

УДК 550.822:622.838

*д.т.н. Полозов Ю. А.**(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, uarolozov@mail.ru),**Лазебник А. Ю.**(АФГТ ЛГУ им. В. Даля, г. Антрацит, ЛНР, stgp_laz@mail.ru)*

ЛИКВИДАЦИЯ ЗАТОПЛЕННЫХ НАКЛОННЫХ СТВОЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

В процессе реструктуризации угольной промышленности Восточного Донбасса потребовалось закрытие нерентабельных действующих и прекращение строительства новых угольных шахт, не отвечающих требованиям по технико-экономическим показателям эксплуатации горных предприятий. Во всех случаях, согласно инструкции о порядке ведения работ по ликвидации и консервации опасных производственных объектов, связанных с пользованием недрами, должны предусматриваться мероприятия по ликвидации устьев горных выработок, имеющих выход на дневную поверхность [1]. На примере ликвидации наклонных стволов шахты-новостройки «Кадамовская» ЗАО «Донуголь» приведено обоснование технических решений по выбору способов и технологии закладки затопленных стволов.

Ключевые слова: шахта «Кадамовская», ликвидация затопленных наклонных стволов, тампонаж, глиноцементные растворы, скважины.

Реструктуризация угольной промышленности России имеет стратегическое значение для всего топливно-энергетического комплекса страны. Ростовская область относится к числу регионов, в процессе реструктуризации угольной промышленности которых осуществлено широкомасштабное закрытие горнодобывающих предприятий [1]. В соответствии со статьей 26 Закона Российской Федерации «О недрах» при полной ликвидации или консервации предприятия либо подземного сооружения горные выработки и буровые скважины должны быть приведены в состояние, обеспечивающее безопасность жизни и здоровья населения, охрану окружающей природной среды, зданий и сооружений.

Для Восточного Донбасса проблема закрытия угольных шахт заключается, прежде всего, в сложных горно-геологических условиях отработки угольных пластов, что непосредственно создает геомеханические и гидрогеологические проблемы. Также возникают проблемы, связанные с крайне неудовлетворительным горнотехническим состоянием ликвидируемых стволов, вызванным их затопленностью [2–4].

Ликвидация наклонных стволов, имеющих выход на земную поверхность, представляет особую специфику по целому ряду причин: например, из-за необходимости возведения, согласно правилам безопасности, изолирующих перемычек, одна из которых устанавливается на глубине не ниже 10h от поверхности (где h — высота выработки в проходке), а вторая — в 10 м от устья выработки.

Технические решения по ликвидации наклонных стволов принимаются в соответствии с действующими «Правилами ликвидации стволов угольных шахт», включающими демонтаж коммуникаций и горношахтного оборудования, сооружение нижней необслуживаемой перемычки.

Основной способ ликвидации наклонных стволов путем засыпки перегоревшей породой угольных отвалов, как показывает опыт, не гарантирует надежной их ликвидации, что в дальнейшем может привести к деформации земной поверхности и возникновению провалов.

ОАО «Донуголь» осуществляло строительство одновременно трех шахт («Шерловской-Наклонной», «Обуховской № 1», «Кадамовской») и обогатительной фабрики

ки. При строительстве вспомогательного наклонного ствола шахты «Кадамовская» после проходки 40 м выработки из 95 м произошло обрушение пород. Результатом явилась консервация строительства.

В 1998 году, в целях оптимизации расходования денежных средств, строительство шахты «Кадамовская» было прекращено, а в 2016 году принято решение о ликвидации шахты.

С учетом сложившейся ситуации, связанной с затопленностью наклонных стволов и отсутствием достоверной информации о состоянии ж/б изолирующей перемычки, а также наличием вмещающих глинистых грунтов, осушение горных выработок могло привести к аварийному проседанию земной поверхности в районе шахтного комплекса.

Кроме того, применение способа ликвидации наклонных стволов путем засыпки перегоревшей породой угольных отвалов с помощью средств механизации потребовало бы полной откачки подземных вод.

Следует обратить внимание на тот фактор, что закладочный материал, представленный обломочными перегоревшими породами отвалов или дроблеными фракциями каменных карьеров, под влиянием геомеханических процессов изменяет прочностные свойства.

