва расходуется на образование зоны разгрузки и развальцовывание анкеров в шпурах. Ненарушенный приконтурный массив, усиленный анкерами, выполняет роль крепи.

С целью оценки эффективности этого способа были проведены лабораторные, аналитические и шахтные исследования. Лабораторные исследования показали, что при определенном размере породного целика и ширине зоны нарушенных пород, ограничивающей вокруг выработки размер зоны неупругих деформаций, суммарный отпор крепи, породного целика и пород, находящихся в пределах нарушенной зоны, будет равен напряжениям, действующим в ненарушенном массиве на границе с зоной неупругих деформаций. Это позволит в 2-3 раза снизить смещения контура выработки по сравнению с традиционным способом крепления.

Для определения ширины породного целика и зоны нарушенных пород с помощью методов предельного равновесия решалась осесимметрическая задача, в результате чего была получена зависимость для определения смещений контура выработки при применении способа поддержания «крепь-охрана»:

$$U = \frac{3}{4E} \left( \frac{\sigma_{сж}}{K_3} - P_o \right) \frac{r_k - 1}{r_k} + \frac{3}{4E} \cdot \frac{2b\gamma H + \sigma_{сж}}{b + 1} r_k x$$

$$x \left\{ \left[ \frac{2\gamma H - \sigma_{сж}}{2(b + 1)} + \frac{\sigma_{сж}^*}{2b} \right] x \left[ \frac{2br_k^2}{b \frac{\sigma_{сж}}{K_3}} (r_k^2 - 1) + P_o (r_k^2 + 1) + \sigma_{сж}^* r_k^2 \right] \right\}^{1/B},$$

где  $E$  – модуль упругости пород, МПа;

$\sigma_{сж}$  – прочность пород на одноосное сжатие, МПа;  
 $k_3$  – коэффициент запаса прочности;  
 $P_0$  – отпор крепи, МПа;  
 $r_k$  – радиус внешней границы породного целика, м;  
 $b$  – интервал между рядами анкеров, м;  
 $\gamma$  – удельный вес пород, МН/м<sup>3</sup>;  
 $H$  – глубина заложения выработки, м;  
 $\sigma_{сж}^*$  – остаточная прочность пород, МПа.

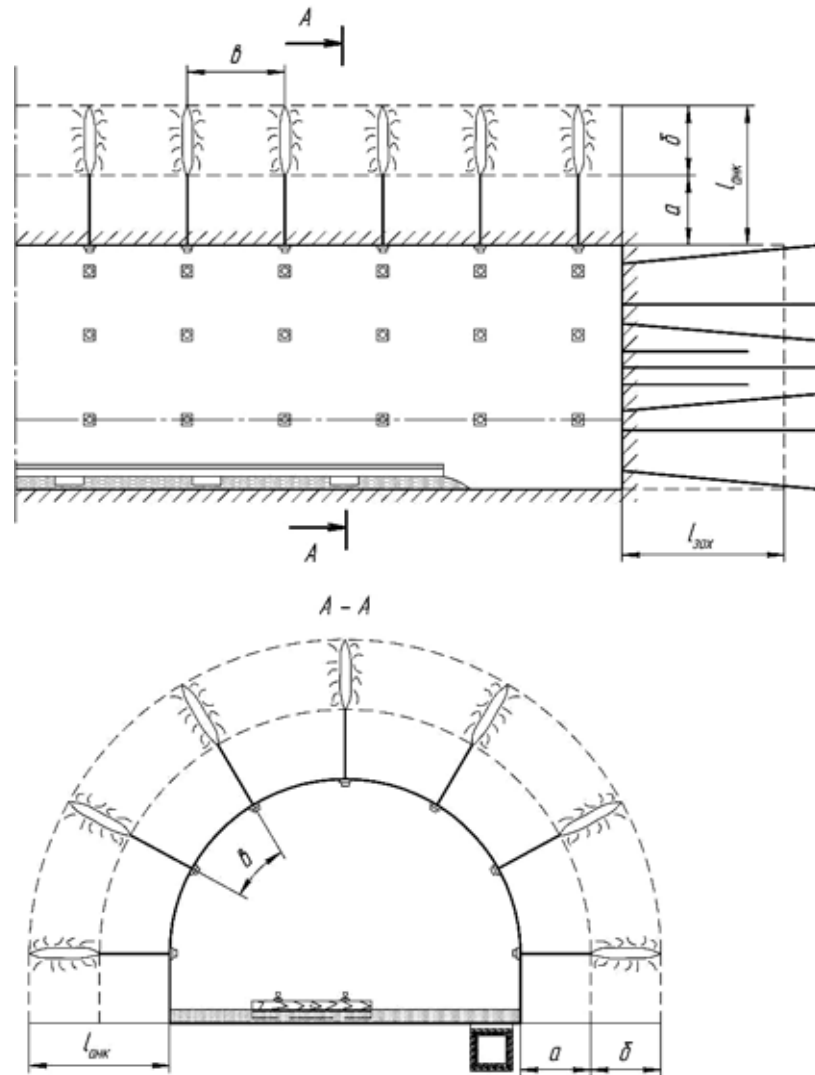


Рис. 1. Схема проведения выработки при применении способа поддержания «крепь-охрана»

В качестве оптимальных параметров способа, длины анкеров, расстояния между ними и длины разгрузочных шпуров принимались такие, которые при определенном размере породного целика  $l_u$  и ширине зоны разгруженных пород  $l_{p-n}$  обеспечивают минимальные смещения контура выработки.

С целью проверки расчетных параметров способа и оценки его эффективности были проведены промышленные испытания. Испытания вели в два этапа при проведении главного полевого конвейерного уклона гор. 100-450 м шахты «Красногвардейская» ГУЭК «Макеевуголь» на участке протяженностью 40 м. На первом этапе проверяли работоспособность взрывораспорной анкерной крепи и расчетные параметры способа. Затем оценивали влияние способа на устойчивость вмещающего выработку массива и его экономическую эффективность.

Главный полевой конвейерный уклон проводили буровзрывным способом и крепили металлической арочной податливой крепью с железобетонной затяжкой площадью сечения в свету  $13,8 \text{ м}^3$  с шагом установки 1 м. Угол наклона выработки  $14^\circ$ . Вмещающие породы устойчивые, предел прочности на одноосное сжатие 40-100 МПа. Шпуры бурили установкой СБУ-1 и перфоратором ПР-25. В качестве ВВ использовали угленит Э-6.

Расчетные параметры способа поддержания «крепь-охрана» приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные параметры способа «крепь-охрана»

Прочность пород $\sigma_{сж}$ , МПа	Масса заряда ВВ $Q$ , кг	Шаг анкеров $b$ , м	Длина анкера $l_{анк}$ , м	Размер целика, $l_{ц}$ , м	Размер разгрузочной зоны пород $l_{р-н}$ , м
40	0,9	1,5	3	1,6	1,4
70	0,6	1,5	2,5	1,2	1,3
100	0,6	1	2	1	1

В процессе испытаний размеры приконтурного целика и зоны разрушенных пород контролировали с помощью прибора РВШ-4, усилие раскрепления анкера в массиве пород измеряли прибором ПАК конструкции ДонУГИ. Эффективность способа оценивали по результатам инструментальных наблюдений за смещениями массива на замерных станциях, оборудованных контурными и глубинными реперами.

В процессе промышленных испытаний установлено, что разработанная конструкция анкера надежно раскрепляется в массиве горных пород, несущая способность его 40-60 кН. Ширина зоны разгрузки и размер приконтурного породного целика равны соответственно 1-1,4 и 1,1-1,6 м, что совпадает с расчетными параметрами. Использование этого способа позволяет повысить устойчивость вмещающего выработку массива, снижая смещения контура в 2-3 раза.



## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СПОСОБА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОВТОРНОГО ПУЧЕНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

*С.Г. Негрей ДонНТУ, г. Донецк*

Сохранение устойчивости горных выработок является одной из приоритетных задач горной геомеханики. Потеря же устойчивости выработок в большинстве случаев (до 70%) происходит за счет пучения пород почвы.

В виду того, что процесс пучения для разных условий и на разных этапах существования выработок отличен, существует множество способов борьбы с ним. Эффективность каждого способа прямо зависит от затратности при его реализации и очень часто применение эффективных способов в определенных условиях становится экономически невыгодным по сравнению с проведением подрывок пород почвы выработки. Но, как известно, подрывка приводит к активизации процесса смещений пород на контуре их сечения, причем дополнительные сближения кровли и почвы, связанные с ней, достигают 30 % от высоты выработки [1]. Следствием этого является проведение последующей подрывки.

В данном случае более экономически выгодным будет проведение однократной подрывки с применением способов предотвращения последующего пучения пород почвы горной выработки, в частности, способов, основанных на механическом отпоре выдавливанию пород почвы [2].

Применение механического отпора обусловлено тем, что с увеличением уровня силового воздействия на породы почвы, эффект уменьшения их выдавливания возрастает и для обеспечения устойчивости почвы может оказаться достаточным приложением сравнительно невысоких усилий по почве выработки [2].

Чтобы проверить на практике данное утверждение нами были проведены шахтные испытания способа предотвращения последующего пучения пород почвы выработки, основанного на механическом отпоре выдавливанию почвы.

Анализ результатов инструментальных наблюдений за проявлениями горного давления в горных выработках пласта  $l_8$ , шахты «Лидиевка», показал, что неудовлетворительное их состояние во многом предопределяется интенсивным пучением пород почвы (рис. 1).

На основании инструментальных наблюдений нами для испытаний способа был принят конвейерный штрек 7-ой восточной лавы пласта  $l_8$  поскольку смещения почвы в данной выработке были существенны, в том числе и после проведения подрывки (IV) (рис. 1).

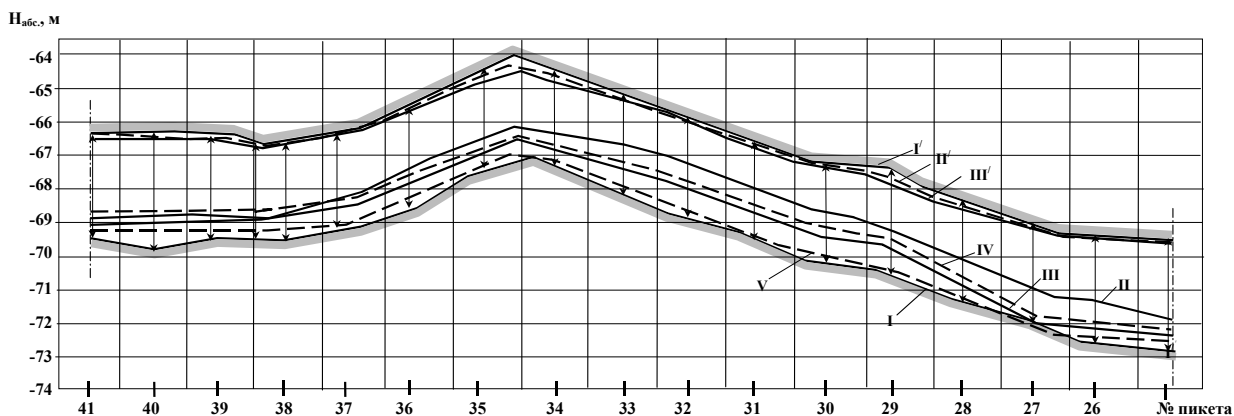


Рис. 1. Общий вид профиля выработки по результатам нивелировок в конвейерном штреке 7-ой восточной лавы пласта  $l_8'$  шахты «Лидиевка» (I, II, III, IV, V– профиль почвы, соответственно 18.06.99, 11.02.03, 26.06.03, 21.01.04 и 22.08.04 г.; I', II', III'– профиль кровли соответственно 18.06.99, 11.02.03 и 21.01.04 г.)

Выработка расположена на глубине 320 м. Мощность пласта  $l_8'$ , по которому пройдена выработка, изменяется от 0,75 до 0,80 м, угол его падения пласта колеблется в пределах 14-18°. В непосредственной кровле пласта залегает слой песчаника мощностью 0,8-1,6 м и крепостью 7 (по шкале проф. М.М. Протодяконова), основная кровля представлена песчанистым сланцем мощностью 3,5 м и  $f=5$ . Непосредственно под пластом залегает пучающий слой песчанистого сланца мощностью до 1,8 м и крепостью 4, далее следует слой песчаника мощностью до 6,0 м и крепостью– 7.

Во время эксплуатации выработки после проведения выработки наблюдались интенсивные смещения ее контура в большей степени почвы выработки, в итоге суммарная величина поднятия почвы составила в среднем 1,17 м (рис. 1). После этого дважды проводилась подрывка почвы выработки на величины соответственно 0,54 и 0,57 м.

Для проверки способа в штреке были выделены два участка: контрольный длиной 12 м, на котором не было средств механического отпора и экспериментальный длиной 10 м– со средствами механического отпора выдавливанию пород почвы выработки.

На этих участках проводилась подрывка на величину 1,1 м и вслед за ней на экспериментальном участке на почву по ширине выработки устанавливались металлические лежни.

Лежень представляет собой сборную конструкцию из двух отрезков прямолинейного спецпрофиля СВП-22 1 (рис. 2), которые укладываются по ширине выработки на ее почву и соединяются друг с другом по центру выработки при помощи двух хомутов 2 с планками.

У боков выработки на лежни устанавливаются отрезки опорных стоек 4, также изготовленные из спецпрофиля СВП-22 (либо деревянные стойки), которые соединяются с лежнями при помощи хомутов 5.

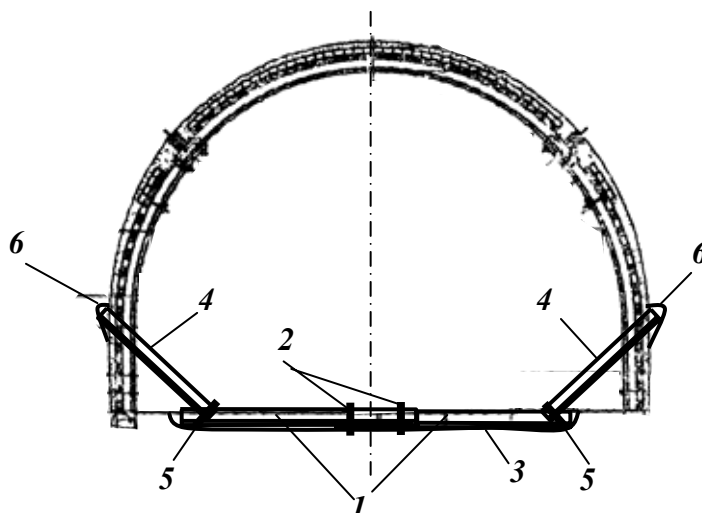


Рис. 2. Конструкция лежня и схема его установки

Установка металлических лежней осуществляется следующим образом: после проведения подрывки почвы выработки по ширине выработки между рамами крепи подготавливаются специальные канавки 3, в которые затем укладываются отрезки спецпрофиля 1. После этого эти отрезки соединяются между собой металлическими хомутами 2. Устанавливается вертикально гидравлическая стойка на лежень по центру выработки. Задав предварительный распор, производится установка опорных стоек 4 на лежень и в специально подготовленные в боках выработки полости 6. Затем стойки соединяются с лежнем при помощи хомутов 5, после чего извлекается гидравлическая стойка.

Работы совместно с проведением подрывки почвы выработки бригадой рабочих, состоящей из 3-х человек. В течение 4 дней на участке выработки длиной 10 м (экспериментальный участок) была произведена его подрывка и установка 12 лежней с шагом 0,85 м.

На контрольном и экспериментальном участках были подготовлены контурные замерные станции, по которым проводились измерения согласно методике ВНИМИ с помощью рулетки. Также производилась нивелировка по данным станциям с прокладкой нивелирного хода по пикетам начиная с сопряжения штрека с грузовым ходком, прилегающим к данной выработке.

