

**С.П. Высоцкий, д-р техн. наук¹, С.Е. Гулько, канд. техн. наук²,
В.В. Лихачева, канд. техн. наук¹**

1 – Автомобильно-дорожный институт ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка, 2 – ОАО «Донгипрошахт», г. Донецк

РИСКИ ЗАТОПЛЕНИЯ ШАХТ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАХТНЫХ ВОД

Рассмотрены риски затопления шахт в городе Горловка. Затопление вызывает повышение уровня грунтовых вод, что создает угрозу разрушения зданий и сооружений. Обоснована необходимость откачки шахтных вод. Рассмотрены возможности использования шахтных вод для технического потребления – в качестве теплоносителя, а также для полива огородных сельскохозяйственных культур. Значительная часть шахтных вод в Донецком регионе в соответствии с индексом Буданова может быть применена для полива. Исследованы процессы очистки шахтных вод от взвешенных веществ с использованием коагулянтов.

Ключевые слова: затопление шахт, риски подтопления территорий, шахтная вода, очистка шахтных вод, полив

Введение

На протяжении последних полутора лет формирование экологической обстановки в Донбассе непосредственно связано с социальными процессами, происходящими в обществе, а именно с проведением военных действий на значительной территории нашего региона.

Руководители конфликтующих сторон не учитывают влияние своих действий на природную среду и долгосрочные последствия, которые могут найти выражение во всех ее компонентах, в том числе непосредственное влияние на здоровье ныне живущих и будущих поколений людей. О развитии событий можно судить по некоторым малозаметным сегодня проявлениям, но они еще докажут свою значимость в ближайшем будущем. Другие негативные моменты еще не реализованы, однако продолжение боевых действий резко увеличивает вероятность воплощения негативных сценариев. Риски техногенных аварий и катастроф при этом возрастают многократно.

Высокая концентрация потенциально опасных объектов в регионе еще более усложняет ситуацию. Наряду с предприятиями, повреждение технологического оборудования и инфраструктуры которых сулит явную угрозу (ПАО «Концерн Стирол» и др.), влияние боевых действий на угледобывающие предприятия не столь очевидно. Но повсеместное размещение таких производств, развитая сеть взаимосвязанных ныне действующих и разработанных ранее горизонтов создают условия для развития техногенных ситуаций регионального масштаба. Продолжение деструктивных процессов в отрасли способно сказаться как на биосфере региона в целом, так и на ее отдельных компонентах.

Цель исследований

Оценка существующего положения и определение уровня рисков затопления шахт региона. Определение возможности использования шахтной воды для хозяйственных целей.

Изложение основного материала исследований

Отключение угледобывающих предприятий от электроснабжения, повреждение наземных инфраструктурных объектов, проблемы с финансированием и поставкой необходимых материалов и оборудования, обеднение кадрового потенциала ведут к нарушениям в общей управляемости системы. На первый план сегодня выходит проблема затопления шахт. Эта ситуация характерна для большинства угледобывающих предприятий Донбасса [1, 2].

Так, из четырех работающих до начала боевых действий в городе Горловка Донецкой

области подразделений ГП «Артемуголь» худшая ситуация сложилась по шахте им. В.И. Ленина. По состоянию на начало августа 2015 г. вода дошла до глубины 969 м (в абсолютных отметках –753,6 м), это соответствует общей высоте затопления до зумпфа ствола № 6 – 307 м, объем затопления составил 3040713 м³. С начала марта 2015 г. не откачивается горизонт 1080 м, в результате за 154 дня уровень воды поднялся на 113 м, что эквивалентно притоку 2797872 м³ воды. Уже к концу сентября 2015 г. уровень воды переместился к абсолютной отметке – 746 м. На подходе к горизонту 860 м выровнялись уровни воды в объемах выработок шахт им. Ленина и «Комсомолец». Начался ее переток по сообщающимся каналам (рисунок 1).