Проблема надежной ликвидации наклонных стволов, а также экологической и деформационной безопасности поверхности в местах их сооружения может быть решена только с разработкой эффективных и ресурсосберегающих способов закладки наклонных стволов закрываемых шахт с применением технологических принципов комплексного метода тампонажа и является актуальной научно-практической задачей, позволяющей оценить безопасность и эффективность применения закладочных растворов в конкретных инженерно-геологических условиях.

Анализ способов закладки ликвидируемых горных наклонных выработок, в соответствии с существующими требованиями

[2], не обеспечивает полной гарантии по предотвращению смещений вмещающих пород в горные выработки.

В последнее время анализ способов закладки выполнен в работах [3, 4], однако в горногеологических и гидрогеологических условиях ликвидируемой шахты «Кадамовская», с учетом частичной затопленности наклонных стволов, в результате тампонажа в открытой печати анализ не выполнялся.

Обоснование применения конкретной рецептуры твердеющего раствора для закладки затопленной части наклонных стволов и технологических схем выполнения работ выполняется с использованием лабораторных и расчетных методов. С их помощью можно оценить эффективность применения закладочных растворов в конкретных условиях на основании анализа технологичности, экологичности и эффективности [5].

Целью настоящей работы является выработка и принятие основных технических решений для выполнения закладочных работ полузатопленных наклонных стволов шахты «Кадамовская».

Объект исследования — гидравлическая закладка затопленных наклонных стволов.

Предмет исследования — технические решения по выбору материала и способа закладки в обводненной среде.

Задачи исследования:

- обоснование технологических параметров способа ликвидации наклонных стволов;
- выбор рецептуры технологических закладочных растворов;
- выбор технологической схемы приготовления и доставки закладочной смеси в подземную выработку;
- обеспечение контроля качества закладочных работ;
- геомеханическая оценка эффективности применения закладочных растворов в конкретных инженерно-геологических условиях.

По имеющимся данным, продольный геологический разрез по осям пройденной части наклонных стволов приведен на рисунке 1 и представлен следующими слоями:

– почвенно-растительным слоем черного цвета с корнями и стеблями растительности; интервал залегания $0 \div 1,5$ м;

– глиной опесчаненной темно-коричневого цвета с гнездами тонкозернистого песка белого цвета, с карбонатными включениями по всему слою; интервал залегания 1,5–20,0 м;

– глиной светло-коричневого цвета, в интервале 20,0–21,0 м сильноопесчаненной, рыхлой, пористой, ниже по слою — влажной; интервал залегания 20,2–24,0 м.

Наклонные стволы пройдены по склонным к оплыванию глинистым породам под углом 13° к горизонту и закреплены сводчатой ж/б крепью.

Стволы затоплены, уровень затопления стволів находится на отметке +114 м, т. е. на 9,85 м ниже земной поверхности (абсолютная отметка +123,85 м).

Стволы свободны от оборудования, рельсовые пути разобраны, на забое стволів на расстоянии 106 м по главному и 85 м по вспомогательному стволів установлены ж/б изолирующие перемычки.

С учетом перечисленных выше горно-технических условий погашения стволів шахты «Кадамовская» применение сухой механической закладки невозможно.

Вариант полной гидравлической закладки стволів до нижней изоляционной перемычки также не представляется возможным в связи со сложностью прокладки до забоя затопленных стволів нагнетательного трубопровода для закачки какого-либо тампонажного раствора.

Требовалось принять к исполнению технологически эффективный и экономичный вариант ликвидации наклонных стволів, позволяющий выполнять работы в сжатые сроки.

На основании этого принято решение на использование технологии Комплексного метода тампонажа НПО «Спецтампаж-геология», нашедшего широкое применение при погашении старых горных выработок под гражданскими и промышленными объектами, а также при ликвидации наклонных шахтных стволів в процессе реструктуризации угольной промышленности Донецкого бассейна [5, 6].