На контрольном участке после проведения подрывки на величину 1,1 м была отмечена интенсификация смещений пород почвы и дальнейшее их поднятие с момента подрывки на величину 0,41 м, после чего была проведена повторная подрывка.

На экспериментальном участке наблюдались незначительные смещения пород почвы выработки после проведения первой подрывки и установки лежней. Величина поднятия почвы выработки на этом участке составила в среднем 0,09 м, что позволило не производить повторную подрывку на этом участке (рис. 3).

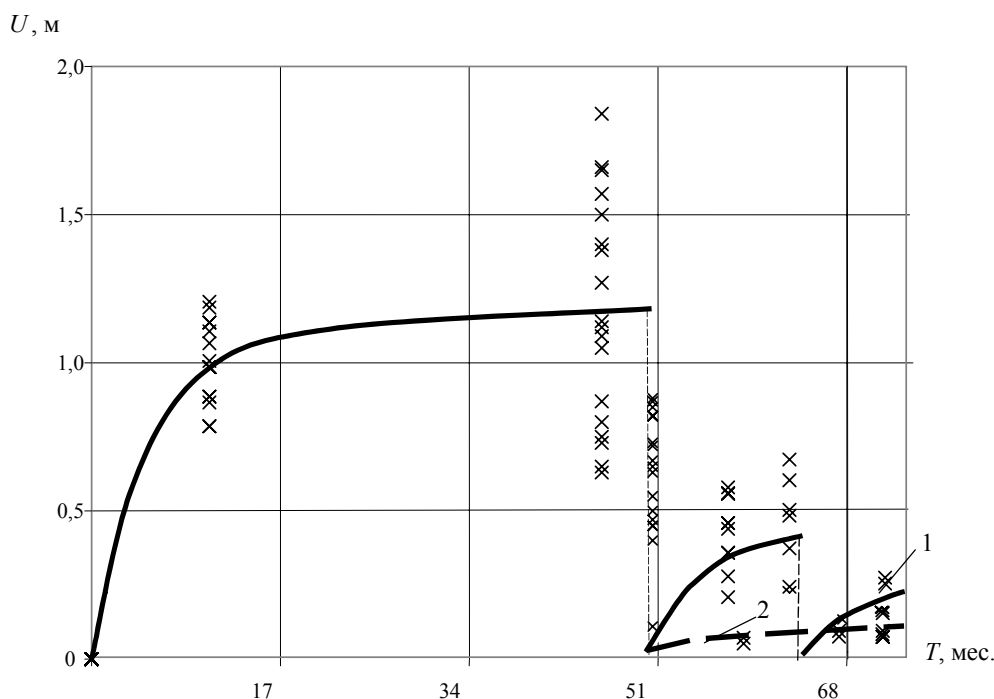


Рис. 3. График зависимости смещений пород почвы выработки  $U$  от времени  $T$  на контрольном (1) и экспериментальном (2) участках

Таким образом, суммарные смещения пород почвы при применении способа механического отпора выдавливанию пород почвы с установкой металлических лежней после проведения подрывки в условиях горной выработки шахты «Лидиевка» были на 77 % меньше, чем на участке, где мероприятий не применялось, что подтверждает наши предположения [2] о том, что:

- применение средств механического отпора выдавливанию пород почвы выработок эффективно влияет на состояние почвы выработки;
- с увеличением уровня силового воздействия на породы почвы эффект уменьшения их выдавливания возрастает;
- для обеспечения устойчивого состояния почвы выработки после подрывки необходимо компенсировать отпор извлекаемых пород сравнительно небольшими усилиями на почву выработки.

### *Литература*

1. Зубов В.П., Чернышков Л.Н., Лазченко К.Н. Влияние подрывок на пучение пород в подготовительных выработках // Уголь Украины. – 1985. – №7. – С. 15-16.
2. Негрей С.Г. О возможности предотвращения повторного пучения пород почвы горных выработок после их подрывки // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2005. – №2. – С. 65-68.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ АНКЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ МОНОЛИТНОЙ БЕТОННОЙ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ НА ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЯХ**

*М.С. Плешко, В.Н. Армейсков, ДонНТУ, г. Донецк*

Монолитная бетонная крепь является основным видом крепи вертикальных стволов. Как правило, в шахтном строительстве применяется бетон классов В15-В25, толщина крепи варьируется в пределах 300 – 500 мм.

В настоящее время в большом диапазоне горно-геологических условий этот вид крепи не может эффективно использоваться, что обуславливает необходимость перехода на монолитные железобетонные и металлобетонные крепи. При их применении по сравнению с монолитным бетонным креплением происходит снижение темпов крепления в 1,5 – 2 раза, увеличение трудоемкости работ на 30 – 40 % и более. На крепление 1 м ствола затрачивается от 0,5 до 1,5 т металла.

Анализ параметров железобетонных и металлобетонных крепей различной конструкции показывает, что такой большой расход металла является совершенно неоправданным, а применяемое расположение арматуры в бетоне не обеспечивает существенного повышения несущей способности крепи. [1].

Одним из перспективных направлений повышения технико-экономических характеристик крепления вертикальных стволов считается применение анкерной крепи. В отечественной теории и практике шахтного строительства анкерная крепь рассматривалась в большинстве случаев в качестве временной крепи стволов, работающей в дальнейшем как упрочняющая породный массив система. Установка штанг при этом осуществлялась вслед за обнажением породных стенок ствола, с последующим возведением монолитного бетона или набрызгбетона.

В месте с тем известен опыт установки анкерной крепи через возведенную основную крепь при реконструкции стволов, упрочнении наиболее сложных участков выработок и в других случаях [2].

Монолитная бетонная крепь с анкерным упрочнением может рассматриваться как вариант комбинированной крепи, в которой анкера выполняют функцию поперечной арматуры в бетоне. При этом образуется система «породный массив – анкера – основная крепь», исследование параметров которой представляет определенный интерес, особенно учитывая неоднократно высказываемое отечественными учеными мнение об эффективности поперечного армирования бетонной крепи стволов [1].

Для проведения таких исследований авторами был разработан ряд численных моделей стволов. Модели представляют собой участок породного массива, в центре которого размещена вертикальная выработка (рис. 1). В

качестве крепи ствола рассматривались различные комбинации монолитной бетонной крепи с анкерными системами (рис. 2). Для создания моделей использован метод конечных элементов, наиболее широко применяемый в механике подземных сооружений.

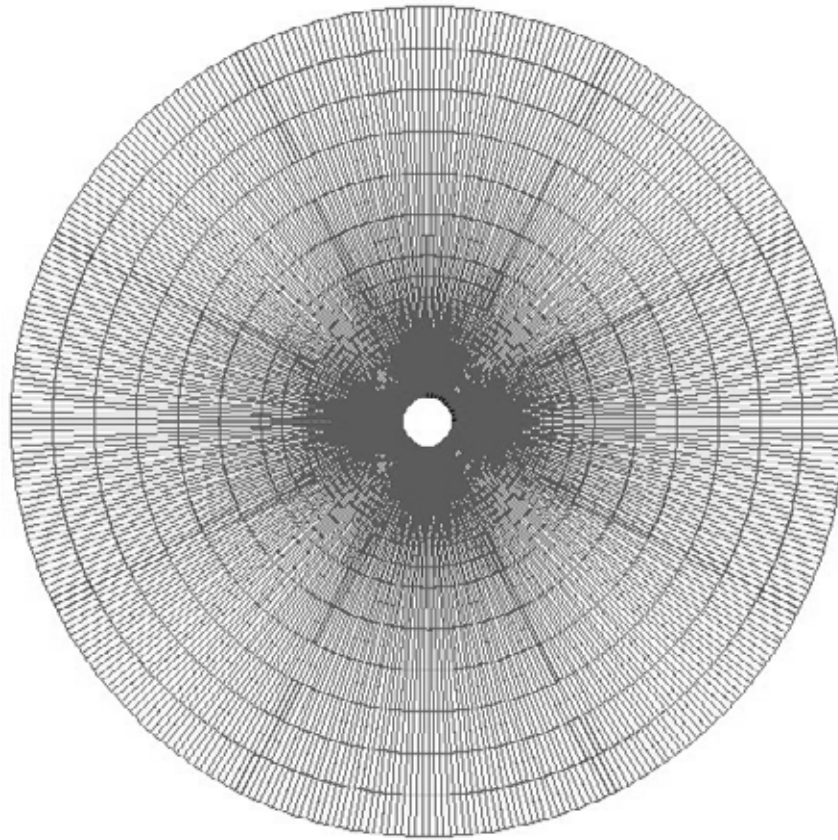


Рис. 1. Численная модель ствола

Расчеты моделей были выполнены с помощью программного комплекса «Лира», при этом вариации подвергались следующие параметры моделей: длина и диаметр анкеров, плотность установки, толщина бетонной крепи, физико-механические свойства пород, величина нагрузок.

На основании комплекса полученных значений перемещений узлов и всех компонентов напряжений в конечных элементах при различных параметрах моделей были определены основные закономерности напряженно-деформированного состояния монолитной бетонной крепи ствола при различных способах установки анкеров.

Так расчетами подтверждается эффективность упрочнения анкерами окружающего массива (рис. 2.а). Вокруг крепи ствола создается зона массива, более эффективно воспринимающая горное давление, что способствует уменьшению деформаций и напряжений в бетонной крепи. По полученным данным были определены значения коэффициентов упрочнения пород анкерами, зависящие от плотности их установки и несущей способности.

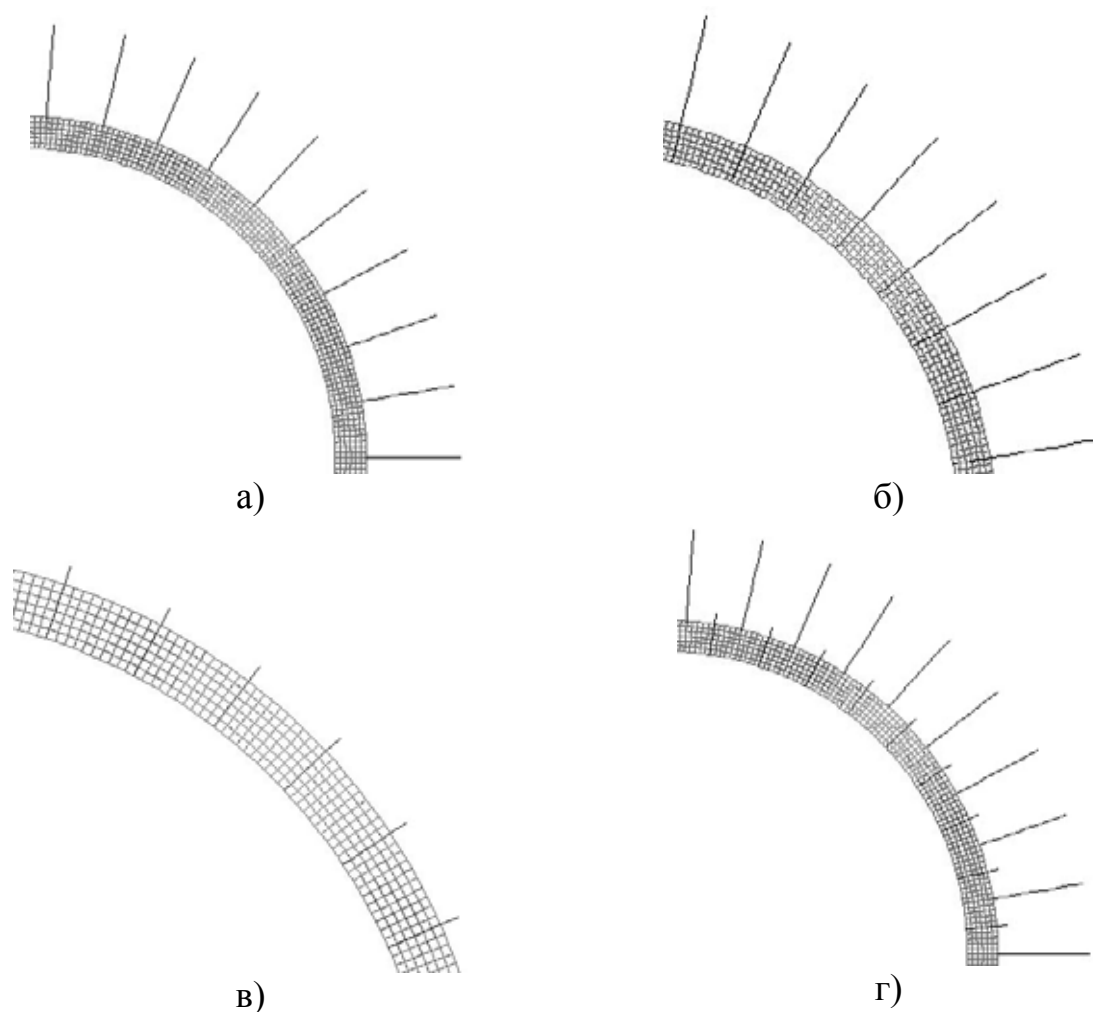


Рис. 2. Различные варианты расположения анкеров с монолитной бетонной крепью вертикального ствола:

- а) упрочнение анкерами массива пород;
- б) установка анкеров в массив через крепь;
- в) упрочнение монолитной бетонной крепи короткими анкерами.
- г) комбинированное упрочнение массива и крепи анкерами разной длины.

Анализ различных способов установки анкеров через монолитную бетонную крепь показал, что такое решение позволяет «сшить» внутренние слои крепи с внешними, разгружая их от повышенных напряжений и уменьшая деформации крепи. Так в качестве примера на рис. 3 и 4 приведены графики изменения эквивалентных напряжений в обычной бетонной крепи и в крепи, упрочненной анкерами, при одинаковых нагрузках. Толщина крепи в обоих случаях составляет 300 мм, класс бетона В25. По оси  $x$  графиков отложено расстояние от точки определения напряжений до внутренней окружности крепи ( $t, см$ ).

Из рисунков видно, что наиболее нагруженным участком при обычном варианте бетонной крепи является ее внутренний слой. Установка анкеров в крепи позволяет существенно разгрузить эту зону. Снижение величины

эквивалентных напряжений во внутреннем слое крепи в зависимости от плотности установки анкеров и их диаметра составляет от 16 до 34%, уменьшение деформаций крепи – 9-12%.

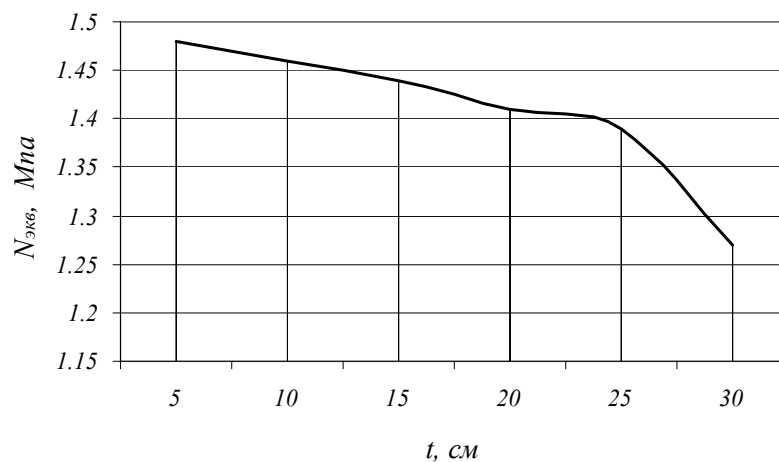


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений в обычной бетонной крепи ствола по ее толщине

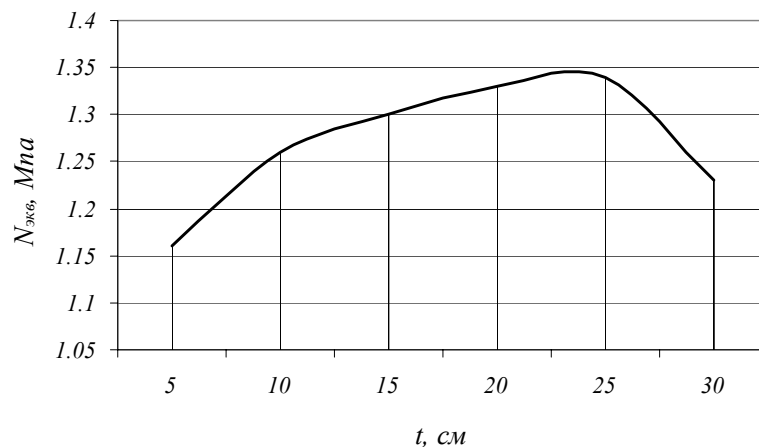


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений в бетонной крепи ствола по ее толщине при упрочнении крепи и массива анкерами

Также необходимо отметить, что анкера пересекают потенциальные поверхности скольжения, развивающиеся при разрушении крепи, повышая ее несущую способность, увеличивают сцепление крепи с породой.

