

БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

УДК 622.322

*Т.В. Костенко, канд. техн. наук, Н.А. Лысенко, В.К. Костенко, д-р техн. наук, профессор
(Донецкий национальный технический университет)*

ПОДГОТОВКА УГОЛЬНЫХ ШАХТ К ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРОРЫВОВ ВОДЫ В ВЫРАБОТКИ

Оценена угроза прорывов воды в горные выработки угольных шахт. Проанализирована работа элементов системы водоотлива в нормальном и аварийном режимах. Обобщена информация об источниках поступления воды и величине максимальных и установившихся водопритоков. Рассмотрены варианты развития аварии в зависимости от величины поступающего в выработку потока. Деградация системы водоотлива увеличивает риск осложнения аварий и угрозы для жизни горнорабочих.

Ключевые слова: прорыв воды, авария, эвакуация горнорабочих, деградация системы водоотлива.

Т.В. Костенко, Н.А. Лысенко, В.К. Костенко

ПІДГОТОВКА ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ДО ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПРОРИВІВ ВОДИ У ВИРОБКИ

Оцінено загрозу проривів води в гірничі виробки вугільних шахт. Проаналізовано роботу елементів системи водовідливу в нормальному та аварійному режимах. Узагальнено інформацію про джерела надходження води і величину максимальних і сталих водопритоків. Розглянуто варіанти розвитку аварії залежно від величини потоку що надходить у виробку. Деградація системи водовідливу збільшує ризик ускладнення аварій та загрози для життя гірників.

Ключові слова: прорив води, аварія, евакуація гірників, деградація системи водовідливу.

T.V. Kostenko, N.A. Lysenko, V.K. Kostenko

PREPARATION OF COAL MINES TO LOCALIZATION OF WATER LEAKAGE

The threat water breakthrough into coal mines has been assessed. The operation of drainage system elements in normal and emergency modes has been examined. The data about the sources of water flow and the amount of the maximum and steady inflows of water has been collected. The prospects of the accident development, depending on the value of entering the production stream have been studied. Degradation drainage system increases the risk of complications of accidents and threatens the lives of miners.

Key words: water breakthrough, accident, evacuation of miners, degradation drainage system.

Внезапные прорывы воды в действующие подземные горные выработки, представляют угрозу жизни и здоровью горнорабочих, а также опасны для горноспасателей при ведении аварийно-спасательных работ. Они влекут за собой значительные материальные потери, вызванные остановками проходческих, сокращением добычных работ и повреждением шахтного оборудования [1].

Источники внезапного затопления подземных выработок это утечки из: расположенных на поверхности водоемов, водоносных подземных горизонтов, затопленных горных выработок на отработанных и разрабатываемых пластах, также атмосферные осадки и другие резервуары.

Маршруты водных потоков – незатампонированные разведочные и технические скважины, полости тектонических нарушений и техногенных трещин, водопроницаемые слои пород. Несмотря на относительно небольшое количество, по сравнению с подземными пожарами, обрушения пород и другими чрезвычайными ситуациями (ЧС), затопления горных выработок представляют серьезную опасность из-за сложности и специфичности работ по локализации и ликвидации их последствий.

Целью данной работы является определение путей защиты сети горных выработок от затоплений на основе раскрытия динамики поступающих в аварийном режиме водных потоков.

В настоящее время проблема прорывов воды в действующие горные выработки шахт Донбасса достаточно актуальна. Это связано с закрытием угольных шахт, сокращением подготовки новых панелей и горизонтов на шахтах, что привело к вынужденной отработке некондиционных запасов и барьерных целиков. Выемка угля, расположенного под ранее отработанными пространствами, в которых сосредоточены значительные ресурсы воды, повышает вероятность затоплений действующих горных выработок. Особую опасность представляют так называемые «копанки», которые работают незаконно на малых глубинах, без инженерного обеспечения и соблюдения норм безопасности.

Как правило, подтопления горных выработок происходят в результате попадания содержащего воду резервуара в зону изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) породного массива. Под резервуаром подразумеваются: поверхностные водоемы, водоносные подземные горизонты, затопленные ранее отработанные пространства, скважины, полости геологических нарушений и тому подобное. Изменение НДС обычно связано с ведением горных работ под резервуаром, однако изредка инициатором этого могут быть сейсмические явления, техногенные процессы на поверхности, изменение свойств слагающих массив пород от размокания, суффозия и другие причины.