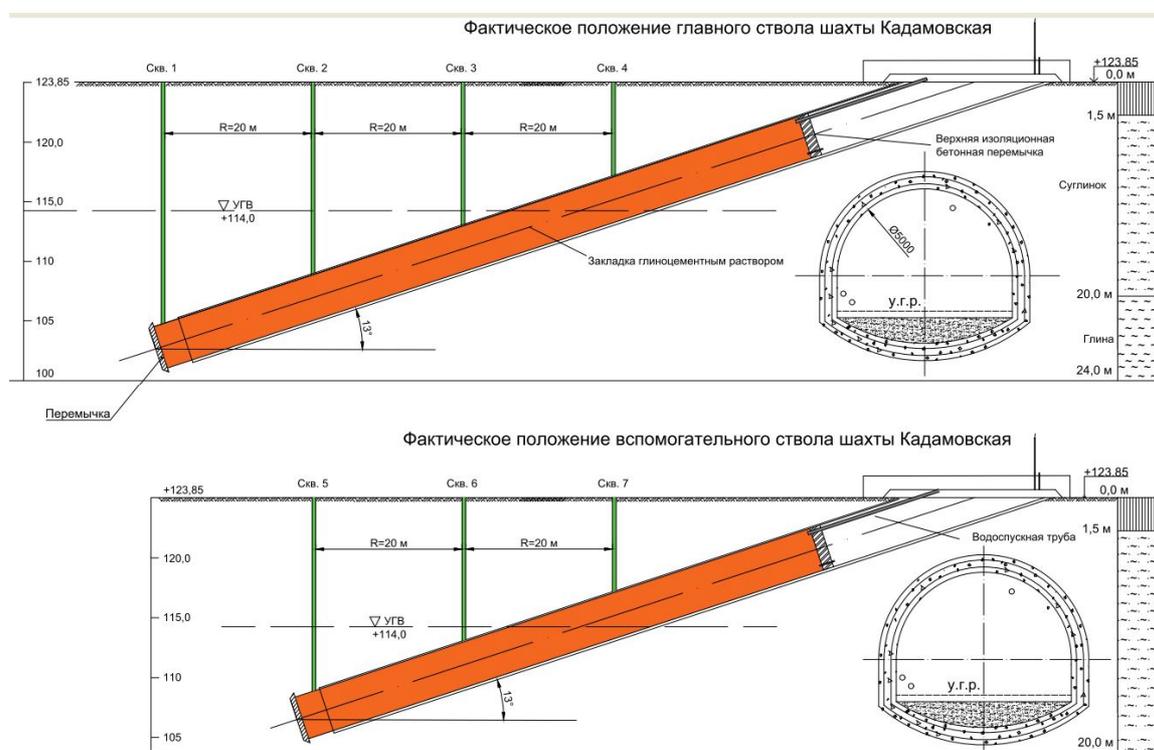


Рисунок 1 Схема расположения закладочных скважин

Применение такого способа закладки затопленных наклонных стволов позволяет все работы, включая бурение скважин, приготовление и нагнетание тампонажного раствора, выполнить с дневной поверхности при использовании высокопроизводительного бурового и тампонажного оборудования в запланированные сроки.

Устройство изоляционной перемычки ниже устьев стволов. Согласно «Инструкции о порядке проведения работ по ликвидации опасных объектов, связанных с использованием недр» [2], наиболее надежным вариантом является сооружение на 10 м ниже устья ствола железобетонной изоляционной перемычки. Конструктивные размеры изоляционной перемычки определяются размерами и видом крепления устья наклонных стволов.

Ликвидация устья наклонных стволов. Для заполнения внутреннего пространства наклонных стволов выше установленной изоляционной перемычки целесообразно использование обломочного материала от разборки портала и ликвидируемых бетонных сооружений на поверхности. Поверхность насыпного обломочного материала выравнивается путем отсыпки щебнем или породой, утрамбовывается, и на нее заливается бетон для устройства плиты перекрытия.

В конкретных горнотехнических условиях шахты «Кадамовская» оптимальным способом ликвидации наклонных стволов является заполнение внутреннего пространства твердеющим глиноцементным тампонажным раствором, нагнетаемым через закладочные скважины, пробуренные с поверхности земли по оси стволов до пересечения с кровлей выработки.

Описание рецептов растворов и принципа их выбора. Выбор рецептов закладочных растворов осуществлялся на основании нормативных документов [7]. При обосновании выбора рецептов закладочного раствора определялись такие параметры, как плотность, пластическая прочность, условная вязкость и статиче-

ское напряжение сдвига. При этом наиболее эффективными являются растворы, обладающие максимальными реологическими характеристиками при минимальной их плотности.

Для закладки наклонных стволов шахты «Кадамовская» предусмотрено использование твердеющих глиноцементных растворов. В состав таких тампонажных растворов входит комовая глина или суглинок в качестве основного компонента базового глинистого раствора, портландцемент марки 400 в качестве вяжущего и силикат натрия (жидкое стекло) в качестве структурообразователя [5–7].