Проведенные исследования показали, что упрочнение крепи и породного массива по схеме, приведенной на рис 2.б, может эффективно применяться в широком диапазоне условий и стать альтернативой использования железобетонной крепи. В глубоких столах эта технология позволит не увеличивать толщину бетонной крепи благодаря ее анкерному упрочнению.

Упрочнение крепи короткими анкерами (рис. 2.в) можно рассматривать как экономичный способ повышения несущей способности крепи на ослабленных участках (в зоне технологических швов, некачественно выполненных работ, в



местах утонения крепи и др.) при достаточно устойчивых вмещающих породах, не требующих упрочнения.

Независимое комбинированное упрочнение массива и крепи (рис. 2.г) может быть целесообразно на отдельных участках ствола, требующих направленного упрочнения массива и крепи в ослабленных зонах.

В целом выполненное моделирование показало перспективность применения бетонных крепей с анкерным упрочнением в вертикальных стволах и целесообразность проведения дальнейших исследований по разработке методических основ проектирования комбинированных крепей вертикальных стволов на основе анкеров.

### *Литература*

1. Н.С. Булычев. Механика подземных сооружений. Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1994.-382 с.

2. Сыркин П.С., Ягодкин Ф.И., Мартыненко И.А., Нечаенко В.И. Технология строительства вертикальных стволов. – М.: Недра, 1997. – 456 с.

УДК 622.281.74

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АРМИРОВКИ СЛОИСТОГО ПОРОДНОГО МАССИВА АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ**

*И.Г. Сахно, Донецкий национальный технический университет, г. Донецк*

В последние годы на шахтах Украины все большее применение находит анкерное крепление выработок. Высокие технико-экономические показатели работ делают анкерные системы весьма конкурентоспособными.

В отечественной и зарубежной практике накоплен большой опыт применения анкерных крепей в различных горно-геологических условиях, выдвинуто немало различных теорий и основанных на них методик расчета параметров анкерных крепей. Но, несмотря на большой объем проведенных в этой области исследований до сих пор выбор параметров крепления выработок анкерной крепью в условиях конкретной шахты производится больше на основе накопленного практического опыта, чем на научном подходе. То есть производитель вынужден методом проб и ошибок находить приемлемый оптимальный паспорт крепления выработки. Этот же подход заложен в действующие в настоящее время рекомендации по расчету анкерной крепи КД 12.01.01.501-98 [1].

Расчет параметров анкерной крепи ведется с позиций недопущения деформаций на контуре выработки более 50мм (1 категория пород по

устойчивости) [2], что при длине анкера 2,4м составляет 2% от глубины анкерования. Подобный подход позволяет обеспечить устойчивое состояние выработки, но приводит к установке завышенного количества анкеров и при этом совершенно не используется несущая способность породного массива.

Наблюдения за смещениями контура выработок закрепленных анкерами показывает, что они могут достигать величин более 200мм, при этом в заармированных породах не наблюдается значительного расслоения [3].

Расчет параметров анкерной крепи по существующим методикам сводится к определению длины анкеров и плотности их установки. Длина анкера, как правило, принимается больше размера зоны возможного вывала, а плотность установки анкеров определяют исходя из нагрузки на крепь и несущей способности одного анкера. Такой параметр как схема установки анкерных штанг практически не исследовался.

В статье предпринята попытка оценить степень влияния схемы установки анкеров в слоистом массиве на его деформационно-нагрузочные характеристики.

Для этой цели были проведены лабораторные исследования. В масштабе 1:30 на образцах из песчано-цементного раствора моделировался участок непосредственной кровли мощностью 1,8м и длиной 2,4м, залегающий над выработкой с плоской кровлей шириной 4,75м. Вышеуказанный участок кровли состоял из трех слоев одинаковой прочности мощностью 0,6м каждый. Анкерные штанги имитировались отрезками стального стержня. В моделируемые образцы стержни вводились по специально изготовленным шаблонам сразу после заливки модели, таким образом, закрепление их происходило по всей длине.

Для испытаний были приготовлены три серии моделей, которые соответствовали прочности пород 20, 30 и 40МПа. В каждой серии было по четыре пары образцов при плотности анкерования 1,67, 1,25 и 0,83анк/м<sup>2</sup>, которые имитировали:

- 1) слоистый массив без анкеров;
- 2) слоистый массив с радиально расположенными анкерами;
- 3) слоистый массив с перекрестным расположением анкеров в плоскости;
- 4) слоистый массив с пространственным расположением анкеров с ориентацией их по смещенным диагоналям куба.

Анкера устанавливались по квадратной сетке.

Так как имитировалась выработка с плоской кровлей, испытания проводились на изгиб.

Нагружение образцов происходило на механическом прессе, шаг приложения нагрузки – 10кгс. Образцы доводили до полного разрушения и потери несущей способности. Происходящие смещения фиксировались при помощи индикатора часового типа.

Наиболее характерные графики «нагрузка-деформация» приведены на рисунках 1 и 2. По оси абсцисс на графиках отложены смещения, по оси ординат – прикладываемая нагрузка.

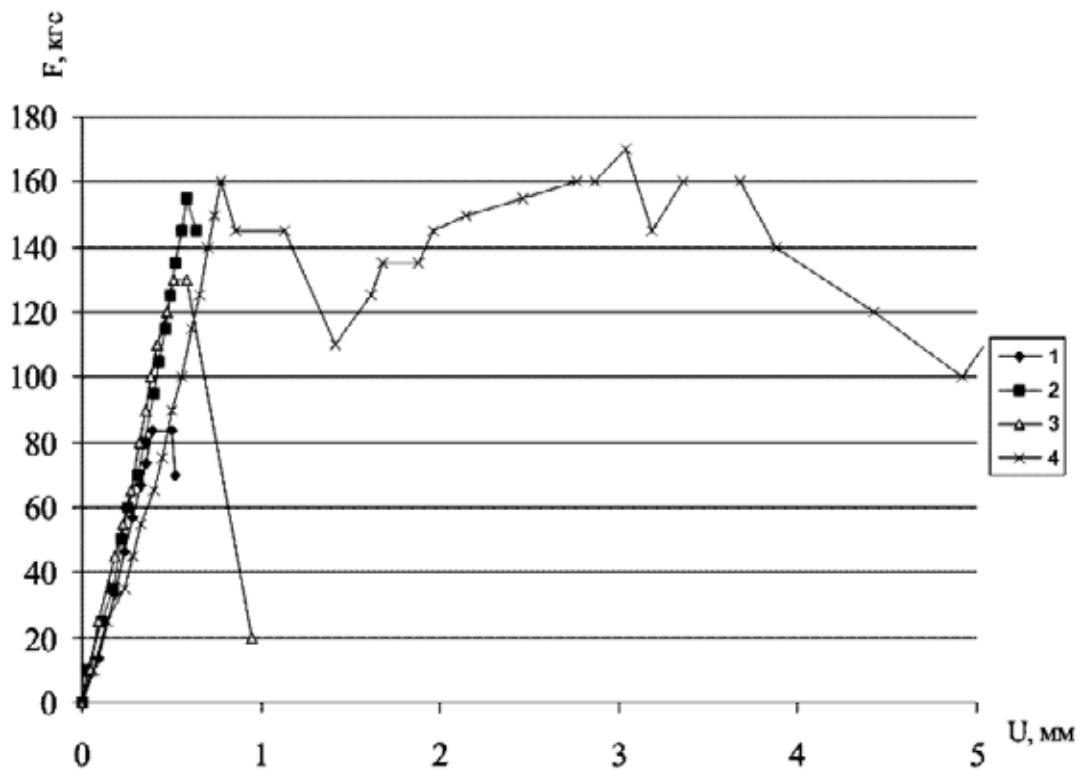


Рис. 1. Деформационная характеристика образцов при разных схемах установки анкеров (прочность 20МПа, плотность анкерования 1,25анк/м<sup>2</sup>).

1 - слоистый массив без анкеров; 2 - слоистый массив с радиально расположенными анкерами; 3 - слоистый массив с перекрестным расположением анкеров в плоскости; 4 - слоистый массив с пространственным расположением анкеров с ориентацией их по смещенным диагоналям куба.

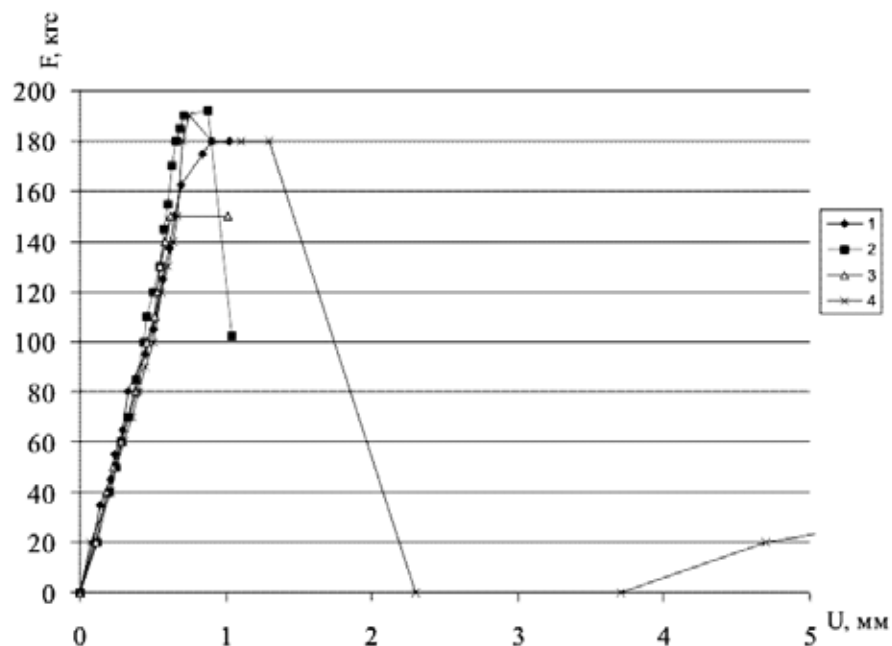


Рис. 2. Деформационная характеристика образцов при разных схемах установки анкеров (прочность 30МПа, плотность анкерования 0,83анк/м<sup>2</sup>).

После обработки результатов было замечено, что при нагружении образцов можно выделить три этапа. Первый – деформирование в пределах упругости, при этом дефектов в структуре материала не наблюдается. Второй – деформации до момента первичного трещинообразования. Третий – деформирование образца с нарушениями сплошности (трещинами).

При этом степень влияния схем установки анкеров на различных этапах была разной. Так на первом этапе такое влияние было весьма незначительным, практически все образцы деформировались одинаково. На втором этапе начинала оказывать влияние схема установки анкеров. Незакрепленные образцы испытывали незначительные пластические деформации, после чего разрушались. Образцы с радиальными и перекрестными анкерами продолжали воспринимать нагрузку до момента нарушения сплошности после чего полностью теряли свою несущую способность и разрушались. Образцы с пространственным расположением анкеров не теряли своей несущей способности после нарушения сплошности и переходили к деформациям третьего типа.

Анкера в этом случае были установлены так, что перекрывали весь укрепляемый объем. Таким образом, при разрушении материала образца анкер связывал между собой образующиеся блоки и препятствовал их дальнейшему взаимному перемещению и разрушению. Это способствовало перераспределению сил в анкерно-породной конструкции.

Также было замечено, что разрушение образцов происходило по-разному. Образцы без армировки разрушались всегда в центре пролета. Радиально армированные и с перекрестными анкерами – разрушались по наиболее близко расположенному к центру пролета ряду анкеров, так как ряд анкеров представлял собой плоскость ослабления. Этим объясняется тот факт, что образцы с максимальной плотностью анкерования не обладали лучшими характеристиками, так как в этом случае центральный ряд анкеров совпадал с серединой пролета. Образцы с анкерами, установленными по смещенным диагоналям куба, разрушались всегда по материалу в местах наименьшего влияния анкерных стержней. Эти образцы сохраняли свою несущую способность даже при видимом раскрытии трещин до момента достижения относительных деформаций 20-30%. На основании этого можно сделать вывод, что установка анкерных штанг приводит к образованию единой породно-анкерной конструкции, которая по-разному деформируется, в зависимости от схемы установки анкеров.

Учитывая характер разрушения приконтурных пород в натурных условиях, было решено ограничить исследуемую область 10% относительных смещений.

Так как на различных этапах деформирования степень влияния анкеров различна, то и оценивать ее необходимо по-разному. Было решено выделить два участка деформирования – 1 - до достижения предела упругости и 2 - от предела упругости до момента потери несущей способности (или достижения 10% относительной деформации). Образец считали потерявшим несущую способность, если воспринимаемая им нагрузка была меньше нагрузки воспринимаемой неармированным образцом.

Для оценки эффективности применения конкретной схемы анкерования массива в упругой зоне было решено использовать модуль упругости создаваемой конструкции, а после достижения предела упругости – модуль его полной деформации.

Проведенные исследования показали, что модули упругости создаваемых конструкций для всех схем анкерования были примерно одинаковыми и не отличались от модуля упругости неармированного образца. Значит, в этом случае деформирование происходило по материалу модели, а схема установки анкеров не оказывала влияния на деформационные характеристики образцов. Анализ модулей полной деформации показал, что наибольшим этот показатель является для образцов с радиально расположенными анкерами. В этом случае образцы воспринимают максимальные нагрузки, но разрушаются хрупко при небольших деформациях. Минимальные показатели модулей полной деформации были у образцов с пространственным расположением анкеров. В этом случае образцы работали в податливом режиме, несущая способность их периодически то повышалась, то понижалась, что связано с разрушением материала модели и включением в работу анкеров.

Для сравнения эффективности испытанных схем установки анкеров решено было использовать работу, затрачиваемую на доведение породно-анкерной конструкции до потери несущей способности (или относительных деформаций 10%). Как известно работа может быть рассчитана по диаграмме напряжение-деформация, как площадь, ограниченная кривой и осью деформаций [4].

На рисунке 3 приведен пример расчета работы для образцов закрепленных радиально расположенными анкерами (А1) и пространственно расположенными анкерами (А2) для случая представленного на рис. 1.

