

УДК 622.861.4

*А.В. Мохов к.г.-м.н. (Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону)***О ПУТЯХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРОРЫВОВ ВОДЫ В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ ИЗ ЗАТОПЛЕННЫХ  
КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ШАХТ***A. Mokhov (South scientific center of RAS, Rostov-on-Don)***ABOUT WAYS OF PREVENTING WATER BREAKTHROUGH IN MINE WORKING  
FROM SUBMERGED MINES**

*В статье рассмотрены обстоятельства, причины и механизм формирования прорыва воды на примере шахты «Западная» (Восточный Донбасс), дважды подвергшейся затоплению. Дана оценка эффективности мер по защите выработок от прорывов воды и рекомендации по их предотвращению.*

*In the article are described conditions, causes and formation of the mechanism of flooding on example of the coal mine "Zapadnaya" (Eastern Donbas), which was twice subject to flooding. Are given the effectiveness of measures on protection and the recommendations on intrushes prevention.*



А.В. Мохов

Затопление угольных шахт может сопровождаться увеличением притока и в ряде случаев прорывами воды в выработки соседних угледобывающих предприятий. Такой прорыв произошел, например, в октябре 2003 г. в антрацитовую шахту «Западная» (Восточный Донбасс), вызвав огромный общественный резонанс и приведя к ликвидации этой и остальных шахт района; эта шахта подверглась аварийному затоплению в феврале того же года.

Изучение обстоятельств и обстановки поступления в случае прорывов, их предвестников представляет значительный интерес для выяснения причин таких крупных ЧС и разработки мер по их профилактике, поскольку в близких потенциально опасных условиях находятся или будет находиться значительное число шахт стран СНГ.

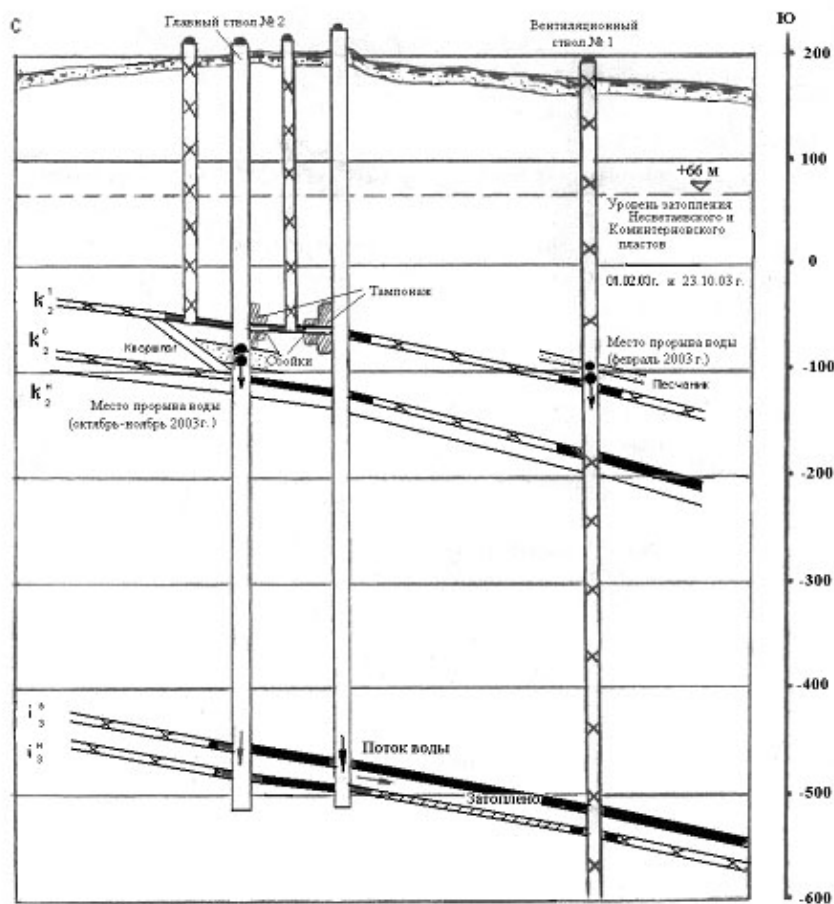
Геолого-гидрогеологическая обстановка у обоих стволов и их параметры близки. Общая геологическая ситуация с элементами горнотехнической обстановки у места прорывов показана на приведенном рисунке (по материалам геолого-маркшейдерских служб шахты «Западная» и ООО «Компания «Ростовуголь»). К моменту формирования прорывов здесь имелся крупный подземный водный объект в выработках и выработанном пространстве старых шахт на расположенных выше пластах (сверху вниз)  $k_2^1$ ,  $k_2^H$ ,  $k_2^C$ . Уровень затопления этих шахт находился на абсолютной отметке около + 66 м. Поступление воды последовало в действующие выработки пласта  $i_3^H$ , отделенного от ближайшего пласта с затопленными выработками ( $k_2^H$ ) междупластьем мощностью не менее 330 м.