Затопление ствола № 6 шахты им. Ленина сделало невозможной его безопасную эксплуатацию. Образование протяженных непроветриваемых тупиков препятствует доставке людей в шахту. По состоянию на конец сентября 2015 г. вода в шахтах им. Ленина, «Комсомолец» и «Кочегарка» прибывала синхронно. Ее уровень располагался на общей отметке –746 м. По шахте им. Гагарина он был значительно выше, на отметке –348 м. Поступления воды из этой шахты на три упомянутые до сих пор не отмечались.

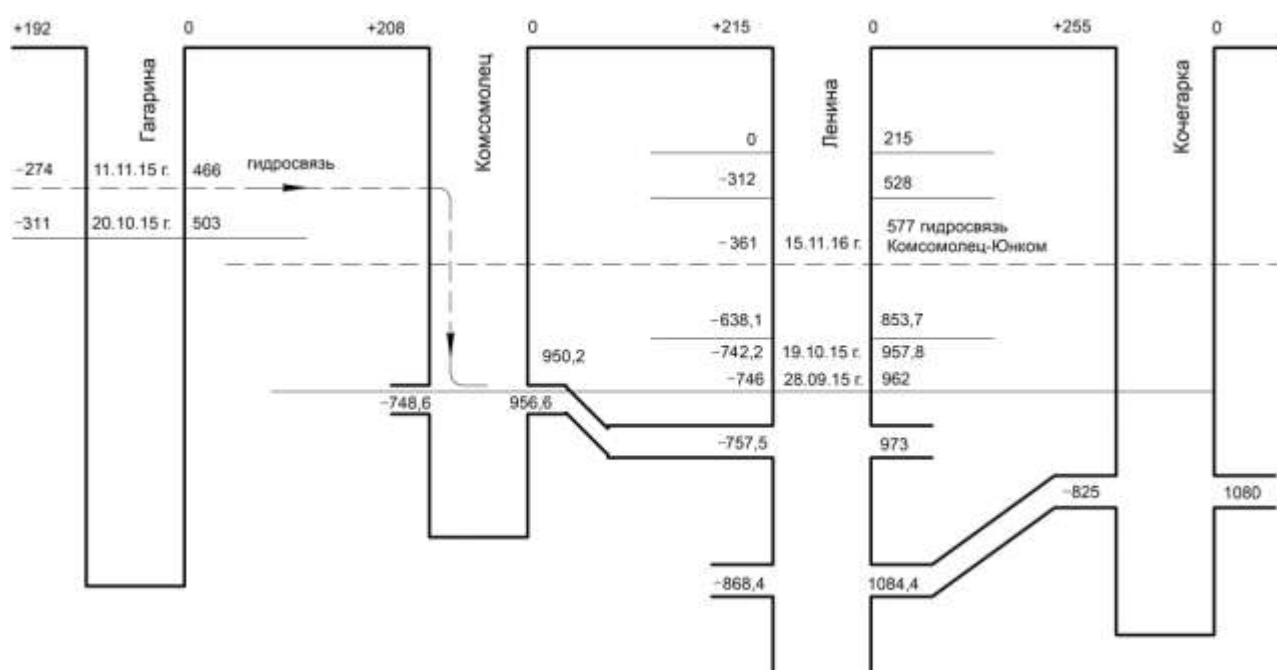


Рисунок 1 – Динамика затопления шахт в г. Горловка

Специалистами ГП «Артемуголь» произведены прогнозные расчеты продолжительности затопления шахт с использованием коэффициента заполнения K_1 , который характеризует степень сохранности выработок и численно равен отношению объема поступившей за период затопления воды W к номинальному объему выработанного пространства V ($K_1=W/V$). Расчетом сопоставляются притоки и номинальные объемы, что позволяет отслеживать скорость затопления. В основу вычислений положены фактические данные, это способствует их высокой достоверности. При определении коэффициентов заполнения в большинстве случаев используются данные замеров при затоплении и откачке воды из шахт Донбасса с 1941 по 1944 годы.