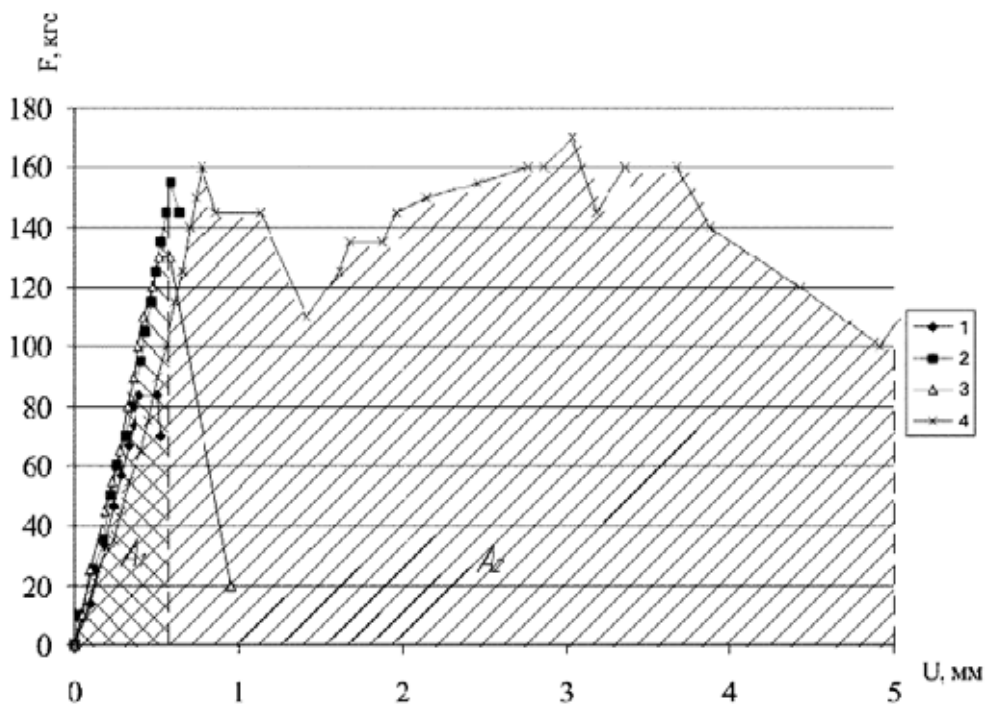


Рис. 3. Расчет работы породно-анкерной конструкции с радиально (А1) и пространственно (А2) расположенными анкерами (прочность 20МПа, плотность анкерования 1,25анк/м<sup>2</sup>)

Анализ полученных результатов показал, что работа, затрачиваемая на доведение армированных образцов до потери их несущей способности существенным образом зависит не только от схемы расположения армирующих элементов, но и от плотности их установки. Так при пространственном расположении армирующих элементов и плотности их установки 0,83, 1,25, и 1,67 анк/м<sup>2</sup> ее величина соответственно в 1,7- 3,6; 13-15,8 и 6,6-10,2 раза больше чем при радиальном расположении армирующих стержней. Это позволяет сделать вывод, что пространственная схема установки анкеров при определенных условиях значительно эффективнее традиционной.

В свете вышеизложенного видится новый подход к пониманию механизма работы анкерной крепи. Допустимые смещения контура выработки, закрепленной анкерной крепью с пространственным расположением анкеров могут достигать 10% от глубины зоны анкерования. При этом в приконтурных породах возможно нарушение сплошности. Анкерная крепь должна приводить к созданию единой породно-анкерной конструкции, которая будет сохранять свою устойчивость при значительных смещениях. Это позволит использовать прочностные свойства вмещающих пород и включить их в работу по обеспечению устойчивости выработки.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

Характер деформирования слоистого массива закрепленного анкерами зависит от схемы установки анкерных штанг. Радиальное расположение анкеров приводит к повышению жесткости создаваемой конструкции за счет увеличения контакта между слоями. В результате она воспринимает большие нагрузки при небольших деформациях. Увеличение количества анкеров приводит к повышению жесткости. Но при достижении критических смещений конструкция теряет устойчивость и несущую способность.

Пространственное расположение анкеров в слоистом массиве создает породно-анкерную конструкцию, допускающую значительные деформации и работающую в податливом режиме за счет периодического разрушения породы и включения в работу анкерных стержней. Роль анкеров в этом случае сводится не только к повышению трения между слоями пород, но и к связыванию между собой различных блоков пород, образующихся при разрушении.

Работа затрачиваемая на деформирование образцов закрепленных анкерами с пространственным расположением в 1,71- 3,6 раза при плотности анкерования 0,83 анк/м<sup>2</sup>, 13-15,8 раз при 1,25 анк/м<sup>2</sup> и 6,6-10,2 при 1,67 анк/м<sup>2</sup> больше чем при радиальном их расположении, что говорит об эффективности предлагаемой схемы.

При выборе схемы анкерования необходимо учитывать нагрузку и тип деформаций, которые будет испытывать создаваемая породно-анкерная

конструкция. Место расположения анкеров в пролете выработки должно быть таким, чтобы не создавать искусственное ослабление массива.

### *Литература*

1. КД 12.01.01.501-98. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги / Минуглепром Украины 1998.
2. Виноградов В.В. Геомеханика, мониторинг и основы технологии опорного крепления горных выработок // Уголь Украины. – 2000. №9. – С. 7-12.
3. Штанговая крепь / В.Н. Семевский, В.М. Волжский, О.В. Тимофеев, А.П. Широков и др. – М.: Недра, 1965. – 328с.
4. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1978. – 390с.

УДК 622.232.83

## **НОВАЯ ПРОХОДЧЕСКАЯ ТЕХНИКА ДОНГИПРОУГЛЕМАША ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СВОЕВРЕМЕННОЙ И КАЧЕСТВЕННОЙ ПОДГОТОВКИ ФРОНТА ОЧИСТНЫХ РАБОТ**

*В.В. Косарев, В.А. Мизин, институт Донгипроуглемаш, г. Донецк*

Одним из основных направлений работы института «Донгипроуглемаш» является создание техники для подготовительных работ и, прежде всего, проходческих комбайнов избирательного действия.

Созданные в 1994÷1996 гг., проходческие комбайны П110 и П220 завоевали популярность на Украине и широко применяются на шахтах России. В настоящее время различным потребителям поставлено более 160 единиц проходческих комбайнов П110 и П220. Накопленный опыт эксплуатации, существенно возросшие требования потребителей к этим комбайнам диктовали необходимость принятия, прежде всего изготовителем комбайнов, срочных мер по совершенствованию базовых моделей – в части расширения функциональных возможностей, оперативного создания различных исполнений под конкретные условия эксплуатации, повышения гарантийного ресурса, эксплуатационной надежности, ремонтпригодности, обеспечения более безопасных и улучшенных условий труда проходчиков.

Для насыщения рынка современными проходческими комбайнами и комплексами на их основе, создания здоровой конкуренции и заинтересованности изготовителей в совершенствовании выпускаемого оборудования, институт «Донгипроуглемаш» в 2002 г. приступил к разработке типоразмерного ряда проходческих комбайнов нового технического уровня КПД,

КПУ, КПЛ, а также не имеющего аналогов в странах СНГ проходческо-анкероувального комплекса КПА.

Первым представителем типоразмерного ряда является проходческий комбайн среднего класса КПД (рис. 1), который предназначен для проведения выработок арочной и прямоугольной формы сечением от 11 до 25 м<sup>2</sup> в проходке.



Рис. 1. Проходческий комбайн КПД

Основными конструктивными особенностями комбайна являются:

- повышенная жесткость системы подвески исполнительного органа, позволяющая снизить до минимума упругие перемещения коронки при резании пород, обеспечить стабильный шаг резания и толщину стружки при разрушении крепких пород и, тем самым, уменьшить нагрузки на привод и металлоконструкции комбайна, повысить их долговечность;

- стреловидный телескопический исполнительный орган с поперечной осью вращения, эллипсоидной формой коронок и усовершенствованной схемой набора режущего инструмента, обеспечивающий эффективное разрушение горного массива с сохранением устойчивого положения комбайна;

- возможность установки трех типов электродвигателей исполнительного органа: 110, 132 кВт ( $n = 1500$  об/мин), а также 75 кВт ( $n = 1000$  об/мин.), с целью выбора наиболее экономически эффективного режима резания пород различной прочности в диапазоне скоростей резания от 1,6 до 3 м/с;

- погрузочный орган в виде кинематически не связанных друг с другом нагребующих звезд, обеспечивающий высокую производительность при



погрузке, возможность эффективной работы в обводненных выработках, удобство при доставке, монтаже, прохождении сбоек, заездов, сопряжений за счет разборной конструкции, состоящей из 3-х частей;

- скребковый конвейер армирован полосами из износостойкой стали, повышающими его ресурс в 2-3 раза;

- установка охлаждения рабочей жидкости, обеспечивающая ограничение температуры нагрева масла в гидросистеме комбайна не более 65°;

- система высоконапорного наружного орошения, обеспечивающая в 12-15 раз снижение концентрации пыли в проходческом забое за счет обволакивания водо-воздушной смесью резцовой коронки;

- аппаратура управления и диагностики, обеспечивающая дистанционное управление комбайном, в т.ч. и беспроводное по радиоканалу.

По требованию заказчика комбайн может оснащаться:

- исполнительным органом с продольно-осевой коронкой;

- специальным исполнительным органом, позволяющим проводить выработки минимальной высоты до 2000 мм;

- коронками диаметром 1000 мм для проведения выработок минимальной высоты 2300 мм;

- активными (с индивидуальным гидроприводом) уширителями погрузочного органа для увеличения фронта погрузки до 4800 мм;

- двумя гидравлическими бурильными установками для возведения анкерной крепи, которые работают от гидросистемы комбайна;

- устройством крепемонтажным для возведения арочной крепи;

- прицепным ленточным перегружателем длиной от 19 до 40 м, с лентой шириной 800 мм, для погрузки разрушенной горной массы на скребковый и ленточный конвейеры;

- мостовым ленточным перегружателем длиной 40 м, с лентой шириной 800 мм, для погрузки разрушенной горной массы в вагонетки;

- коротким поворотным ленточным конвейером, обеспечивающим эффективную погрузку разрушенной горной массы на транспортные средства при углах поворота  $\pm 60^\circ$  от продольной оси комбайна, в отличие от традиционного  $\pm 35^\circ$  для других типов комбайнов.

В настоящее время выпущено более 30 комбайнов КПД, которые эксплуатируются на шахтах Украины, а также России в объединениях ОАО «Воркутауголь» и ООО УК «Южуголь».

В этих объединениях созданы сервисные центры и консигнационные склады, подобраны специалисты для технического обслуживания комбайнов, выполнено оснащение сервисных центров различными стендами, имитирующими работу отдельных систем для обучения обслуживающего персонала шахт навыкам работы на комбайне. Специалистами института и завода-изготовителя оказывается необходимая техническая помощь при вводе в эксплуатацию комбайнов, ведется постоянный контроль за их работой, проводятся технические совещания по дальнейшему совершенствованию отдельных узлов и систем комбайна. В результате этого уже на второй месяц работ многие бригады

достигают устойчивых темпов работы 220÷250 м при максимальных 12÷14 м/сутки.

Основные параметры комбайна КПД приведены в таблице 1.

Вторым представителем типоразмерного ряда является проходческий комбайн тяжелого (до 70 т) класса КПУ (рис. 2), который предназначен для проведения выработок сечением от 13 до 32 м<sup>2</sup> в проходке.

В мировой практике комбайны тяжелого (70 т и выше) класса занимают до 35% общего парка стреловидных проходческих комбайнов. Основным фактором, определяющим применение проходческих комбайнов, является крепость вмещающих пород. Для расширения их области применения необходимо создавать комбайны, которые могут устойчиво разрушать породы с коэффициентом крепости  $f \leq 8$  ( $\sigma_{сж} \leq 120$  МПа) и преодолевать отдельные участки выработки с присечкой пород  $f \leq 9\div 10$  ( $\sigma_{сж} \leq 130\div 145$  МПа). Выполненный анализ горно-геологических условий украинских шахт говорит о том, что эффективной областью работы проходческих комбайнов тяжелого типа могут быть выработки, проводимые с присечкой пород крепостью  $f = 6\div 8$  ( $\sigma_{сж} \leq 85\div 120$  МПа), доля которых составляет около 27% пластовых и 42% полевых выработок.



Рис. 2. Проходческий комбайн КПУ

Отличительными конструктивными особенностями комбайна КПУ являются:

- исполнительный орган энерговооруженностью 220 кВт, который при массе комбайна 70 т обеспечивает его высокопроизводительную и устойчивую работу по разрушению забоя. Возможность установки двигателей с суммарной мощностью 150 кВт (2x75 кВт) и частотой вращения 1000 об/мин позволяет

получить пониженную в 1,5 раза скорость резания и, тем самым, перейти на оптимальный режим по разрушению крепких абразивных пород;

- погрузочный орган в виде нагребавших звезд, обеспечивающий высокую производительность при погрузке и возможность работы в обводненных выработках;

- гусеничный ход с двумя приводными блоками (впереди и сзади) на каждой гусеничной тележке, обеспечивающий высокое тяговое усилие, что особенно важно при работе на уклоне;

- система высоконапорного внешнего орошения;

- оснащение комбайна средствами для возведения анкерной и арочной крепи;

- дистанционное управление комбайном, в т.ч. радиоуправление.

Основные параметры комбайна КПУ показаны в таблице 1.

По результатам проведения приемочных испытаний опытного образца в 2004 г. комбайн КПУ принят к серийному производству. В настоящее время на ЗАО «Горловский машиностроитель» идет подготовка к изготовлению первых двух комбайнов установочной серии.

Несмотря на то, что тенденция постепенного вытеснения комбайнами среднего (до 50 т) и тяжелого (до 70 т) классов легких (до 25 т) комбайнов существует, доля последних (комбайны 1ГПКС) в общем парке проходческих комбайнов на Украине составляет на сегодня 43% или 210 единиц. Учитывая то, что большинство комбайнов 1 ГПКС работают в горно-геологических условиях, превышающих их техническую характеристику, прежде всего по крепости разрушаемых пород, институтом «Донгипроуглемаш» разработан проходческий комбайн легкого типа КПЛ (рис. 3), который предназначен для проведения выработок сечением от 7 до 20 м<sup>2</sup> в проходке по породам крепостью  $f \leq 6$  ( $\sigma_{сж} \leq 80$  МПа).



Рис. 3. Проходческий комбайн КПЛ

Конструктивными особенностями комбайна КПЛ являются:

- высокая энерговооруженность исполнительного органа (110 кВт) при относительно небольшой массе комбайна (26 т), позволяющая получить максимальную производительность при разрушении забоя;
- рациональная компоновка основных силовых узлов, позволяющая проводить выработки минимальной высоты (до 2 м);
- погрузочный орган в виде двух независимых скребковых конвейеров, обеспечивающих погрузку отбитой горной массы по всей ширине выработки и ее транспортирование вдоль комбайна;
- возможность диагонального движения исполнительного органа по забою;
- установка охлаждения рабочей жидкости, ограничивающая температуру нагрева масла в гидросистеме комбайна не выше 65° С;
- аппаратура управления и диагностики, обеспечивающая дистанционное, местное и радиоуправление комбайном, контроль и визуальное отображение параметров основных узлов и систем комбайна.

Основные параметры комбайна представлены в табл. 1.

Опытный образец комбайна прошел предварительные стендовые испытания на пороцементном блоке (рис. 4), где было разрушено и погружено около 40 м<sup>3</sup> пороцементной смеси, проведен комплекс тензометрических замеров нагруженности силовых узлов комбайна, проверена работоспособность его принципиально новых узлов и систем, выполнена необходимая доработка комбайна перед отправкой его на шахту.



Рис. 4. Проходческий комбайн КПЛ на пороцементном блоке

В настоящее время опытный образец проходческого комбайна КПЛ проходит приемочные испытания на ООО ш/у «Садкинское» УК «Южуголь» (Россия).



Несмотря на очевидные преимущества, все стреловидные комбайны имеют один существенный недостаток – невозможность совмещения операций по разрушению забоя и возведению крепи. В результате этого коэффициент машинного времени работы этих комбайнов едва достигает 0,35.