Аварийные потоки являются дополнительной нагрузкой на водоотливные системы шахт. Поэтому такие элементы водоотливов как водосборники, трубопроводы, насосы должны рассчитываться с учетом обеспечения надежного приема и откачки дополнительных притоков.

Схематичное изображение типичного подверженного влиянию прорывов воды участка сети горных выработок шахты выглядит следующим образом (рис.1). Под резервуаром 1 проводят горные выработки 3 из которых, при нормальном режиме работы, вода удаляется самотеком по водоотливным канавкам в участковый водосборник 4.

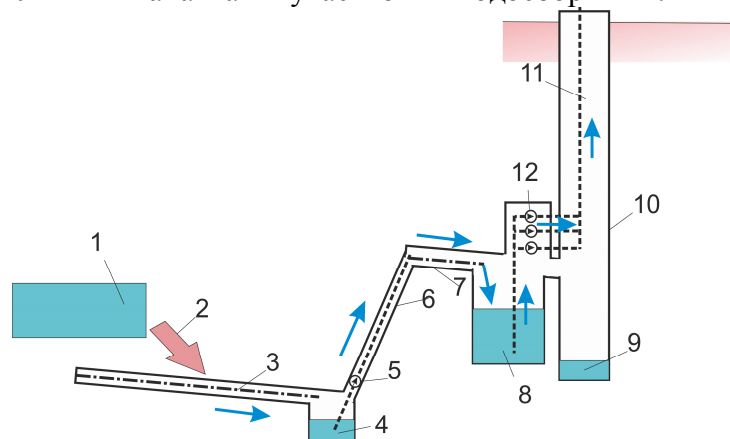


Рис. 1. Сеть водоотлива, содержащая опасную по прорывам воды горную выработку:

- 1 – подрабатываемый резервуар; 2 – место возможного прорыва воды в выработку; 3 – выработка с самотечным отводом воды; 4 – участковый водосборник; 5 – участковый насос; 6 – уклон с трубопроводом местного водоотлива; 7 – подготавливаемая выработка с самотечным отводом воды; 8 – шахтный водосборник; 9 – зумпф; 10 – ствол; 11 – трубопровод шахтного водоотлива; 12 – насосы шахтного водоотлива

В этот водосборник могут сбрасываться воды других забоев, а из него по наклонной выработке 6 в трубах участкового водоотлива 5 – на коренной горизонт 7 и оттуда самотеком в шахтный водосборник 8. Весь водоприток шахты из водосборника 8 с помощью, состоящей из нескольких насосов, установки шахтного водоотлива 12 по расположенному в стволе 10 трубопроводу 11 выдается на поверхность. Утечки из трубопровода и поступающая с поверхности вода стекают в зумпф 9 и перекачиваются (на схеме не показано) в сборник 8.

В случае аварийного прорыва воды из резервуара 1 в выработку 2 резко увеличивается расход воды по цепи выработок 3 – 5 – 7 – 12 – 11. В зависимости от количества поступающей из резервуара 1 воды возможно несколько вариантов развития ЧС. Если приток дополнительной воды невелик относительно нормального, то возможно подтопление выработки 3, но компенсирующая емкость водосборника 4 и подача насоса 5 достаточны, чтобы не допустить затопления нижней части выработки 6.

В противном случае может произойти затопление устья выработки 6 и перекрытие выходов для эвакуации горнорабочих с нижнего горизонта и остановка участкового водоотлива 5. В призабойной части тупиковой выработки 3 может образоваться изолированная от вентиляционной сети полость – «воздушный мешок», которая может служить временным убежищем для горняков.

Катастрофический прорыв воды может привести к затоплению коренного горизонта 7 и нижней части ствола 10, отрезать пути эвакуации подземного персонала из шахты.