Для шахты им. Ленина получены следующие прогнозные величины:

- на 20.12.15 будут затоплены лавы этажа 860/970 м;
- на 31.01.16 – горизонтальные выработки горизонта 860 м;
- на 21.05.16 – лавы этажа 750/860 м;
- на 06.07.16 – горизонтальные выработки горизонта 750 м;
- на 22.10.16 – лавы этажа 640/750 м;

- на 01.12.16 – горизонтальные выработки горизонта 640 м;
- на 24.01.17 – вода выйдет на общую гидросвязь шахт на южном крыле Горловской антиклинали ниже горизонта 533 на 49 м.

Южное крыло Горловской антиклинали охватывает шахты им. Артема, «Южную», им. Гагарина, «Комсомолец», им. Ленина, «Кочегарку», им. Гаевого, им. К. Маркса, «Красный Профинтерн», «Красный Октябрь», «Юнком». Затем подъем воды приостановится до выравнивания уровней воды по всем шахтам южного крыла.

Последствия затопления таких колоссальных подземных объемов могут быть очень серьезны. Проводимые ныне инструментальные наблюдения интенсивности нарастания темпов проседания грунта не внушают оптимизма. Бессистемное затопление шахт в результате несоблюдения надлежащего режима откачки шахтных вод в большинстве угледобывающих предприятий Центрального Донбасса способно вызвать резкое ухудшение гидрогеологической обстановки [3, 4].

Уровень воды в депрессионных воронках постепенно будет восстанавливаться до статических величин. Избыточное увлажнение глинистых сланцев приведет к потере ими структурной прочности вследствие тиксотропного эффекта. Они начнут размягчаться до состояния глиняной суспензии. Давление вымещающих пород будет выдавливать пластичную глину через трещины и пути миграции воды. Результатом станет осадка толщи пород и образование мульд сдвижения на поверхности. Оседание земной поверхности местами достигнет 3–4 м с образованием уступов до 0,8–1,2 м и разрушением всех попавших на уступы объектов и сооружений. Мульды сдвижения, имеющие замкнутый контур, будут затоплены. Образуются заболоченные участки поверхности в отметках ниже статического уровня воды.

Существенная опасность возникает в результате просадок под территорией расположения канала Северский Донец – Донбасс.

Надежное водоснабжение городов Донбасса является одной из важнейших экологических, социальных и экономических проблем. В настоящее время основным источником водоснабжения Донбасса является канал Северский Донец – Донбасс. Примерно на протяжении 10 км канал протекает в наземных трубопроводах.

На многих участках трасса канала проходит над территорией шахтных полей (например, шахты им. Изотова, шахты им. Ленина, шахты «Комсомолец» ГП «Артемуголь» и шахты № 2 бывшего ртутного комбината). Подработка шахтных полей суммарной мощностью более 50 м уже вызвала проседание территории канала на $\approx 3,2$ м. Уступы земной поверхности высотой до 50 см нарушают работу промежуточных опор с клиньями, что вызывает дополнительные напряжения в трубопроводах.

Повреждение трубопроводов может вызвать экологическую катастрофу, так как несколько миллионов жителей Донбасса могут остаться без питьевой воды.

Кроме этого, существенные проблемы существуют с эксплуатацией открытых участков канала. Они связаны с большой инфильтрацией воды и ее значительными потерями. Затопление городского канализационного коллектора в районе улицы Колхозная и очистных сооружений приведет к загрязнению фекальными водами русел балки Соломенной, балки Железной, реки Кривой Торец, реки Северский Донец. Это вызовет широкое распространение кишечных инфекций, и даже возникновение эпидемий.

Дополнительные риски связаны с событиями прошлых лет. Весной 1989 г. на Горловском химическом заводе произошла утечка моонитрохлорбензола (МНХБ) в выработки шахты «Александр-Запад». В результате попадания отравляющего вещества в выработки на глубине 400 м погибли люди. Тела погибших горняков извлечь не удалось.