Опыт работы ведущих угледобывающих стран мира – США, Австралии, Великобритании, Германии говорит о возможности решить задачу совмещения операций по разрушению забоя и возведению крепи, при этом коэффициент машинного времени может быть равен 0,9. Этого можно достичь, только применяя технологию крепления выработок с помощью анкерной крепи. Такая технология крепления очень широко применяется на шахтах России, а в последнее время получает все большее распространение в угольной и горнорудной промышленности Украины.

Учитывая горно-геологические условия угольных шахт Украины, где среднединамическая мощность обрабатываемых в настоящее время угольных пластов составляет 1,21 м, а технология работ предполагает обязательную присечку пород при проведении выработок, перед институтом «Донгипроуглемаш» была поставлена задача создания проходческо-анкероувального комплекса КПА (рис. 5) для проведения выработок с плоской кровлей сечением от 13,5 до 21 м<sup>2</sup> по углю и смешанному забою с крепостью пород  $f \leq 6$  ( $\sigma_{сж} \leq 80$  МПа), существенного снижения трудоемкости крепления, обеспечения темпов проходки 600÷800 м/месяц.

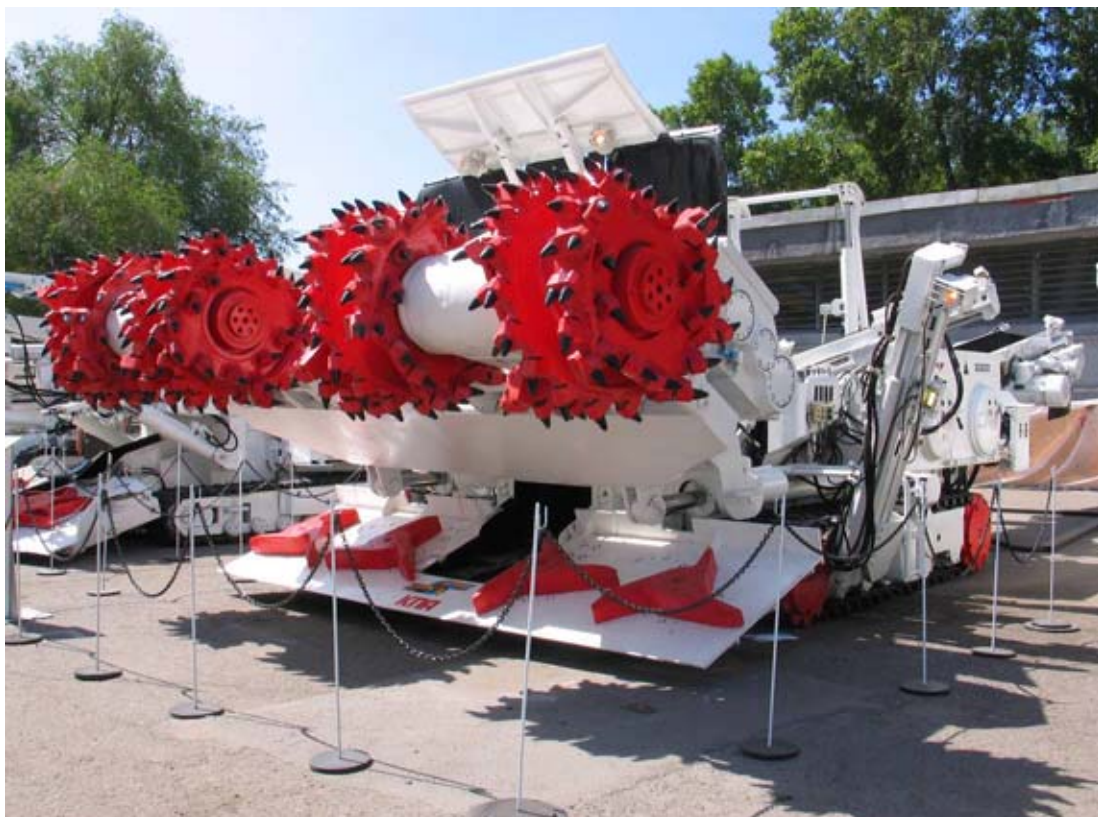


Рис. 5. Проходческо-анкероувальный комплекс КПА

Отличительными особенностями комплекса КПА являются:

- высокая энерговооруженность двух исполнительных органов суммарной мощностью 320 кВт;
- совмещение операций по разрушению забоя и возведению анкерной крепи;
- возможность одновременной установки 4-х анкеров в кровлю и 2-х в бока выработки;
- наличие предохранительного распорного устройства для поддержания кровли в зоне работы исполнительного органа;
- дистанционное управление работой комбайна, в т.ч. радиоуправление.

Комбайн может оснащаться ленточным перегружателем длиной до 40 м, специальным погрузочным пунктом, системой высоконапорного внешнего орошения, агрегатом обеспыливающим.

В 2005 г. комплекс КПА был изготовлен ЗАО «Горловский машиностроитель», проведены предварительные стендовые испытания на углепородо-цементном блоке (рис. 6), где комбайном было разрушено и погружено более 170 м<sup>3</sup> материала блока, отработаны режимы бурения и установки анкерной крепи, выполнены необходимые тензометрические замеры нагруженности основных силовых узлов при различных режимах резания и схемах набора инструмента на шнеках исполнительного органа, доработаны отдельные узлы по результатам испытаний и пожеланий потенциальных заказчиков Украины и России.

Приемочные испытания опытного образца проходческого комплекса КПА предполагается провести на одной из шахт ОАО «Воркутауголь» (Россия) в 2006 г.



Рис. 6. Проходческо-анкероувальный комплекс КПА на углепородоцементном блоке.

## Техническая характеристика проходческих комбайнов

Наименование параметра	КПЛ	КПД	КПУ	КПА
Предельная прочность разрушаемых пород, МПа	80	100	120	80
Суммарная номинальная мощность электродвигателей, кВт	202,5	210	335	540
Номинальная мощность электродвигателя исполнительного органа, кВт	110 (75)	110 (132, 75)	2x110 (2x75)	2x160
Строительная высота по корпусу, мм	1800	1500	1900	2000
Масса, т	26	39	70	75
Максимальное сечение проводимой выработки, м <sup>2</sup>	20	25	35	Прямоугольная 21
Минимальное сечение проводимой выработки, м <sup>2</sup>	7	11	13	Прямоугольная 13,5
Минимальная высота проводимой выработки, м (со специальным исполнительным органом)	1900	2700 (2000)	2900	2600
Ширина по питателю (минимальная), мм	3900 (2800)	3800, 4800 (3200)	3800, 4800 (3800)	5200, 6000 (4500)
Наличие дистанционного управления, в т.ч. по радиоканалу	да	да	да	да
Наличие бурильных установок для возведения анкерной крепи	нет	2 шт.	2 шт.	6 шт.
Наличие высоконапорного орошения	нет	да	да	да

**Выводы:**

1 Новые проходческие комбайны типоразмерного ряда КПД, КПУ, КПЛ охватывают практически весь диапазон горно-геологических условий шахт Украины и России.

2 Базовые исполнения комбайнов предусматривают возможность оперативного оснащения комбайнов навесным и прицепным оборудованием в различной комплектации для комплексного решения всех вопросов проходческого цикла.

3 Проходческо-анкероувальний комплекс КПА дозволяє проводити вироботки с плоской кровлей сечением до 21 м<sup>2</sup> (6х3,5) по смешанному забою с крепостью пород  $f \leq 6$  ( $\sigma_{сж} \leq 80$  МПа) с совмещением операций по разрушению забоя и возведению анкерной крепи, обеспечивая темпы проходки 600÷800 м/мес.

Широкое внедрение проходческих комбайнов КПД, КПУ, КПЛ и комплексов на их основе, а также проходческо-анкероувальных комплексов КПА позволит существенно увеличить темпы проведения выработок, ускорить ввод лав под современные очистные комплексы, обеспечить многим шахтам стабильное поддержание готовых к выемке запасов на уровне 1,5÷2 лет работы шахты, значительно снизить долю ручного труда, создать более безопасные условия для проходчиков.

УДК 622.232.83

## **ОПЫТ СОЗДАНИЯ ПОДДИРОЧНО-ПОГРУЗОЧНЫХ МАШИН**

*В.А. Мизин, А.В. Сытник, Н.Н. Данилов, Донгипроуглемаш, г. Донецк*

Поддирка вспученных пород почвы – трудоемкий и практически не механизированный вид ремонта подготовительных выработок. До 90% всех почвоподдирочных работ на шахтах Украины ведется как вручную, так и с применением буровзрывных работ с последующей погрузкой породы, при этом производительность труда составляет не более 1,5 – 2 м<sup>3</sup>/чел.-смен.

Использование громоздких проходческих комбайнов на поддирке экономически не выгодно, а объемы поддирки, выполняемые сегодня специализированными импортными ковшовыми машинами фирм «Хаусхер» и «Хаземаг», которые, хотя и повышают в несколько раз производительность труда, могут поддирать лишь сильно трещиноватые породы с малым коэффициентом крепости  $f \leq 3...4$ , составляют 2-3%. Кроме того, возможность только передней и боковой разгрузки ковшовой машины не позволяет работать в комплексе с транспортным средством, расположенным позади, что затрудняет ее применение в однопутевой выработке. Даже при самых благоприятных условиях работы производительность ковшовых машин составляет не более 0,15 м<sup>3</sup>/мин.

Еще в 1999 году институт «Донгипроуглемаш», проанализировав условия применения почвоподдирочных машин фирмы «Хаусхер», принял решение о создании поддирочно-погрузочной машины со следующими отличительными особенностями:



- повышенная производительность при разрушении и погрузке пород за счет применения вращающегося резцового исполнительного органа с поперечными коронками;
- возможность разворота резцовых коронок вокруг продольной оси машин на 180° с целью оперативного получения в почве выработки водосточных канавок, прямков под крепь и других технологических элементов по контуру выработки;
- возможность задней и боковой погрузки горной массы в любые транспортные средства;
- гидравлический привод скребкового кольцевого реверсивного конвейера, позволяющий работать в режиме «прокачки» с накоплением породы на конвейере в объеме до 1,5 м<sup>3</sup>;
- дистанционное управление для вывода машиниста из фронта ремонтируемой части выработки;
- возможность проведения нарезных выработок при мощности пласта 1,3 – 2 м без присечек боковых пород.



Рис. 1. Поддирочно-погрузочная машина МПП

Эти технические решения были рассмотрены и утверждены на совещаниях с участием представителей шахт, имеющих большие объемы поддирки и опыт работы на почвоподдирочных машинах фирмы «Хаусхер». За относительно

короткий срок – 11 месяцев – институтом «Донгипроуглемаш» и ЗАО «Новоκραматорский машзавод» были изготовлены два опытных образца поддирочно-погрузочной машины МПП (рис. 1), один из которых демонстрировался на **6-й Международной выставке «Уголь/Майнинг-2000»** и вызвал большой интерес у представителей угольных компаний, шахт, специалистов из России, Беларуси, Германии и Великобритании.

В 2002 году арендное предприятие «Шахта им. А. Ф. Засядько» приобрело первый опытный образец поддирочно-погрузочной машины МПП и в декабре того же года начались его приемочные испытания в забое восточного коренного штрека гор.1235 м со следующими горнотехническими условиями:

- сечение  $15,6 \text{ м}^2$  ;
- слой поддираемой почвы до  $0,7 \text{ м}$ ;
- крепость пород почвы до  $f \leq 7$ ;
- ширина выработки  $4,98 \text{ м}$ ;
- обводненность  $5 \text{ м}^3/\text{час}$ .

Поддирка почвы велась по всей части штрека, не занятого технологическим оборудованием транспортной цепочки. При этом рельсовый путь демонтировался, а после поддирки и выгрузки в вагоны слоя почвы до  $0,8 \text{ м}$  – восстанавливался в целях обеспечения доставки материалов, необходимых для крепления выработки, которая проводилась проходческим комбайном П220.

Технологическая схема работы машины показана на рис. 2.

Наряду с достаточно высокой производительностью –  $0,3 \text{ м}^3/\text{мин}$  и возможностью осуществлять поддирку пород крепостью  $f \leq 7$  шахтеры справедливо отмечали трудность разборки и сборки отдельных узлов машины из-за компактности их расположения, необходимость совершенствования системы управления машиной.

В процессе испытаний подтвердились предположения специалистов шахты, что для более эффективной работы машины и полной реализации ее возможностей нужен ленточный перегружатель легкого типа длиной  $6 \text{ м}$ , который должен быть установлен на машине.

За период испытаний опытным образцом поддирочно-погрузочной машины МПП пройдено более  $1000 \text{ м}$  штрека. Объем разрушенной и погруженной горной массы составил около  $3600 \text{ м}^3$ .

В августе 2003 года арендное предприятие «Шахта им. А. Ф. Засядько» приобрело второй образец поддирочно-погрузочной машины МПП, который был отправлен в забой откаточного штрека гор. 1235 м, где глубина поддирки доходила до  $1,7 \text{ м}$  при крепости пород  $f \leq 6$ .

В таких условиях вторая машина прошла более  $300 \text{ м}$  штрека.

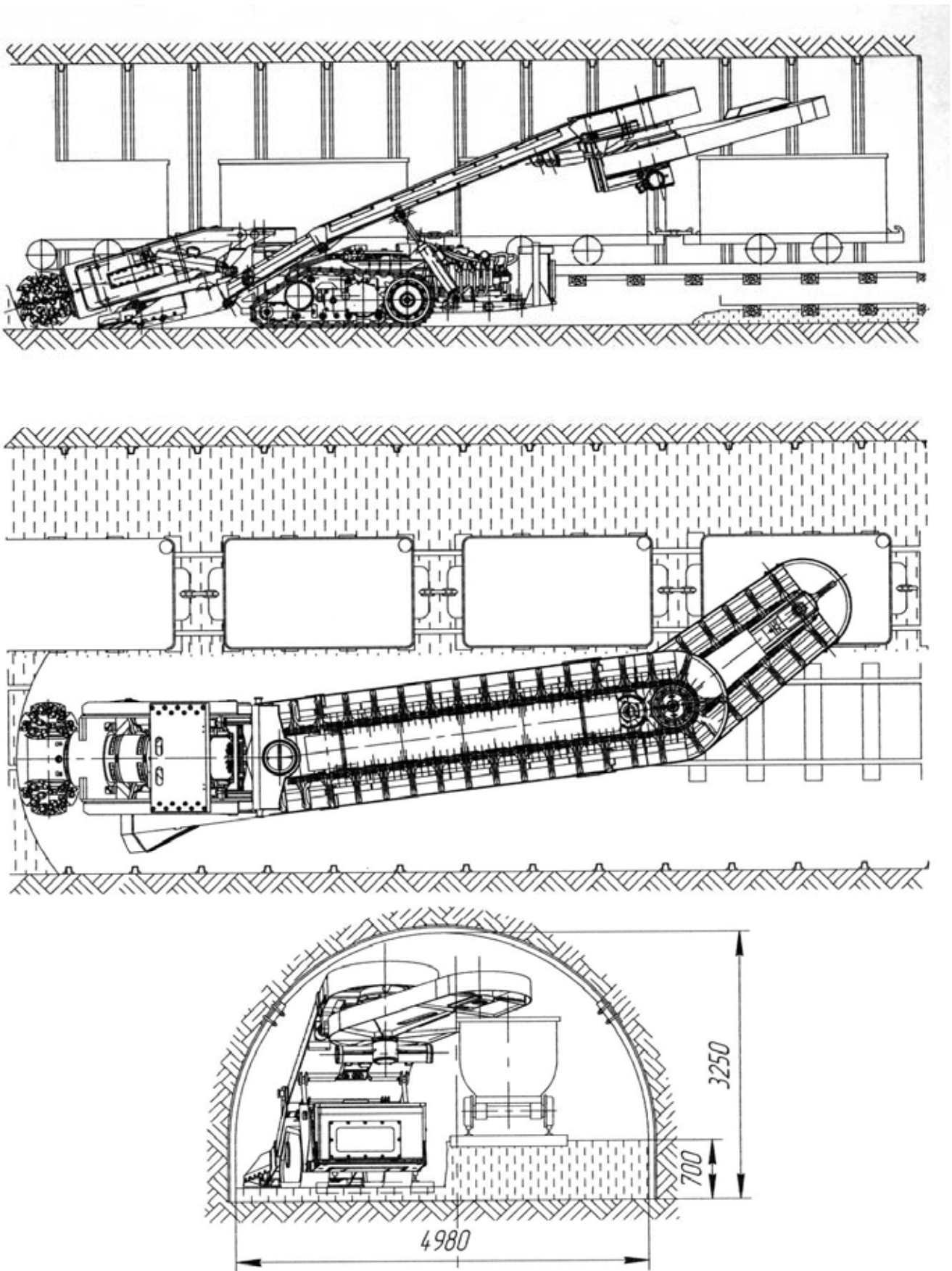


Рис. 2. Технологическая схема работы машины на шахте им. А.Ф. Засядько

В настоящее время обе машины продолжают эксплуатироваться на шахте. С учетом накопленного опыта эксплуатации, предложений специалистов шахты по дальнейшему совершенствованию машины, институтом «Донгипроуглемаш» разработана, а ЗАО «Горловский машиностроитель» изготовлена усовершенствованная поддирочно-погрузочная машина МПР (рис. 3).