Порядок подбора рецептуры глиноцементного тампонажного раствора:

1. Проверка местной комовой глины на пригодность для применения в тампонажных растворах по химическому, минералогическому и гранулометрическому составу. Подбор консистенции глинистого раствора по структурно-механическим и реологическим характеристикам.

2. Выбор типа вяжущего исходя из требований коррозионной стойкости к воздействию агрессивных подземных вод и подбор оптимальной концентрации сухого цемента.

3. Выбор соответствующих добавок в качестве реагентов — структурообразователей и ускорителей схватывания.

Глинистый раствор, как основа высококачественных глиноцементных растворов, должен иметь следующие параметры: плотность 1180–1230 кг/м³, содержание песка не более 8–10 %, условная вязкость по ВБР от 30 с до «не течет», статическое напряжение сдвига 5–15 Па, водоотдача по ВМ-6 25–45 см³ за 30 мин.

Цемент выбирают в соответствии с химическим составом подземных вод. В случае пресных или слабоминерализованных подземных вод, содержащих не более 250–1000 мг/л ионов SO₄²⁻, можно использовать обычный портландцемент марки 400; при содержании ионов SO₄²⁻ в подземных водах 2500–3500 мг/л рекомендуется сульфатостойкий портландцемент М400.

Типовой состав, структурно-механические и реологические характеристики глиноцементного тампонажного раствора, разработанного на базе качественных каолиновых глин, которым должны соответствовать тампонажные растворы для закладки стволов шахты «Кадамовская», приведены в таблице 1.

Вязкопластичные растворы, удовлетворяемые требованиям ГОСТ, должны оцениваться экономическими методами.

К использованию для приготовления закладочного раствора принят ближайший к шахте «Кадамовская» карьер по добыче каолиновых глин, расположенный в районе станицы Владимировская Краснолиманского района Ростовской области.

Расчеты технологических параметров закладки. Схема закладки наклонных стволов путем нагнетания тампонажного раствора через скважины, пробуренные с поверхности земли и обсаженные трубами до контакта скважины с ж/б крепью ствола, способом «снизу-вверх» приведена на рисунке 1.

Бурение скважин осуществляется с помощью самоходных буровых установок.

В первую очередь закладочный тампонажный раствор подается в нижнюю часть ствола через скважину № 1 сразу за ж/б перемычкой и распространяется вверх по уклону на расстояние R до следующей скважины № 2, как показано на рисунке 1. В этом случае скважина № 2 выполняет функцию контрольной и через нее осуществляется наблюдение за распространением раствора.

В процессе закладки тампонажный раствор распространяется вверх по почве затопленной части выработки. С учетом угла растекания (в водной среде 30°) образует по отношению к почве ствола угол 43° . В связи с тем, что закладка производится порционно, по мере приготовления раствора, при нагнетании очередной порции раствору приходится преодолевать сопротивление, т. е. прорывать слой уже стабилизированного тампонажного раствора, чтобы продолжить заполнение внутреннего пространства наклонного ствола. Учитывая характер растекания раствора в выработке, канал всегда образуется в кровле, а его размеры будут условно равны диаметру закладочной скважины, вскрывшей выработку.

Таблица 1

Характеристика типового глиноцементного тампонажного раствора

№ п/п	Тип закладочного раствора	Состав закладочного раствора	Плотность, ρ , кг/м ³	Структурная прочность, МПа			Динамическое напряжение сдвига, τ , Па	Допустимая пластическая прочность, $[P_m]$, МПа
				Время стабилизации, час				
				1 час	4 часа	24 часа		
1	Глиноцементный раствор	Глинистый раствор плотностью 1200 кг/м ³ — 0,96м ³	1250	0,3·10 ⁻²	1,5·10 ⁻²	2,6·10 ⁻²	180÷200	0,215·10 ⁻²
		Сульфатостойкий портландцемент М400 — 100 кг/м ³						
		Силикат натрия модулем 2,8–3,2 — 10кг/м ³						

Давление, необходимое для образования канала на расстоянии R от одной тампонажной скважины до другой, рассчитывается по уравнению

$$P = \frac{2P_m \cdot R}{r}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где P_m — прочность структуры тампонажного раствора, зависящая от времени стабилизации после прекращения нагнетания; P_m через 4 часа равно $1,5 \cdot 10^{-2}$ МПа, а через сутки — $2,6 \cdot 10^{-2}$ МПа;

R — расстояние между закладочными скважинами, принимаем равным 20 м;

r — внутренний диаметр закладочной скважины, вскрывшей крепь в кровле наклонного ствола, принимаем $r = 0,05$ м.