МНХБ отличается высокой токсичностью. Токсикологи называют его «кровавым ядом». При повышении температуры моонитро-хлорбензол начинает активно испаряться. Он проникает в организм человека не только через органы дыхания, но и через поверхность кожи. Поражает кроветворные органы – печень, селезенку, костный мозг. Результат

отравления – нарушение формулы крови, резкое понижение гемоглобина, нарушение центральной нервной и сердечнососудистой систем. Один миллиграмм МНХБ, попадая в организм человека, приводит к летальному исходу.

Затопления шахты «Александр-Запад» приведет к распространению МНХБ по выработкам шахт, расположенных на северном крыле Горловской антиклинали Донбасса, а именно – им. Изотова, им. Румянцева, им. Калинина, «Кондратьевская». Последствия такого заражения непредсказуемы.

В сентябре 1979 г. на шахте «Юнком» был произведен подземный ядерный взрыв мощностью 0,3 кг тринитротолуола на глубине 903 м. Эксперимент под кодовым названием «Объект «Кливаж» должен был снять лишние тектонические напряжения и повысить безопасность эксплуатации пластов. Детали и результаты эксперимента до сих пор остаются засекреченными. Известно только, что частота выбросов и обрушений в этом районе действительно снизилась, а радиационный фон оставался на допустимом уровне. Очень вероятное в ближайшей перспективе затопление закрытой в 2002 году шахты «Юнком» может привести к радиоактивному загрязнению подземных вод.

В проблеме затопления шахт Центрального Донбасса точка невозврата еще не пройдена. Системные усилия по восстановлению нормальной эксплуатации оборудования для водоотлива на угледобывающих предприятиях еще могут вернуть ситуацию в штатное русло. Для улучшения экологической ситуации в регионе необходимо начать откачку шахтных вод.

В перспективе, после нормализации режима водоотведения, шахтные воды можно и нужно применять для технических целей в промышленности.

При использовании шахтной воды для различных потребителей требуется ее предварительная очистка. Степень очистки зависит от требований к качеству применяемой воды. Однако при любой системе очистки требуется предварительная очистка воды от взвешенных веществ [5].

Очистка шахтной воды от взвешенных веществ относительно просто реализуется методом коагуляции. Из значительного количества технологических приемов для реализации процесса очистки воды: коагуляция в отстойниках, осветлителях, тонкослойных отстойниках, процесс Actiflo и т. д., наиболее простым является процесс прямоочной коагуляции в механических фильтрах.

Для нескольких типов шахтных вод Донецкой обл. (ГП «Артемуголь» и ГП «Дзержинскуголь») нами изучены условия коагуляции взвешенных в шахтной воде частиц с использованием таких коагулянтов: сульфат алюминия, оксихлорид алюминия и серия коагулянтов Пологского завода. Испытания проведены в лабораторных условиях. Установлены оптимальные дозы коагулянта и выбран его тип, обеспечивающий наибольшую эффективность. Наиболее приемлемые условия прямоочной коагуляции обеспечиваются при использовании коагулянта «Полвак-40 Ф» с дозировкой 170 г/м³ обрабатываемой воды. Необходимая длительность процесса коагуляции составляет 25–30 мин. Для прямоочной коагуляции линейная скорость фильтрации составляет примерно 5 м/ч. При высоте фильтра H_ϕ – 5 м и высоте загрузки фильтрующего материала h_m – 1,2 м время пребывания осветляемой воды в фильтре определяется следующим образом. При порозности слоя фильтрующего материала $E = 0,4$ фактическая скорость фильтрации в слое составит $W_\phi = 9,26$ м/ч.