Рис. 3. Поддирочно-погрузочная машина МПР

Основные отличия машины МПР от предыдущей разработки:

- наличие телескопического исполнительного органа с величиной раздвижности 0,5 м и механизированным разворотом резцовых коронок вокруг продольной оси, расширяющее технические возможности машины;
- существенное увеличение размахов исполнительного органа по ширине (с 3,4 до 5,4 м) и высоте (с 2,5 до 3,5 м), что позволяет функционально рассматривать машину как мини-комбайн, имеющий габаритные размеры по ширине - 1,35 м и высоте - 1,2 м., что может быть особенно актуально при проведении разрезных печей;
- наличие поворотного на  $\pm 90^\circ$ , скребкового перегружателя, работающего от привода основного конвейера, что делает машину более маневренной и автономной;
- управление машиной осуществляется с носимого беспроводного радио- или электрического пульта, что значительно улучшает условия работы оператора в части безопасности и оперативности управления.

Параметры поддирочно-погрузочной машины МПР приведены в табл. 1.



## Основные параметры и размеры машины МПР

Наименование параметра	Значение параметра
Техническая производительность, м <sup>3</sup> /мин: - при прочности пород при одноосном сжатии 40 МПа ( $f \leq 3$ ) - при прочности пород при одноосном сжатии 70 МПа ( $f \leq 5$ )	0,68 0,23
Номинальная мощность двигателя исполнительного органа, кВт	55
Суммарная мощность двигателей, кВт	110
Телескопичность стрелы, м	0,5
Размах стрелы, м: - по ширине - по высоте	5,4 3,5
Скорость перемещения, м/мин	12,4
Удельное давление на почву, МПа	0,17
Номинальное рабочее давление в гидросистеме, МПа	14
Габаритные размеры в транспортном положении, м: - по ширине (без уширителей) - по ширине (с уширителями) - по высоте - по длине (без перегружателя) - по длине (с перегружателем)	1,35 1,85 1,2 8,6 10,5
Масса, т	23

За последние два года практически все виды вновь создаваемого институтом проходческого оборудования проходят испытания на полноразмерных углепородоцементных блоках с крепостью пород от  $f = 3$  до  $f = 7$ , специально сооружаемых на заводе-изготовителе – ЗАО «Горловский машиностроитель». На блоках производится проверка функционирования отдельных механизмов и систем машин, выполняется комплекс тензометрических замеров Таблица исполнительного органа и маслостанции, уровня рабочего давления при работе машины по разрушению забоя, при погрузке и перемещении, скорость выполнения команд при различных режимах управления. После обработки результатов вносятся необходимые усовершенствования, при необходимости выполняется доработка узлов на заводе перед отправкой машины заказчику.

Испытания новых машин на породоцементных блоках производятся с показом потенциальным заказчикам возможностей испытываемых образцов. Здесь специалисты шахт могут дать свои замечания и пожелания по доработке с максимальным учетом индивидуальных особенностей эксплуатации.

Так, при демонстрации работы машины МПР на блоке, специалистами ГП «Донецкуголь» шахты «Октябрьский рудник», ш/у «Садкинское»(Россия) были высказаны замечания и пожелания по дополнительной защите отдельных элементов электро-гидропривода от возможных механических повреждений, переноса в более удобное место фар и светильников, увеличения клиренса, а также дополнительного оснащения машины аутригерами.

На рис. 4 и 5 показаны фрагменты стендовых испытаний машины МПР на блоке.



Рис. 4. Машина МПР на стенде



Рис. 5. Выгрузка горной массы с развернутым на  $90^{\circ}$  скребковым перегружателем

### **Выводы:**

Конструкторами Донгипроуглемаша, совместно со специалистами заводов и шахт, разработана и испытана уникальная поддирочная машина, способная в 3-4 раза поднять темпы ремонтных работ по сравнению с имеющимися зарубежными образцами и в 10-15 раз - с традиционным для украинских шахт ручным способом проходки. Учитывая объемы ремонтных работ на шахтах Украины (325 км в год), значительные людские ресурсы, задействованные на этом направлении подземного производства, масштабное внедрение поддирочных машин МПР позволит стабилизировать работу шахт и снизить себестоимость добычи угля при острой нехватке подземного персонала.

УДК 622.831

## **ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОДОЛЬНО-БАЛОЧНОЙ КАРКАСНОЙ КРЕПИ УСИЛЕНИЯ С ПОРОДАМИ КРОВЛИ НА КОНТУРЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ**

*Г.И. Соловьев, Донецкий национальный технический университет, г. Донецк*

Применяемые в настоящее время средства крепления и способы охраны подготовительных выработок глубоких не обеспечивают их устойчивости в зоне влияния очистных работ [1-2], в силу существенной изменчивости горно-геологических условий эксплуатации угольных пластов и несоответствия их параметров специфике проявлений горного давления на больших глубинах разработки.

Сотрудниками Донецкого национального технического университета был разработан новый способ продольно-жесткой консолидации арочной крепи за счет перераспределения повышенного горного давления по длине выработки между перегруженными и недогруженными ее комплектами. Предложенный способ продольно-жесткой консолидации работы комплектов крепи, позволяет повысить работоспособность арочной крепи, которая, как известно, нагружена по своему периметру и по длине выработки весьма неравномерно. Продольная связь комплектов крепи осуществляется за счет подвешивания к верхняку каждой арки одной или двух балок из отрезков двутавра или спецпрофиля СВП-27.

Проведенные натурные, теоретические и лабораторные исследования позволили теоретически обосновать параметры нового способа обеспечения устойчивости выемочных выработок.

С 1998 по 1999 г.г. на шахте «Южнодонбасская №3» в условиях 4-й восточной лавы пласта  $c_{11}$ , отработывавшей выемочный столб по восстанию пласта с применением комбинированной системы разработки (рис. 1), в качестве усиливающей крепи использовалась жесткая продольная балка из двутавра № 14 (рис. 2). Вентиляционный ходок, проведенный комбайном вприсечку с оставлением угольного целика шириной 4 м, охранялся 2-мя рядами выкладываемых вплотную деревянных бутокостров шириной по 1,5 м. Крепь усиления подвешивались к верхнякам арочной крепи на расстоянии 250 м перед

очистным забоем до входа экспериментального участка выемочной выработки в зону влияния опорного давления лавы. Балка состояла из отдельных звеньев длиной по 4 м, которые соединялись между собой внахлест на 0,5 м болтовыми соединениями. Для предотвращения искривления профиля верхняка между ним и балкой располагались криволинейные сегменты жесткости из спецпрофиля, подвешиваемые к верхняку по своим концам металлическими хомутами (рис. 2).

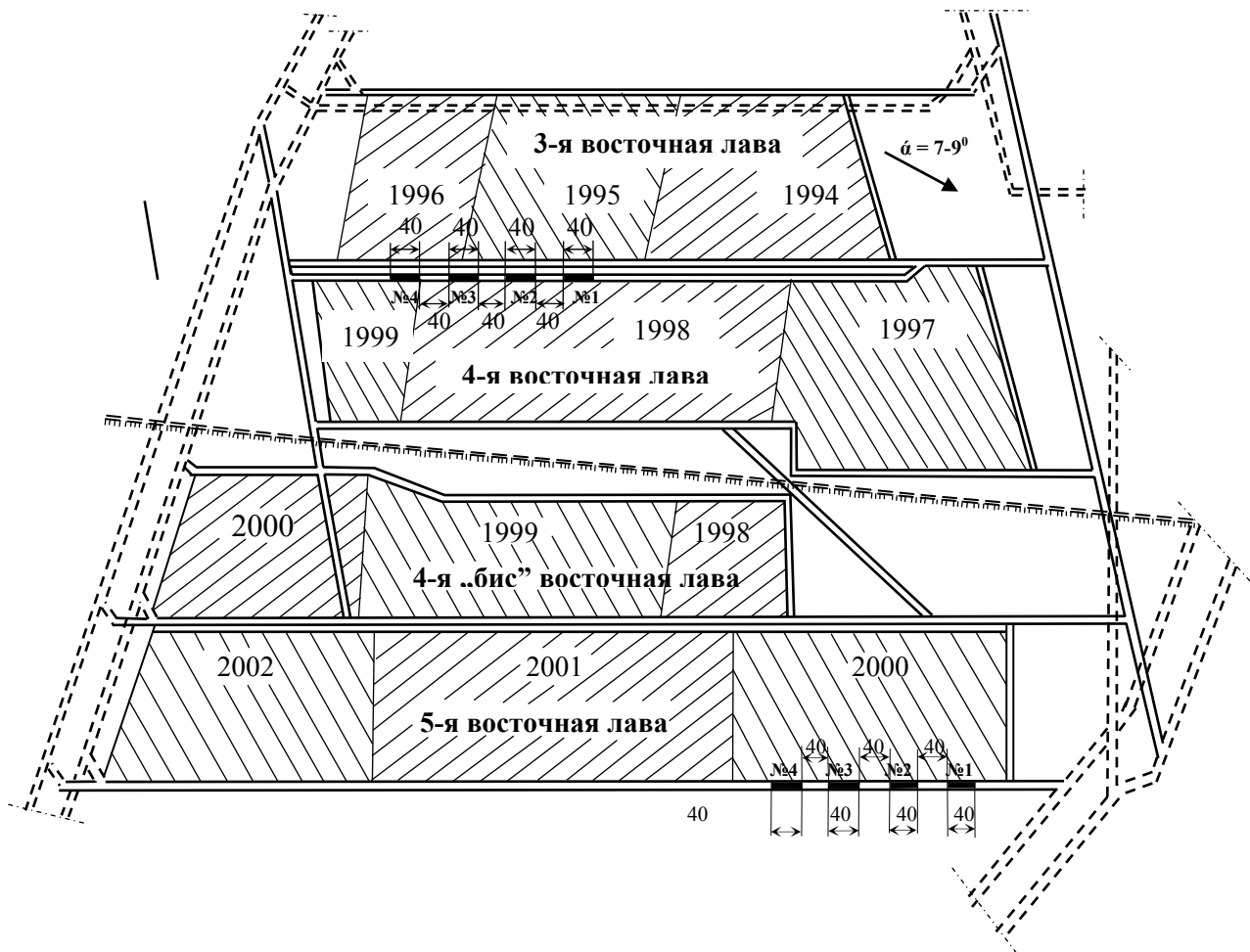


Рис. 1. Выкопировка из плана горных выработок пласта с<sub>11</sub> шахты «Южнодонбасская № 3»

В воздухоподающем ходке 4-й восточной лавы было испытано четыре варианта усиливающей крепи (рис. 2): одинарная двутавровая балка с дополнительным сегментом жесткости; две параллельные двутавровые балки с сегментом жесткости; одинарная двутавровая балка с сегментом жесткости и усилением каждого комплекта арочной крепи вертикальным центрально расположенным химическим анкером длиной 2,5 м и две параллельные двутавровые балки с сегментом жесткости и установкой на каждой раме крепи двух химических анкеров длиной по 2,5 м с наклоном их донной части на  $30^\circ$  в обе стороны от вертикали.

В конвейерном ходке 5-й восточной лавы было испытано два варианта продольно-балочного усиления: одинарная и спаренная каркасной крепи при асимметричном их расположении по верхняку арочной крепи со стороны лавы (рис. 2).



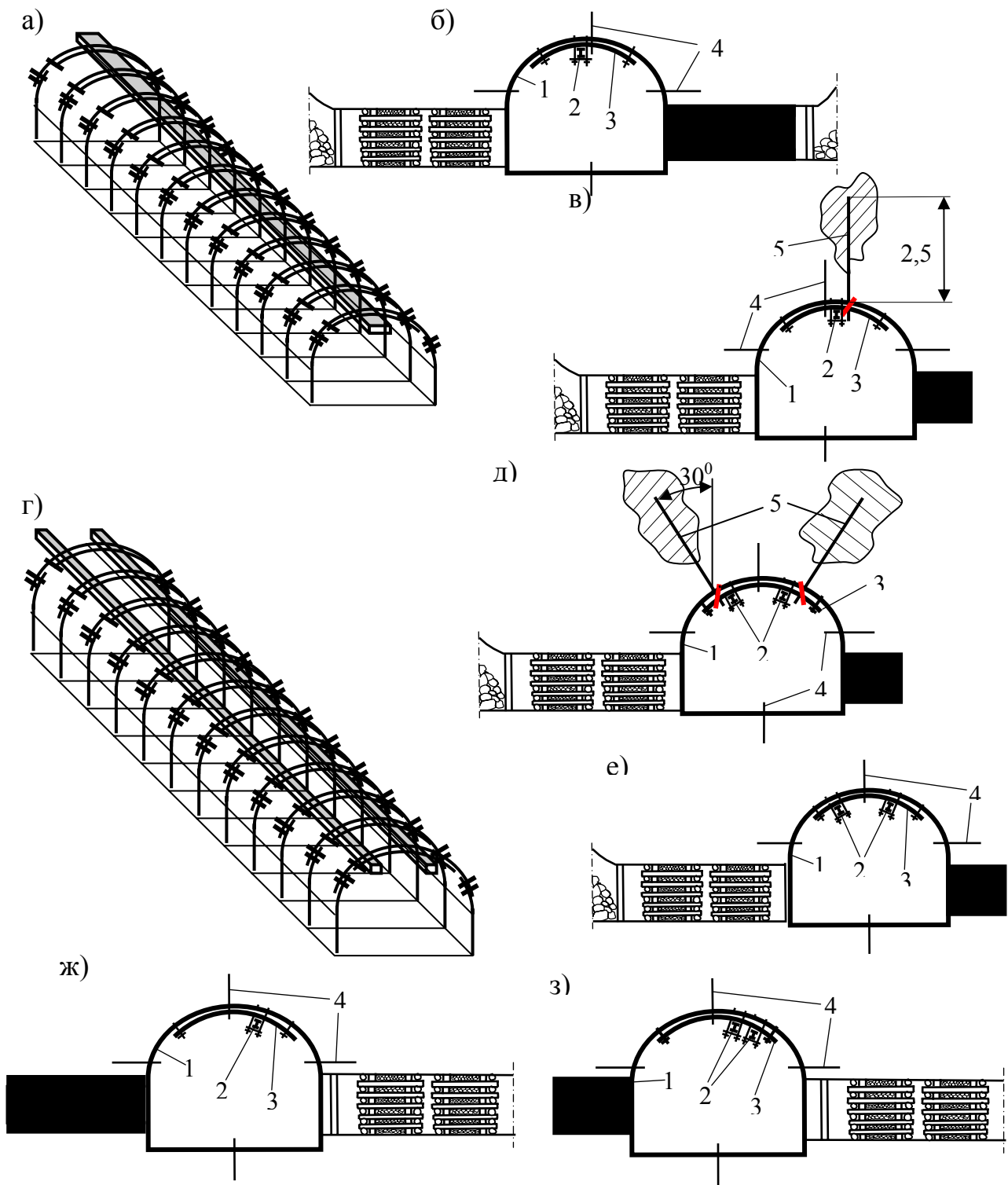


Рис. 2. Варианты продольно-балочного усиления основной крепи выемочных выработок пласта с<sub>11</sub> шахты «Южнодонецкая №3»:  
а-е – воздухоподающий ходок 4-й восточной лавы, ж-з – транспортный ходок 5-й восточной лавы; а, б, в – применение однобалочной крепи усиления; г, д, е – применение двухбалочной крепи усиления, (в и д - использование соответственно одинарной и двойной комбинированной балочно-анкерной крепи); 1– арочная крепь, 2- продольная двутавровая балка, 3 – сегмент жесткости из СВП-27, 4- реперы, 5 – химические анкеры

На рис. 3 представлены результаты инструментальных наблюдений за смещениями и скоростями смещений контура кровли выработки на контрольном и 4-х экспериментальных участках при применении 4-х вариантов усиливающей крепи.