Схематично водоотлив из шахтных выработок, представлен на рис.1, в виде схемы потоков, которые перемещаются в выработках за счет сил гравитации (самотеком) по канавкам или под действием напора насосов - по трубам. Расход воды в нормальных условиях по выработке 3, определенный расчетным или экспериментальным путем, обозначен Q_1 на выходе из выработки составляет $Q_2=Q_1$ (рис.2). В участковый водосборник кроме потока Q_2 могут также сбрасываться потоки из других выработок Q_{11} . Вместимость участкового водосборника выбирается такой, чтобы в течение времени t_3 , достаточного для оповещения и эвакуации горнорабочих из самых отдаленных рабочих мест горизонта, обеспечивать накопление суммарного водопритока, в случае поломки участкового насоса или нарушения его энергоснабжения $V_3=t_3(Q_2+Q_{11})$.

Подача насоса 5 также устанавливается с некоторым коэффициентом резерва k_{r1} , чтобы обеспечить безопасную откачку накопившейся воды в случае поломки или отключения на некоторое время энергии, а также технологических и сезонных колебаний водопритока $Q_4=k_{r1}(Q_1+Q_{11})$.

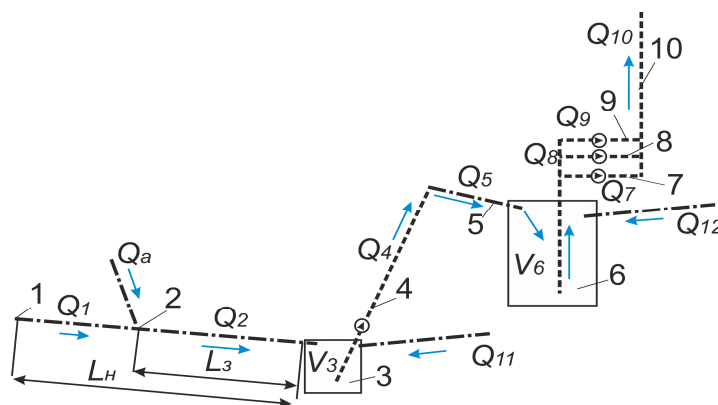


Рис. 2. Схема водоотлива из аварийной выработки: 1 – забой выработки; 2 – место прорыва воды; 3 – участковый водосборник; 4 – трубопровод участкового водоотлива; 5 – верхний насос; 6 – шахтный водосборник; 7-9 – трубы насосов шахтного водоотлива; 10 – трубопровод шахтного водоотлива; Q_1 - Q_{12} – расход воды в соответствующих ветвях сети; Q_a – аварийный поток; V_3, V_6 – вместимость водосборников, соответственно, участкового и шахтного; L_n, L_3 – протяженность подготовительной выработки и затопляемого участка

В общешахтный водосборник сбрасывают как потоки с угрожаемого участка $Q_5=Q_4$, так и других Q_{12} . Вместимость водосборника должна обеспечивать прием этих потоков в течение t_6 , обычно не менее четырех часов, $V_6 = t_6(Q_5+Q_{12})$. Подача установки шахтного водоотлива с учетом коэффициента резерва k_{r2} составляет не менее $Q_{10} = k_{r2}(Q_5+Q_{12})$.

Прорыв воды в горную выработку с расходом Q_a приводит к увеличению потока на выходе из выработки $Q_2 = Q_1+Q_a$. Дополнительное количество воды может привести к последовательному приросту во всех последующих ветвях водоотливной сети и последствиям в виде подтопления выработок, затопления с перекрытием всего сечения выработки, образования «воздушного мешка» в высоко расположенных участках (табл. 1).

Таблица 1

Расходы воды узловых пунктов сети горных выработок при нормальном и аварийном притоках воды и возможные виды осложнения аварии

№ вет-ви	Расход воды в ветви		Варианты осложнения аварии		
	нормальный	аварийный	$Q_a/Q_4 < 1$	$Q_a/Q_4 > 1$	$Q_a/Q_{10} > 1$
1начало	Q_1	Q_1	Нет	Воздуш-ный мешок	Воздушный мешок
1конец	$Q_2=Q_1$	$Q_2=Q_1+Q_a$	Подтоплен.	Затопление	Затопление
4	$Q_4=Q_1+Q_{11}$	$Q_4=Q_1+Q_{11}+Q_a$	Нет	Затопление	Затопление
10	$Q_{10}=Q_1+Q_{11}+Q_{12}$	$Q_{10}=Q_1+Q_{11}+Q_{12}+Q_a$	Нет	Нет	Затопление

Водосборники выполняют функцию буферных емкостей, позволяющих в течение некоторого времени предотвратить затопление выработок в том случае, когда аварийный приток воды превышает подачу участкового или шахтного водоотливов. Так продолжительность заполнения участкового водосборника составит $t_{3a}=V_3/(Q_2+Q_{11}+Q_a)$. Это время должно быть больше чем продолжительность $t_{3э}$ оповещения и эвакуации горнорабочих из самых отдаленных рабочих мест горизонта, а также организации первичных мер по локализации аварии, т.е. $t_{3a}/t_{3э} > 1$.