Усредненное время пребывания воды в фильтре находится из следующего выражения:

$$\tau = \left[\left(\frac{H_\phi - h_m}{W_\phi} \right) + \frac{h_m}{W_\phi} \right] \cdot 60 = \left(\frac{5 - 1,2}{5} + \frac{1,2}{9,26} \right) \cdot 60 = 53,4 \text{ мин.}$$

При условии сохранения оптимального времени пребывания, рекомендуемая в справочниках линейная скорость фильтрации может быть увеличена в 1,78–2 раза. При этом для $W = 10$ м/ч:

$$\tau = \left(\frac{5-1,2}{10} + \frac{1,2}{18,51} \right) \cdot 60 = 26,7 \text{ мин.}$$

Исследования показали, что снижение температуры воды до +15 °С относительно мало сказывается на эффективности процесса коагуляции. Исследования в лабораторных условиях показали, что при очистке шахтных вод большинства шахт Донбасса отсутствует необходимость подачи флокулянта в обрабатываемую воду (в дополнение к коагулянту «Полвак-40 Ф»).

При использовании полученной после фильтров осветленной воды для подпитки котлов вода умягчается в фильтрах, загруженных слабокислотным катионитом с последующей декарбонизацией (при подпитке водогрейных котлов) или дополнительно к указанной операции в натрий-катионитных фильтрах, загруженных сильнокислотным катионитом.

Большая часть шахтных вод Донбасса (до 92 %) по уровню минерализации относится к слабосоленоватым с общим солесодержанием до 2500 мг/л. Их солесодержание близко к содержанию солей в водохранилищах Кураховской, Старобешевской и Зуевской ТЭС.

Шахтные воды могут рассматриваться как реальный близко расположенный источник для получения воды питьевого качества. В этом случае необходимо использовать технологию доочистки воды после удаления коллоидных и взвешенных частиц, а также ее обеззараживания. Наиболее приемлемой технологией глубокой очистки является обратноосмотическая. За рубежом и в отечественной практике накоплен уже достаточно большой опыт эксплуатации обратноосмотических установок при очистке шахтных вод. Учитывая то, что обратноосмотические мембраны не селективны по отношению к угольной кислоте, после обратноосмотических установок для кондиционирования воды устанавливаются фильтры-ньютрализеры. Это позволяет оптимизировать солевой состав воды и повысить ее рН.

Во многих производственных процессах вода применяется как теплоноситель. Требования к качеству охлаждающей воды, согласно [6], приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Требования к качеству воды, используемой в качестве охлаждающего агента

Наименование компонентов	Показатель качества воды			
	Для общепромышленных холодильных машин: турбокомпрессорных фреоновых, абсорбционных бромистолитиевых	Для вакуум-насосных установок и машин для бурения	Для компрессоров и турбокомпрессоров	Для шахтных стационарных и передвижных холодильных машин
Температура, °С		20–40	20	
Взвешенные вещества, мг/л		Не > 40	40–50	Не > 75
Водородный показатель, рН		6–8,5	6–8,5	6,5–8,5
Жесткость общая, мг-экв/л		Не > 7	Не > 7	
Жесткость карбонатная, мг-экв/л	Не > 6	Не > 5	2,5–3,75	Не > 6,0
Минерализация общая, мг/л	Не > 2000	Не > 2000	Не > 2000	Не > 2000

Одним из «внутренних» потребителей воды на шахтах являются шахтные котельные. Для выработки тепла в них применяются водотрубные паровые и водогрейные котлы. Водный режим котельных установок должен обеспечить работу водотрубных и водогрейных котлов питательной водой без повреждения их конструкций вследствие отложений накипи, коррозии, без повышения относительной щелочности до опасных пределов при условии обеспечения получения пара соответствующего качества.