Применение продольно-жесткой крепи усиления позволило отказаться от использования на сопряжении 4-й восточной лавы с вентиляционным ходком агрегатной крепи сопряжения, т.к. функции этой крепи эффективно выполняла крепь усиления. Продольно-жесткой связью комплектов арочной крепи по длине выемочной выработки балками с жесткостью  $15 \cdot 10^6 \text{ Нм}^2$ , как видно из представленных на рис. 3 графиков, позволило уменьшить смещения контура кровли в зоне влияния очистных работ более чем в два раза.

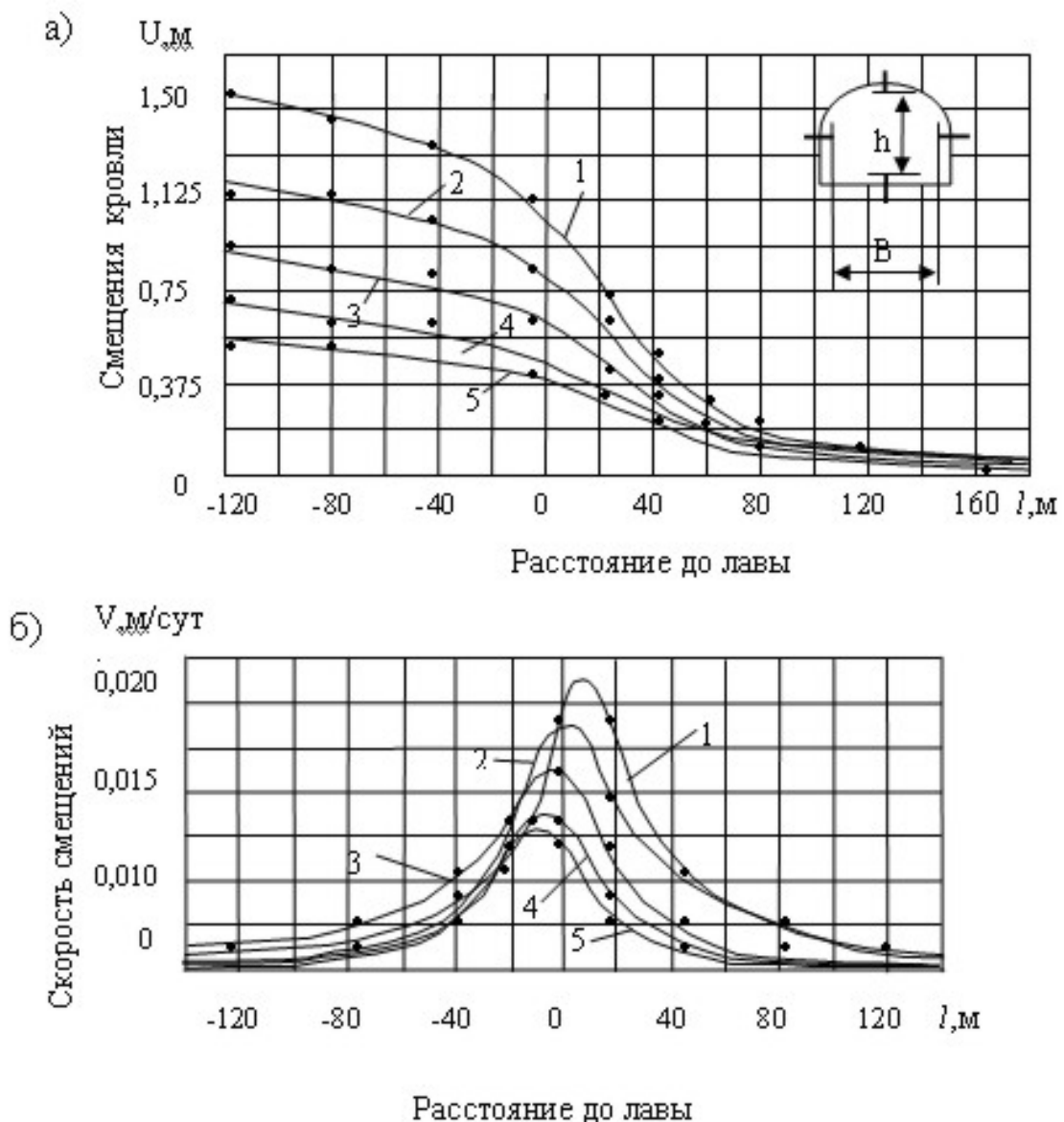


Рис. 3. График смещений (а) и скоростей смещений (б) контура кровли вентиляционного ходка от расстояния до лавы на контрольном – 1, первом – 2, втором – 3; третьем – 4 и четвертом – 5 экспериментальных участках

При этом следует отметить, что применение двойной продольно-балочной крепи усиления в комбинации с усиливающими химическими анкерами обеспечивает минимальные смещения пород кровли, но разница с двойной продольно-балочной крепью усиления без химанкеров составляет 15-20%.

Таким образом, использование продольно-балочной каркасной крепи усиления позволяет обеспечить устойчивость подготовительных выработок глубоких шахт в зоне влияния очистных работ за счет использования внутреннего ресурса арочной крепи, заключающегося в рациональном перераспределении повышенной нагрузки с перегруженных комплектов арочной крепи на недогруженные.

Следует также отметить, что данный технологический эффект получается за счет применения малозатратного технического решения, не создающего технологических помех выполнения основных производственных процессов в выемочной выработке весьма насыщенной горношахтным оборудованием на сопряжении с лавой.

### *Литература*

1. Бондаренко Ю.В., Татьянченко А.Г., Соловьев Г.И., Захаров В.С. Разработка математической модели процесса деформирования контура выработки при использовании каркасной крепи усиления // Известия Донецкого горного института. 1998. №2. С.92-96.

2. Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Захаров В.С. Изменения деформаций контура кровли выемочной выработки при использовании каркасной крепи усиления // Известия Донецкого горного института. 1999. №1. С.66-70.

3. Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Захаров В.С. Лабораторные исследования взаимодействия каркасной усиливающей и основной крепи выемочной выработки // Известия Донецкого горного института. 1999. №2. С.124-130.

4. Соловьев Г.И., Захаров В.С. Особенности деформирования контура выработки при ее жестко-каркасном усилении // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Перспективы развития горных технологий в начале третьего тысячелетия». Алчевск. 1999. С.116-118.

5. Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Кублицкий Е.В., Петренко А.В. Определение параметров жестко-каркасного усиления крепи выемочной выработки // Геотехнологии на рубеже XXI века. – Донецк: ДУНПГО. 2001. Т1.- С.68-74.

6. Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Кублицкий Е.В., Мороз О.К. О влиянии жесткости каркасной крепи усиления на смещения пород кровли // Известия Донецкого горного института. 2001. № 1. С.59-61.

7. Соловьев Г.И., Татьянченко А.Г., Петренко А.В. О математической модели каркасной крепи усиления горных выработок // Известия Донецкого горного института. 2001. № 1. С.61-64.

8. Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Кублицкий Е.В., Демин И.К. О физической модели взаимодействия каркасной усиливающей крепи выемочной выработки с вмещающими породами // Горный информационно-аналитический бюллетень Московского государственного горного университета. 2002. №6. С.183-187.

9. Соловьев Г.И., Панфилов Ю.Н., Толкачев А.Ф., Малышева Н.Н. Определение рациональных параметров арочной крепи с усиливающим сегментом жесткости // Вісті Донецького гірничого інституту, №1, 2005 р., С.39-46.

УДК 621.391.14

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО СЕТИ 0,4 КВ ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

*Ю.Г. Войлов, М.Б. Базовой, Восточноукраинский национальный  
университет имени Владимира Даля, г. Луганск*

В рамках государственной политики по энергосбережению становится актуальной разработка комплекса для организации непрерывного автоматизированного контроля и учета потребления электроэнергии в жилищно-коммунальном и промышленном секторах экономики. Основной целью учета электрической энергии является получение достоверной информации о количестве произведенной, переданной, распределенной и потребленной электрической энергии и ее мощности. Особую актуальность приобретает этот вопрос при рассмотрении системы энергоснабжения современного горнодобывающего предприятия с угледобычей 1 миллион тонн в год и более.

Общепринятое решение реализации подобного рода систем с использованием модема силовой линии для передачи данных по силовым кабелям 0,4 кВ показывает хорошие результаты при использовании в условиях жилых массивов, поскольку уровень помех и их специфика не критично влияют на процесс передачи информации с используемой скоростью (до 20 кбит/сек). Однако использование подобной системы в условиях современного горного предприятия затруднено наличием мощного электрического оборудования, которое создаёт помехи специфического характера. Следовательно, для передачи информации по силовым сетям угледобывающего предприятия необходима разработка специализированных программно-аппаратных средств, учитывающих особенности данных каналов связи. Это возможно в случае априорных сведений о свойствах помехи и сигнала в сетях с высокой зашумлённостью, что приводит к необходимости анализа существующих помех и их влияния на передаваемый сигнал на том или ином горном предприятии, использованию аппарата теории

статистических решений, моделированию таких каналов связи со специфическими помехами и передаваемым сигналом.

Целью работы является реализация и анализ работы принципиально нового решения, отличного от общепринятого, но значительно повышающего помехоустойчивость передаваемого сигнала в сложных условиях. Данное решение заключается в исключении специализированного модема и открытии программной части микропроцессора для свободного программирования специфических видов модуляции и систем кодирования, что позволит повысить надёжность передачи информации.

В ходе работы для решения задач анализа (моделирования) и синтеза (проектирования) системы передачи данных по сети 0,4 кВ использовался пакет MATLAB, который предоставляет широкие возможности. Для этих целей используются два наиболее дружественных для пользователя инструмента MATLAB - Simulink и GUI [1].

На основе давно исследованных и известных данных [2] о гармоническом составе систем электроснабжения промышленных предприятий была построена математическая модель генератора высших гармоник, искажающих питающее напряжение, кроме того, отдельно создана модель генератора стандартных моделей шумовых распределений таких как: белый шум, нормальное распределение и Гауссово распределение. На предложенных моделях генераторов шумовых составляющих была осуществлена передача полезного сигнала частотной модуляцией, с последующим его восстановлением и выделением исходного сигнала.

Наиболее распространённым промышленным оборудованием, генерирующим критические помехи в сеть, являются:

- статические преобразователи (выпрямители (рис.1.), системы бесперебойного питания, тиристорные регуляторы, импульсные источники питания и т.д.);

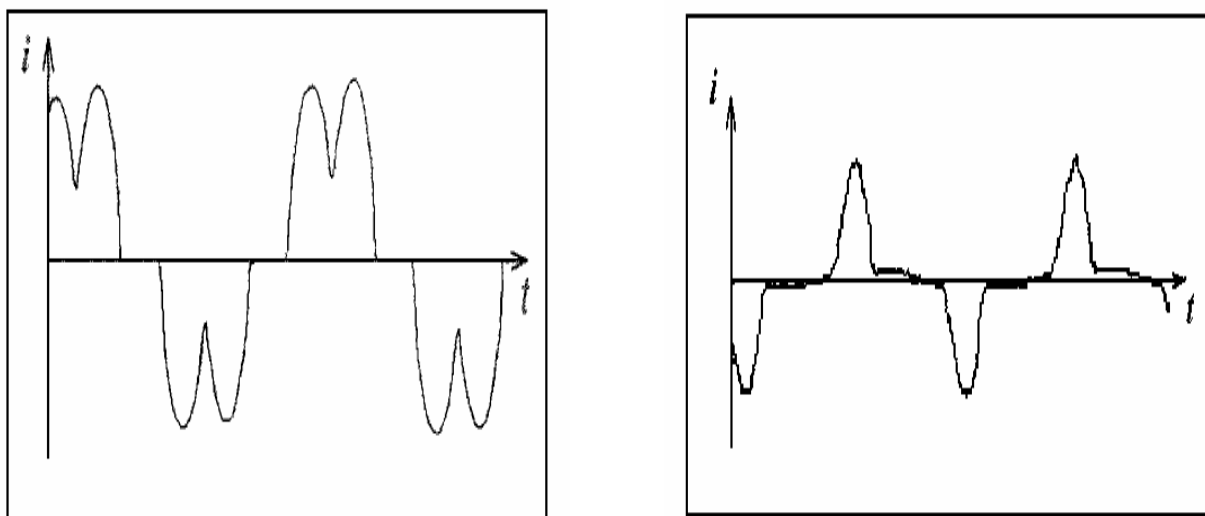


Рис. 1. Формы тока однофазного и трёхфазного выпрямителей

- газоразрядные осветительные устройства (рис. 2) и электронные балласты;

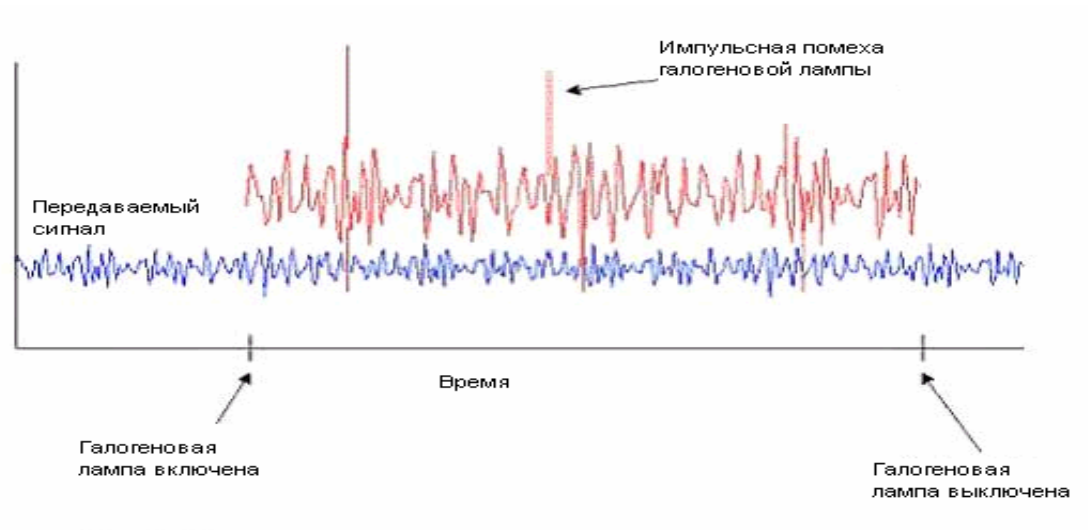


Рис. 2. Импульсные помехи при включении галогеновых ламп

- электродуговые печи постоянного и переменного тока;
- сварочные аппараты;
- устройства с насыщающимися электромагнитными элементами;
- электродвигатели переменного тока с регулируемой скоростью вращения;
- и др.