Определенную сложность представляет определение величины аварийного притока Q_a . В первом приближении, можно руководствоваться ориентировочными значениями, исходя из оценки вместимости подрабатываемого резервуара и возможной пропускной способности пути прорыва воды. Таким же образом оценивают продолжительность поступления воды в выработку. Можно использовать имеющиеся статистические данные о притоках воды в шахты (рис. 3).

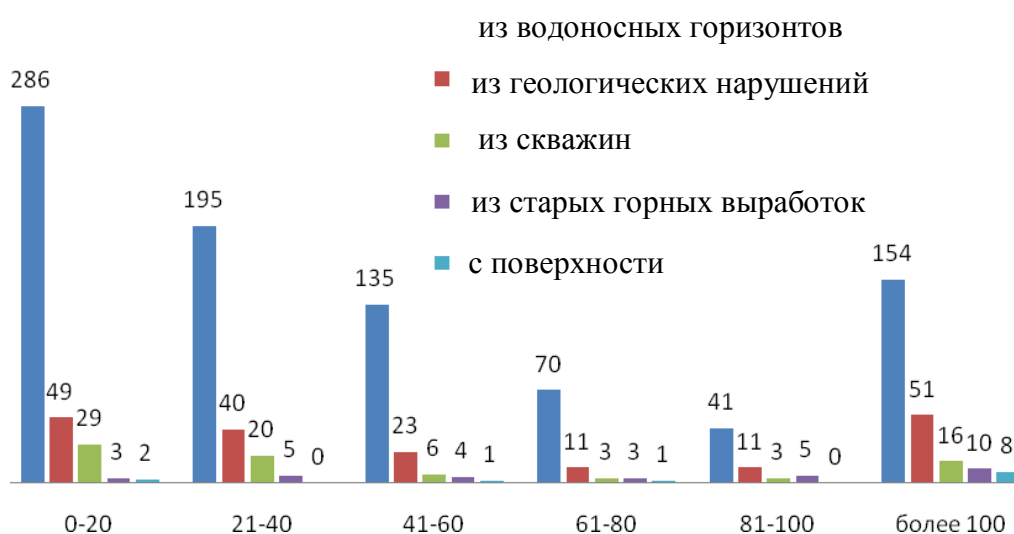


Рис. 3. – Залповые притоки воды (м³/час), зарегистрированные при затоплении горных выработок

Статистические данные свидетельствуют, что притоки воды при прорывах в горные выработки шахт Донбасса в зависимости от геологических и гидрогеологических условий колебались в весьма широких пределах – от единиц до тысяч кубометров в час [2]. Однако, основное количество аварий характеризуется величиной максимального дополнительного водопритока до 40...60 м³/час. Экстремальные притоки воды достигали более 100 м³/час (рис. 4). При ведении горных работ в угрожаемых по прорывам воды участках следует организовывать мониторинг потоков: регулярно в течение смены фиксировать расход воды поступающей из горной выработки. Кроме того – контролировать изменение ее цветности и запаха, что может быть предвестником ЧС.