Требования, предъявляемые к качеству воды для производства тепловой энергии, согласно [5], приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Требования к качеству воды, используемой для производства тепловой энергии шахтными котельными

Наименование компонентов	Показатель качества воды	
	Для паровых водотрубных котлов паропроизводительностью до 25 т/ч с абсолютным давлением до 14 кгс/см	Для водогрейных водотрубных котлов теплопроизводительностью до 30 Гккал/ч
Взвешенные вещества, мг/л	Не >5	Не >5
Нефтепродукты, мг/л	Не > 1	Не > 1
Водородный показатель, рН	8,5–9,5	7–11
Жесткость общая, мг-экв/л	Не > 0,02	
Жесткость карбонатная, мг-экв/л	–	Не > 0,7
Растворенный кислород, мг О ₂ /л	Не > 0,05	Не > 0,05
Углекислота свободная	Не допускается	

Самыми распространенными загрязнителями шахтных вод являются взвешенные вещества и соли жесткости, которые ограничивают возможности применения указанных вод во многих процессах.

Осветленные сульфатные и сульфатно-хлоридные шахтные воды могут использоваться для полива овощных сельскохозяйственных культур при минерализации 3–4 г/дм³ и соотношении ионов по М.Ф. Буданову менее 0,7 [7].

Индекс Буданова определяется по формуле:

$$\frac{[Na^+]}{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]} \leq 0,7 \text{ и } \frac{\sum i}{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]} \leq 4.$$

В квадратных скобках, а также в сумме ионов приведены концентрации в мг-экв/дм³.

Качество значительной части шахтных вод Центрального района Донбасса удовлетворяет этим показателям.

Выводы

1. Нестабильная социально-экономическая ситуация в регионе привела к массовому затоплению шахт Центрального района Донбасса, что является угрозой развития опасных экологических последствий.

2. Определены объемы затопления шахт, размещенных на территории г. Горловка.

3. Приведены результаты исследований по предварительной очистке шахтных вод и обоснована возможность их использования для технического водоснабжения.

4. Наиболее предпочтительным коагулянтом при очистке шахтных вод от взвешенных веществ является «Полвак-40 Ф». При его использовании может быть осуществлена прямочная коагуляция непосредственно в механических фильтрах, загруженных песком.

Список литературы

1. Dirner V., Kiraly A., Dobes A. Qualitative Analysis of Problems Associated with Waste Deposition in Underground Mine Workings // Проблемы экологии. Донецк, 2013. № 2. С. 3–9.
2. Картирование оползневых участков и зон повышенного обводнения грунтов комплексом геофизических методов на склоне р. Днепр в г. Киев / В.П. Боковой [и др.] // Докл. НАН Украины. 2003. № 11. С. 96–103.
3. Monitoring the Environmental Impact of Mining in Remote Locations through Remotely Sensed Data / D. Paull [and others] // Geocarto International. 2006. 21. № 1. P. 33–42.
4. Ларченко В.Г., Хоружая Н.В. Высокоточный способ экспериментальных наблюдений за движением и деформацией подработанной толщи пород и земной поверхности // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Луганськ: ЛНАУ, 2008. С. 76–84.
5. Sheppard T. Powell. Water Conditioning for Industry. 2-nd Edition. McGraw-Hill Inc. New York, 1990. 548 p.
6. Гурвич С.М. Справочник химика-энергетика. Т. 1. Водоподготовка и водный режим парогенераторов. М.: Энергия, 1972. 465 с.
7. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды: в 2-х ч. Ч. 1 / Л.А. Кульский [и др.]. К.: Наукова думка, 2000. С. 200–201.

С.П. Высоцкий¹, С.Е. Гулько², В.В. Лихачева¹

**1 – Автомобильно-дорожный институт ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка, 2 – Донецкий государственный институт проектирования шахт
Риски затопления шахт и использование шахтных вод**

Рассмотрены риски, обусловленные затоплением шахт в г. Горловка. Затопление вызывает повышение уровня грунтовых вод, что грозит появлением разрушений зданий и сооружений. Высота затопления шахтных выработок водой в отдельных шахтах достигла уровня более 300 м, что соответствует объему затопления более 3 млн м³. Последствия затопления в районах, где размещены большинство угледобывающих предприятий Центрального района Донбасса, может вызвать резкое ухудшение гидрогеологической обстановки. Избыточное увлажнение глинистых пород приведет к потере ими структурной прочности вследствие тиксотропного эффекта.