Данные расчетов давления разрыва для образования канала в кровле выработки сведены в таблицу 2.

Давление нагнетания тампонажного раствора на поверхности, рассчитанное по методике комплексного метода тампонажа, будет зависеть, в основном, от длины и диаметра нагнетательного трубопровода, а также производительности поршневого насоса [4].

Так, в качестве примера, потери напора на 100 п. м. бурильных труб при производительности насоса 5,0 л/с составляют 2,0 МПа. Данные о гидравлических сопротивлениях в бурильных трубах, которые используются для нагнетательного трубопровода, проложенного по поверхности земли от тампонажного оборудования до закладочной скважины, приведены во «Временной инструкции по тампонажу...» [7].

Потери напора в обсаженной части скважины, с учетом ее значительного диа-

метра 127 мм и малой глубины, уравновешиваются гидростатическим столбом тампонажного раствора и в расчетах давления нагнетания не принимаются.

Приготовление тампонажного раствора подразделяют на два этапа:

- приготовление базовой глинистой суспензии с заданными параметрами;
- приготовление глиноцементного тампонажного раствора путем введения вяжущего и структурообразователей.

Приготовление глинистого раствора осуществляется на глинистой станции, включающей:

- погрузчик комовой глины;
- фрезерно-струйную мельницу или лопастную мешалку емкостью 3–6 м³;
- шламовый насос.

Нагнетание глиноцементного раствора производится с помощью мобильного тампонажного комплекса, включающего:

- универсальный насосный блок УНБ1-160/40, позволяющий нагнетать до 25 м³ раствора в час;
- цементно-смесительную установку УС-6/30;
- поршневые насосы типа НБ-125.

Управление процессом закладки осуществляют путем определения и учета изменения давления и расхода тампонажного раствора при нагнетании.

Контроль нагнетания глиноцементного раствора оценивается по данным замеров уровня распространения тампонажного раствора в вышележащих скважинах и появления раствора в контрольных трубах верхней изоляционной перемычки.

Таблица 2

Расчет давления разрыва тампонажного раствора канала в кровле выработки

№	Время стабилизации раствора, час	Прочность структурированного раствора, P_m , МПа	Расстояние между скважинами, R , м	Внутренний диаметр закладочной скважины, м	Давление разрыва, P , МПа
1	1	$0,3 \cdot 10^{-2}$	20	0,05	2,4
2	4	$1,5 \cdot 10^{-2}$	20	0,05	12,0
3	24	$2,6 \cdot 10^{-2}$	20	0,05	20,8

Процесс нагнетания тампонажного раствора в горную выработку будет сопровождаться вытеснением воды. На последней стадии закладки стволов вытесняемая вода будет изливаться в устье ствола через специальное отверстие, расположенное в кровле изоляционной перемычки. Расстояние между закладочными скважинами по главному и вспомогательному стволам принято, согласно выполненным выше расчетам, равным 20 м, что обеспечит надежное заполнение внутреннего пространства наклонных стволов тампонажным раствором и позволит осуществить контроль за процессом закладки. С учетом характера растекания тампонажного раствора в водной среде количество закладочных скважин на главном стволе составляет

4 скважины и на вспомогательном стволе — 3 скважины (рис. 1).

Для обеспечения равномерности закладки пустот наклонных затопленных стволов нагнетание глиноцементного раствора производится порционно. Для предотвращения разубоживания раствора нагнетание первой порции закладочного раствора должно выполняться через став нагнетательного трубопровода, опущенного до почвы выработки и постепенно извлекаемого до момента подъема уровня закладочного материала до забоя скважины в кровле выработки. Далее закладка осуществляется через обсадную колонну.

Объемы буровых и тампонажных работ для ликвидации стволов шахты «Кадамовская» приведены в таблице 3.