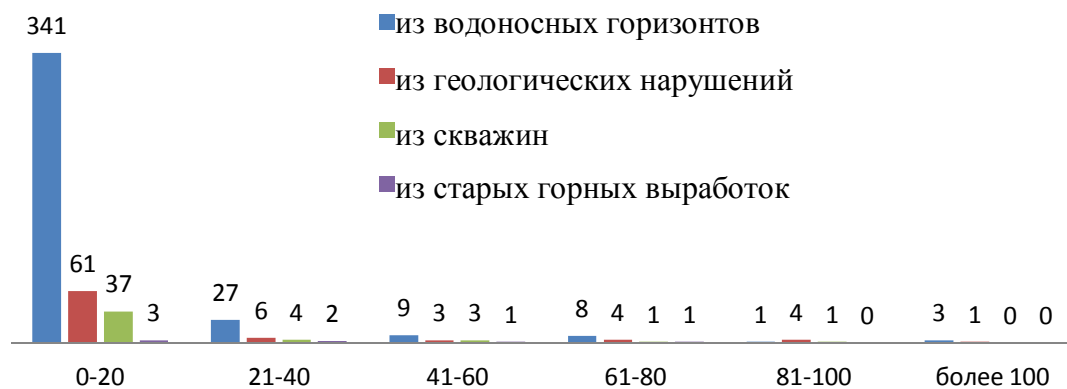


Рис. 4. – Уровни установившихся притоков (м³/час) при прорывах воды

Как правило, после первичных залповых устанавливался стабильный уровень дополнительных (аварийных) притоков в горные выработки на уровне до 20 м³/час. Продолжительность поступления воды составляла в основном от 1 до 10 суток, хотя в отдельных случаях превышала 1000 суток.

Опыт эксплуатации свидетельствует о проблеме обеспечения противоаварийной защиты шахт, заключающейся в ухудшении напорно-расходных характеристик шахтных водоотливных установок из-за уменьшения пропускных сечений трубопроводов отложениями на их стенках, повышенным абразивным износом рабочих колес насосов. Это вызвано высоким содержанием взвешенных частиц в потоке откачиваемой воды и значительным количеством растворенных в ней солей и газов.

Шахтные воды образуются при смешивании потоков стекающих в горные выработки минеральных (содержащихся в горном массиве), как правило, минерализованных, и технологических – используемых для борьбы с выбросами, пылью, пожарами и других целей. Эти воды нередко обогащены, вследствие более высокого, чем на поверхности, парциального давления, химически активными газами: кислородом, диоксидом углерода, сероводородом. В незначительных количествах они содержат метан, радон, гелий и другие газы.

Известно, что около 2% отработываемых запасов ископаемого в процессе выемки превращаются в пыль, которая оседает на стенках выработок или остается в транспортном потоке горной массы. Часть угольной и породной пыли, которую смывают при ведении противопылевых мероприятий, поступает в водоотливную сеть шахты. В водном потоке происходит смачивание, набухание частиц и растворение содержащихся в них солей и оснований. Минерализация воды существенно увеличивается, кроме того образуются коллоидные компоненты. Такая смесь насыщенных газами химически активных растворов, содержащая твердые и гелеобразные взвеси представляет собою агрессивную среду, способствующую интенсивной коррозии стенок трубопроводов и закреплению на них прочного нерастворимого налета, который перекрывает в течение нескольких месяцев основную часть проходного сечения трубопровода.

Внутришахтные сточные воды, содержащие в своем составе значительное количество твердых взвесей, таких как частички горной породы, угля, продуктов коррозии и др. являются абразивной средой. Особенно интенсивный износ она производит в местах с высокой скоростью потока, т.е. в полостях центробежных насосов, где истираются лопасти и стенки рабочих колес, увеличиваются паразитные зазоры.

Сочетание таких показателей как снижение пропускной способности сети (трубопровода) с увеличением ее гидродинамического сопротивления, а также снижение напора и подачи насосов обеспечивает значительное сокращение расходов водоотливных насосных установок, в частности Q_4 и Q_{10} (см. рис. 2). Это негативно отражается на таких показателях как время затопления t_{3a}, t_{6a} и эвакуации $t_{3э}, t_{6э}$ застигнутых аварией людей с горизонта и из шахты из-за изменения соотношений Q_4/Q_a и Q_{10}/Q_a (см. табл. 1).

Подобное воздействие на показатели безопасности оказывает заиливание водосборников из-за того что в них замедляется скорость движения потока, это способствует выпадению взвесей и накоплению их в полостях водосборников, что приводит к уменьшению рабочих емкостей $V_{3и}V_6$ (см. рис. 2). В конечном счете, это также может привести к сокращению времени затопления горизонта $t_{3д}$ или шахты $t_{6д}$. Негативное влияние вышеназванных внутренних физико-химических факторов можно охарактеризовать одним термином – деградация водоотливной системы.