Существенная опасность возникает в результате просадок под территорией расположения канала Северский Донец-Донбасс, который обеспечивает питьевой водой практически все население Донбасса. Дополнительные риски связаны с тем, что подземные воды региона в районе шахты «Александр-Запад» загрязнены высокотоксичным соединением – моноклорбензолом.

Обоснована насущная проблема необходимости откачки шахтных вод. Произведена оценка возможных негативных техногенных последствий для экологической обстановки в регионе и вероятность развития аварийных ситуаций в связи с потерей стабильности грунтов. Для нескольких типов шахтных вод исследованы условия их очистки с целью использования для технического водоснабжения и для полива овощных сельскохозяйственных культур. Наиболее приемлемые условия коагуляции обеспечиваются при использовании коагулянта «Полвак-40 Ф» с дозировкой 170 г/м³. Необходимая длительность коагуляции составляет 25–30 мин. Это позволяет реализовать процесс коагуляции по прямоточной схеме, что существенно упрощает технологию предварительной очистки воды. Использование очищенных шахтных вод для Донбасса особенно ценно, так как здесь обеспечение водой надлежащего качества из традиционных источников сопряжено с большими трудностями.

ЗАТОПЛЕНИЕ ШАХТ, РИСКИ ПОДТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ, ШАХТНАЯ ВОДА, ОЧИСТКА ШАХТНЫХ ВОД, ПОЛИВ

S.P. Vysotskiy, S.E. Gulko, V.V. Likhachova

1 – Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka,

2 – Donetsk State Institute of Mine Design

Risks of Mines Flooding and Mine Water Utilization

We consider risks associated with the flooding of mines in Gorlovka. Flooding causes a rise in the groundwater level, which threatens to damage buildings and structures. The flooding height of mine workings with water in some mines has reached a level of more than 300 m, which corresponds to the volume of flooding more than 3 million m³. The effects of flooding in areas where the majority of Central Donbass coal mines are located can cause dramatic deterioration of the hydrogeological conditions. Excessive moisture of clay rocks will lead to the loss of their structural strength owing to the thixotropic effect.

Substantial danger arises from the soil subsidence under the territory of the canal Severskiy Donets-Donbass location, which provides practically all population of Donbass with drinking water. Additional risks are connected with the fact that the regional groundwater around the «Aleksandr-Zapad» mine is contaminated with the high-toxic substance – mononitrochlorbenzene.

The urgent problem of the mine water extraction is grounded. The evaluation of potential negative effects of anthropogenic consequences for the ecological environment in the region and the probability of emergency situations in connection with the loss of soil stability is carried out. For several types of mine waters conditions of their treatment are examined for the purpose of their use for technical water supply and irrigation of vegetable crops. The most acceptable conditions of the coagulation are provided by the coagulant POLVAK-40F using with a dosage of 170 g/m³. The required duration of coagulation is 25–30 minutes. This allows to carry out the coagulation process according to the direct-flow scheme, which greatly simplifies the technology of water pre-treatment. The use of treated mine waters for Donbass is especially valuable as water delivery of the proper quality from traditional sources involves great difficulties.

MINE FLOODING, RISKS OF AREA UNDERFLOODING, MINE WATER, MINE WATER PURIFICATION, WATERING

Сведения об авторах

С.П. Высоцкий

SPIN-код: 7497-0100
Телефон: 0506498436
Эл. почта: kf-ebg@adidonntu.ru

С.Е. Гулько

Телефон: 0958450915
Эл. почта: dgsh@dgsh.donetsk.ua

В.В. Лихачева

SPIN-код: 1784-9410
Телефон: 0509732757
Эл. почта: kf-ebg@adidonntu.ru

Статья поступила 22.12.2015

© С.П. Высоцкий, С.Е. Гулько, В.В. Лихачева, 2016

Рецензент к.х.н., доц. А.П. Карпинец