Построенная модель генератора моделирует помехи реальных устройств, оказывающих существенное влияние на гармонический состав питающего напряжения, таких как: электродуговая печь, газоразрядная лампа и реальный выпрямитель.

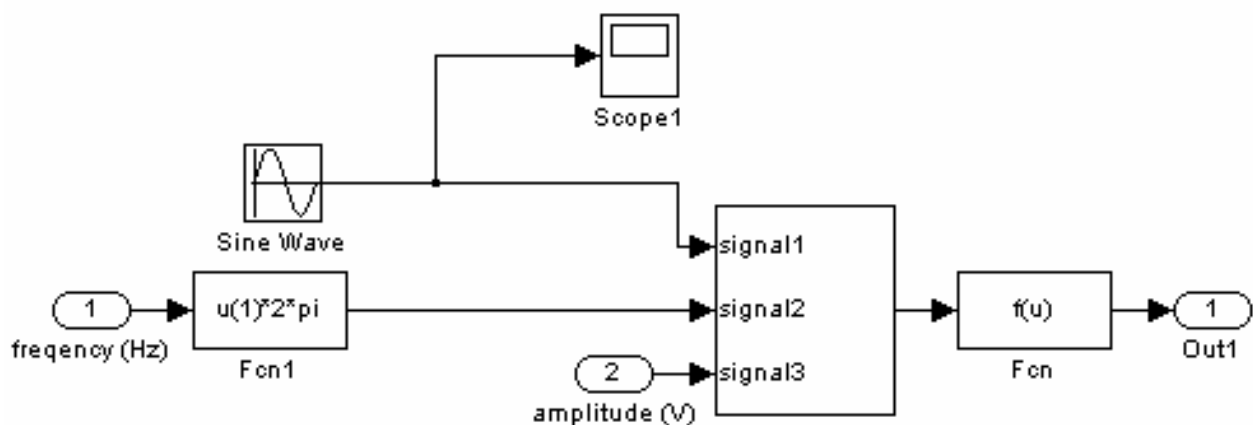


Рис. 3. Подсистема искажения питающего напряжения

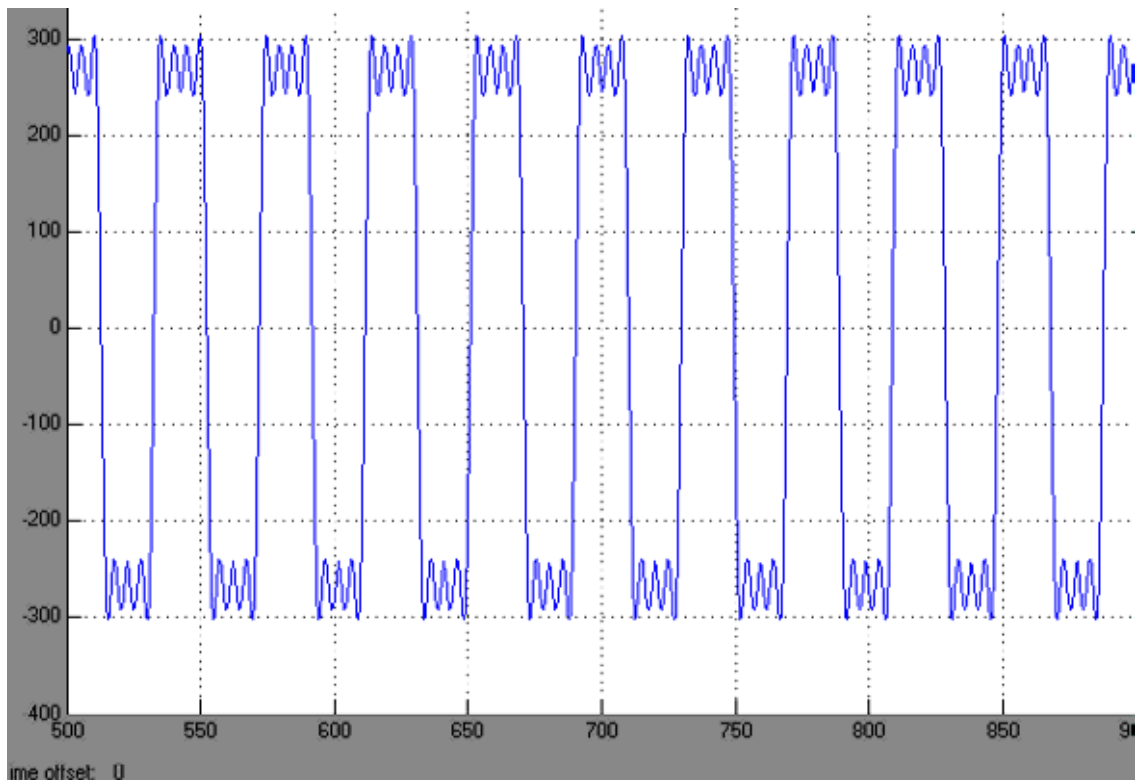


Рис. 4. Модель помехи, которую генерирует преобразователь частоты

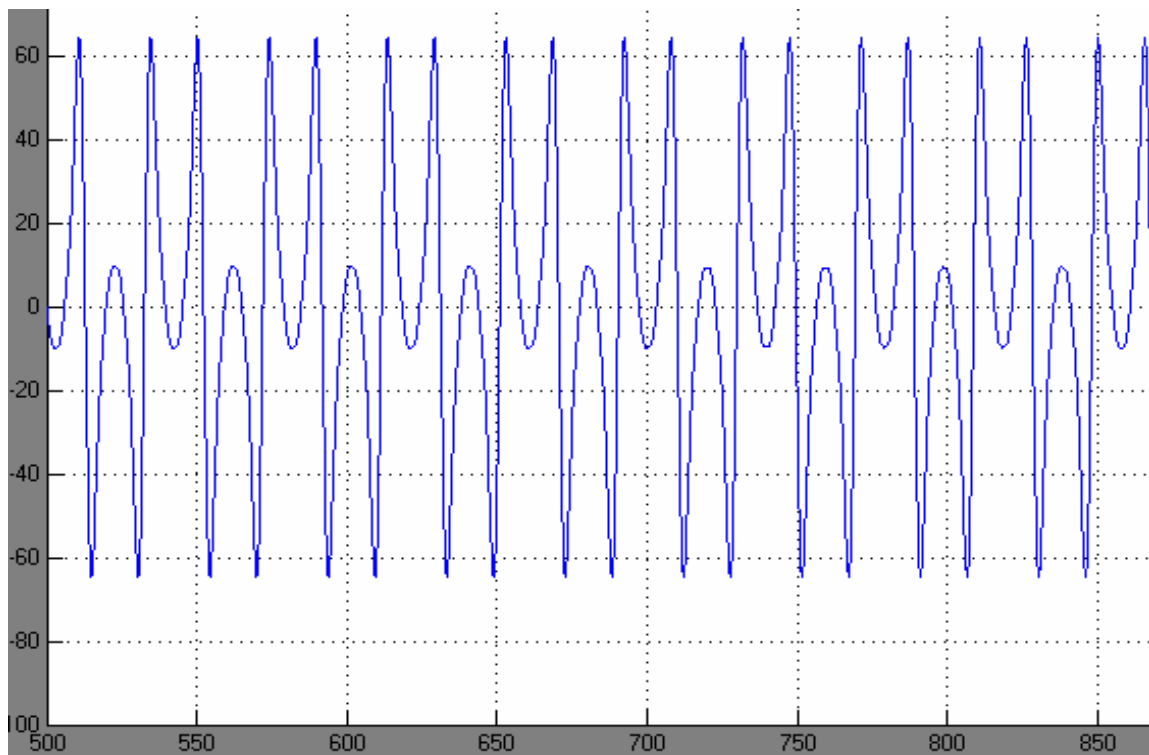


Рис. 5. Модель помехи, которую генерирует дуговая печь

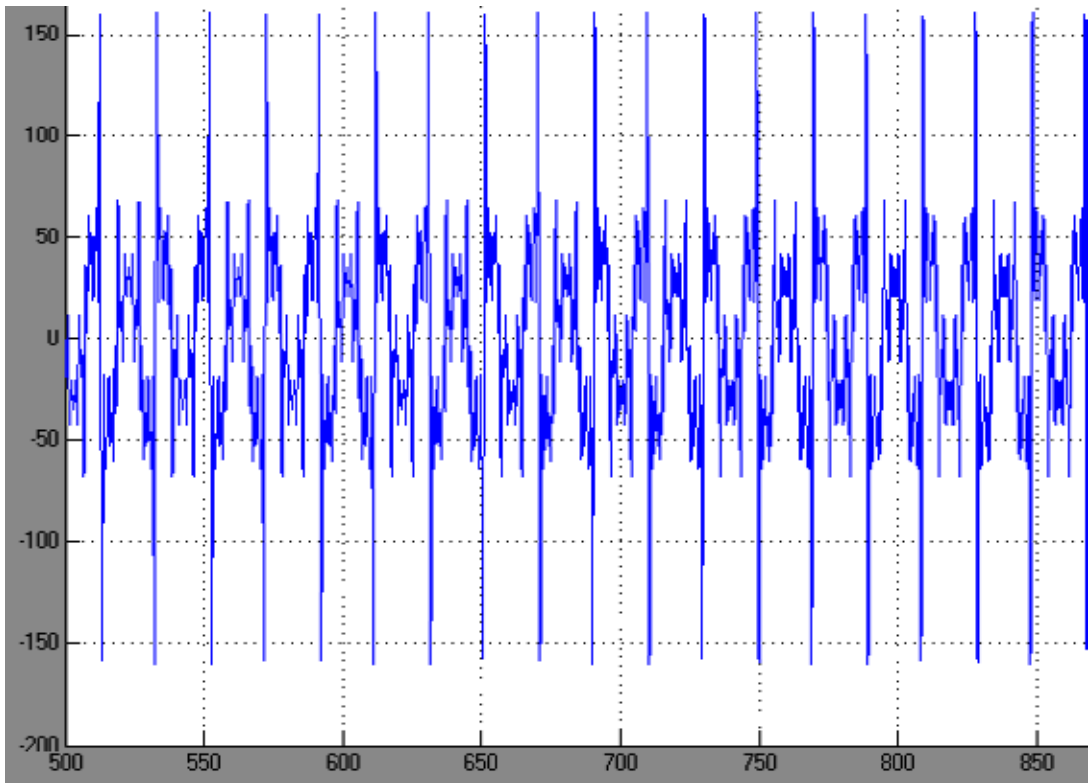


Рис. 6. Модель помехи, которую генерирует газоразрядная лампа

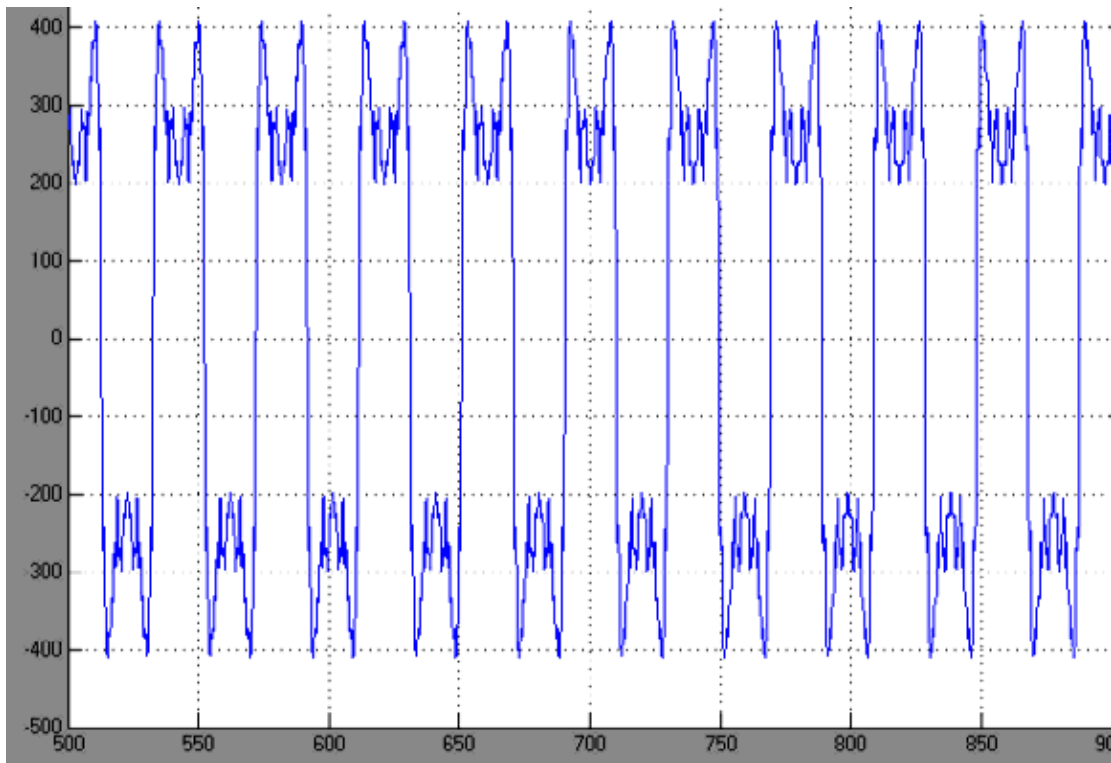


Рис. 7. Модель помехи, которая получается при суммировании гармонических составляющих преобразователя частоты, электродуговой печи и газоразрядной лампы



Выделение передаваемого сигнала и его очистка от шума фильтрацией с использованием стандартных и известных методик преобразования и быстрого преобразования Фурье [3] не даёт необходимых результатов ввиду обобщения понятия ряда Фурье на случай произвольных (практически произвольных) непериодических функций. Такое обобщение приводит к так называемому интегралу Фурье [4]:

$$F(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} q(\omega) \exp(i\omega x) d\omega,$$

на основании которого строится преобразование Фурье, позволяющее выделить частотный спектр функции, по которому можно восстановить эту функцию.

Было предложено использование вейвлет-преобразования [5]. По сравнению с разложением сигналов на ряды Фурье, вейвлеты способны с гораздо более высокой точностью представлять локальные особенности сигналов, вплоть до разрывов 1-го рода (скачков). В отличие от преобразований Фурье, вейвлет-преобразование одномерных сигналов обеспечивает двумерную развертку, при этом частота и координата рассматриваются как независимые переменные, что дает возможность анализа сигналов сразу в двух пространствах и позволяет более точно выделить частоты, на которых передается полезный сигнал и отфильтровать его от шума. Это позволяет исключить мощные помехи специфического характера и реализовать комплекс для организации непрерывного автоматизированного контроля и учета потребления электроэнергии в условиях современного горнодобывающего предприятия.

### *Литература*

1. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
2. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
3. Белодедов М.В. Методы проектирования цифровых фильтров: Учебное пособие. – Волгоград: Издательство Волгоградского государственного университета, 2004. – 64с.
4. Зверев В.А., Стромков А.А. Выделение сигналов из помех численными методами. – Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2001. – 188 с.
5. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. Обзоры актуальных проблем // Успехи физических наук. – Ноябрь 1996. – Том 166. – № 11.