При подтоплении выработок потоком воды выносятся различные материалы, такие как спецодежда, вентиляционные трубы, крепежные детали, пластиковые емкости и др. они могут стать причиной засорения всасывающих патрубков водоотливных насосов и вызвать их «помпаж».

Актуальным является разработка организационных и технических предложений по предотвращению или существенному снижению деградации. Это актуально в связи с тем, что интенсивная деградация водоотлива создает угрозу качественно нового вида ЧС, обусловленной полным отключением электроэнергии на шахте – затоплением выработок при остановке водоотливных насосов (Q_4 и Q_{10} равны 0). Значительное сокращение рабочей вместимости отстойников и водосборников ($V_{3и} V_6$ значительно меньше расчетных) приводит к резкому уменьшению времени $t_{3и}$ и $t_{6и}$, соответственно, безопасности горнорабочих. Высокая вероятность такого рода аварийных ситуаций подтверждается статистическими данными [3], подтверждающими, что отключения электроэнергии составляют около четверти всех ЧС (рис. 5).

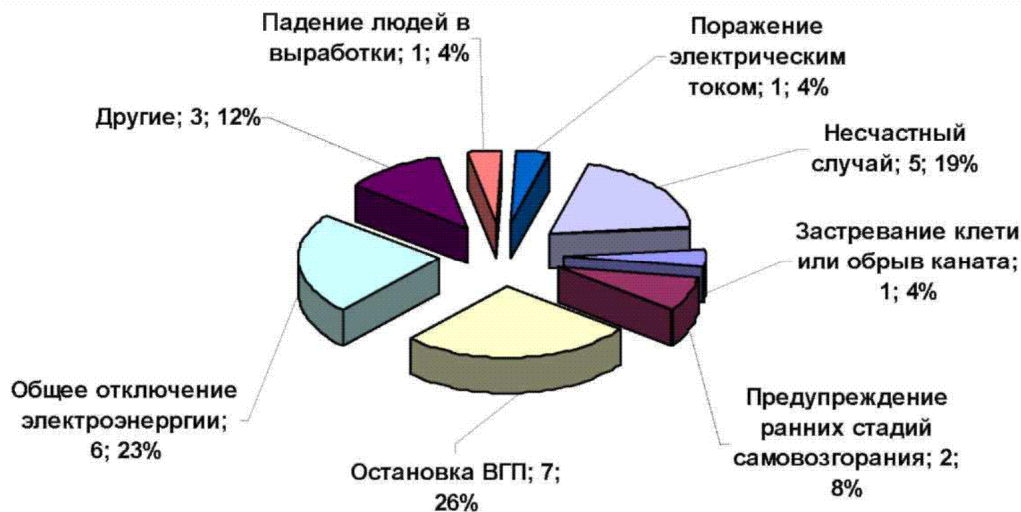


Рис. 5. Количество ликвидированных в 2010 году подразделениями ГВГСС аварийных ситуаций на шахтах Украины [3]

В конечном счете, это также может привести к сокращению времени затопления горизонта по сравнению с расчетными показателями t_3 или шахты t_6 . В том случае, когда объем водосборника сократится в результате засорения, например участкового - до $V_{3д}$, время затопления горизонта составит $t_{3д} = V_{3д} / (Q_2 + Q_{11})$. Такая ситуация приводит к досрочному прекращению откачки воды ($t_{3д} < t_3$) и сокращению располагаемого времени для вывода людей из угрожаемых выработок т.е. $t_{3э} / t_{3д} < 1$.

Стратегическим направлением снижения рисков аварий связанных с затоплением горных выработок является профилактика прорывов воды и обеспечение надежной работы водоотлива. Наиболее важным является прогнозирование угрожаемых ситуаций, а именно проведение оценки изменения НДС в области возможного нахождения резервуара воды, проведение мониторинга водопритока, обеспечение надежного резерва подачи водоотливных установок, предупреждение деградации водоотливных систем.