Таблица 3

Параметры буровых и тампонажных работ

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Количество	
			Главный ствол	Вспомогательный ствол
1	Длина тампонируемого участка стволов	м	74	53
2	Площадь поперечного сечения ствола «в свету»	м ²	15,9	15,9
3	Количество закладочных скважин	скв.	4	3
4	Глубина скважин		19; 14; 9; 4	16; 12; 7
5	Расстояние между сважинами по оси ствола	м	20	20
6	Объем буровых работ	п. м.	46	35
7	Объем тампонажного раствора	м ³	1177	843
8	Объем воды в затопленной части стволов	м ³	750	430

Выполненные исследования позволили сделать следующие **выводы**:

1. На примере запроектированных и выполненных работ по закладке полузатопленных наклонных стволов шахты «Кадамовская» доказано, что нагнетание вязко-пластичных закладочных тампонажных растворов обеспечивает повышение технико-экономической эффективности и надежности ликвидации горного предприятия.

2. Проведенные работы обеспечили надежную геомеханическую безопасность земной поверхности в местах расположения устьев наклонных стволов на площад-

ке производственных комплексов шахты «Кадамовская».

3. Технология закладки затопленных наклонных стволов, приведенная в настоящей работе, явилась основой рабочего проекта ООО «НТЦ „Наука и Практика“» (г. Ростов-на-Дону), позволила выполнить безлюдным способом надежное погашение наклонных стволов шахты «Кадамовская» ЗАО «Донуголь». Данная технология ранее успешно применялась для ликвидации целого ряда наклонных стволов, ходков и сбоек на закрываемых шахтах «Замковская», «Брянковская», «Луганская правда» и других в Донецком угольном бассейне.

Библиографический список

1. Концепция развития угольной промышленности Ростовской области на период до 2035 года [Электронный ресурс] : утв. Прав-вом Ростовской области от 05.07.2012 № 599 в ред. постановления от 29.07.2022 № 638. — Режим доступа: <https://www.donland.ru/activity/1135/>.
2. РД 07-291-99. Инструкция о порядке ведения работ по ликвидации и консервации опасных производственных объектов, связанных с пользованием недрами [Текст] // Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль : сборник документов. Сер. 07. — М. : Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности, 2009. — Вып. 1. — 132 с.
3. Тюленева, Т. А. Совершенствование технологии ликвидации провалов над горными выработками [Текст] / Т. А. Тюленева // Техника и технология горного дела. — 2021. — № 1. — С. 4–26.
4. Прокопова, М. В. Последствия ликвидации шахт Восточного Донбасса [Текст] / М. В. Прокопова, Н. В. Хамидуллина, Я. С. Рубцова // Новые технологии, инновации, изобретения : сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. — Уфа : Аэтерна, 2018. — С. 82–84.
5. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт [Текст] / Э. Я. Кипко, Ю. А. Полозов и др. — М. : Недра, 1984. — 243 с.
6. Тампонаж обводненных горных пород [Текст] : справочное пособие / Э. Я. Кипко, О. Ю. Лушникова, Ю. А. Полозов и др. — М. : Недра, 1989. — 318 с.
7. Временная инструкция по тампонажу трещиноватых горных пород комплексным методом [Текст] / МУП СССР. — Ворошиловград, 1978. — 88 с.

© Полозов Ю. А.© Лазебник А. Ю.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. СГ ДонГТИ Смекалиным Е. С.,
ведущим горным инженером ПТО филиала АО «УС № 30» ШСУ г. Норильска
к.т.н., доц. Дудкой И. В.*

Статья поступила в редакцию 14.02.2023.

Doctor of Technical Sciences Polozov Yu. A. (*DonSTI, Alchevsk, LPR, uapolozov@mail.ru*),
Lazebnik A. Yu. (*Antracite Department of Mining and Transport of LSU named after V. Dahl, Antracite, LPR, stgp_laz@mail.ru*)

LIQUIDATION OF FLOODED INCLINED SHAFTS OF COAL MINES

In the process of restructuring the coal industry of the Eastern Donbass, it was necessary to close unprofitable existing coal mines and building halt of new one that do not meet the requirements for technical and economic indicators of the operation of mining enterprises. In all cases, according to the instructions on the procedure for the liquidation and conservation of hazardous production facilities associated with the use of mineral resources, measures should be provided for the liquidation of the mouths of mining that have access to the daytime surface [1]. On the example of liquidation of inclined shafts of the newbuild “Kadamovskaya” mine ZAO “Donugol”, the justification of technical solutions for the choice of methods and technology for laying flooded shafts is given.

Key words: “Kadamovskaya” mine, liquidation of flooded inclined shafts, grouting, clay cement mortars, wells.