В зависимости от уровня притока возможно несколько вариантов развития аварии. Незначительное поступление воды приводит к повышенной нагрузке на сеть водоотлива без существенных последствий. При более интенсивном притоке, превышающем возможности самотечного водоотлива, происходит подтопление подготовительных выработок без перекрытия их сечения и нарушения проветривания. В такой ЧС эвакуация людей из аварийной выработки еще возможна. При прорывах воды, превышающих возможности участкового водоотлива (подачу насосов и вместимость водосборника) происходит затопление горизонта и люди могут не успеть эвакуироваться из тупиковых выработок. Если величина и длительность аварийного притока воды превышают ресурс шахтного водоотлива (вместимость водосборников и подачу основных и резервных насосов), возможно затопление шахты с катастрофическими последствиями.

Первоочередной задачей при ликвидации аварии, связанной с затоплением выработок, является спасение застигнутых людей. Для этого должны быть подготовлены соответствующие позиции плана ликвидации аварий, в которых предусмотрены способы обнаружения (мониторинга) ЧС, оповещения горнорабочих, маршруты эвакуации персонала. Пути вывода людей из выработок, имеющих два и более выхода, следует прокладывать по местам не угрожаемым по затоплению с учетом аварийных вентиляционных режимов.

В тупиковых выработках, как показано ранее, при залповом затоплении устья может образоваться «воздушный мешок», который в исключительных случаях следует использовать для временного убежища людей. При этом следует обеспечивать возможность оперативной их эвакуации с помощью водолазных технологий, проведения спасательных выработок, бурения водоспускных скважин, применения других средств.

Выводы.

1. Несмотря на относительно небольшое, по сравнению с другими чрезвычайными ситуациями, количество затоплений горных выработок они представляют серьезную потенциальную угрозу для горнорабочих и опасность из-за сложности и специфичности работ по локализации и ликвидации их последствий.

2. В зависимости от уровня притока возможно несколько вариантов развития аварии: – повышенная нагрузка на сеть водоотлива; – подтопление подготовительных выработок без перекрытия их сечения и нарушения проветривания; – затопление горизонта; – затопление шахты.

3. Прорвавшаяся в выработки вода создает дополнительную нагрузку на водоотливные системы шахт. Поэтому такие элементы таких систем как водосборники, трубопроводы, насосы должны рассчитываться с учетом обеспечения надежного приема и откачки прогнозируемых аварийных притоков.

4. Негативное влияние физико-химических факторов на элементы системы шахтного водоотлива приводит к ее деградации, т.е. ухудшению напорно-расходных и защитно-временных характеристик, что приводит к увеличению аварийных рисков.

5. Выявлено существование качественно новой угрозы связанной с затоплением выработок, обусловленной совокупным влиянием нестабильного электроснабжения шахт и деградации водоотливной сети. Это определяет необходимость разработки организационных и технических предложений по предотвращению такого вида ЧС или существенному ее снижению.

Список литературы:

1. **Технологии XXI века:** Том 1. Электрогидравлика / А.Г. Мнухин, А.М. Брюханов, И.В. Иорданов, Н.А. Громовой, В.А. Мнухин. – Макеевка-Донецк: ВИК, 2012. – 432с.
2. **Прорывы** воды в действующие горные выработки : Справочник /Е.Л.Звягильский, Б.В.Бокий, О.А.Куц и др./ – Донецк: изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2010. – 111с.
3. **Голинько В.И.** Аварийно-спасательные работы в шахтах : Учебное пособие / В.И. Голинько, С.А. Алексеенко, И.Н. Смоланов. – Днепропетровск : Лира ЛТД. – 2011. – 479 с.

References

1. **Technologii XXI veka.** Tom 1. Elektrogidravlika/ A.G.Mnuhin, A.M.Bruhanov, I.V.Iordanov, N.A.Gromovoj, V.A.Mnuhin – Makeevka-Donetsk: WIK, 2012. - 432p.
2. **Proryvyvody** v deystvujuczegornyevyrobotki. Spravochnik / E.L.Zvjagilsky, B.V.Boky, O.A.Kucz i dr. – Donetsk: izd-vo «Noulidg» (Donetskoeotdelenie), 2010. – 111p.
3. **Golinko V.I.** Avariyno-spasatelnye raboty v shahtah: Uchebnoeposobie/ V.I.Golinko, S.A. Alekseenko. S.N.Smolanov. – Dnepropetrovsk: Lira LTD. – 2011. – 479p.