Поступление катастрофических по своим последствиям прорывов (в блоковый вентиляционный ствол № 1 в феврале 2003 г. и главный ствол № 2 в октябре-ноябре 2003 г.) подтвердило обоснованность предупреждений о возможности крупных водопритокков в шахту в случае непринятия адекватных мер их профилактики. Источником поступления крупных объемов воды предполагались затопленные выработки старых шахт (в основном на пласте  $k_2^1$ ), а наиболее вероятным каналом — стволы шахты «Западная». Эти стволы пересекали пласты с затопленными выработками, находящимися за прорезанными и непрорезанными целиками. Разработанные прогнозы носили общий характер и не содержали указаний величины, времени начала и формы поступления возможного притока, что затрудняло принятие мер по защите шахты от воды.

Проектируемые меры предусматривали главным образом ликвидационный тампонаж глиноцементной смесью проходящих вблизи стволов или подводящих к ним выработок, а также тампонаж околоствольного массива у затопленных выработок старых шахт. Кроме того, намечались ремонт и усиление крепи ствола.

Причины поступления прорывов явились предметом расследования.

Оперативным расследованием комиссии Госгортехнадзора России с участием автора настоящей статьи установлено, что источником



Схематический геолого-технический разрез района прорыва воды в шахту «Западная» (на 23.10.2003 г.)

формирования прорыва в октябре-ноябре 2003 г. явилось затопленное пустотное пространство в выработках старых шахт, а каналом проникновения больших объемов воды в шахту «Западная» — ее вертикальный главный ствол № 2. По результатам расследования обстоятельств прорыва в октябре-ноябре не удалось однозначно определить место его поступления в указанный ствол и непосредственную причину формирования.

Расследование показало, что намеченные меры по профилактике прорыва были выполнены с отступлением от проекта и не в полном объеме (проведены локально, недостаточен объем закачки раствора, понижено содержание в растворе цемента). Кроме того, проектом не предусматривалась и, соответственно, не была произведена необходимая согласно действовавшему СНиП II-94—80 ликвидация прилегающей и подводящей выработок по пласту  $k_2^1$  с закладкой кусковой породой. При этом фактически остался открытым вопрос о потенциальной эффективности запланированных мер в случае их выполнения в полном соответствии с принятым проектным решением и с нормативными требованиями к ликвидации выработок.

В полной мере это относится и к предшествующему прорыву в феврале 2003 г. В ходе расследования аварии было установлено, что прорыв поступил в шахту через блоковый вентиляционный ствол № 1 и имел в качестве источника водный объект в выработках старых шахт. Здесь были приняты те же меры

предотвращения прорыва и так же в ограниченном объеме, как и в случае главного ствола № 2.

Многие обстоятельства и детали обоих прорывов остались неизвестными или невыясненными в полной мере. Между ними имеется явное типологическое сходство. Оба прорыва развились вполне скачкообразно через какое-то время после достижения определенного уровня затопления старых шахт, имели соизмеримый и пульсирующий дебит от 0 до 15 м<sup>3</sup>/с (т.е., нескольких десятков тысяч м<sup>3</sup>/ч), представляя собой цепочку крупных водопроявлений, и завершились в режиме «обрыва».

Поступление очередных импульсов прорыва происходило, несмотря на снижение уровня затопления старых шахт и ослабление давления воды на очаг водовыделений. Засыпка стволов каменным и другим материалом, предпринятая для борьбы с поступлением крупных водопритоков, не повлияла на прекращение прорывов. Фактически имело место их самопрекращение [1, 2].

Приведем краткую информацию о характеристиках стволов и обстановке формирования прорывов, необходимую для понимания механизма и причин этих водопроявлений.

Блоковый вентиляционный ствол № 1 построен в 1980—1985 гг. Ствол имеет глубину 810 м и пройден в целике по всем угольным пластам, за исключением  $k_2^1$ . Здесь стволом была вскрыта подтопленная выработка-заезд из штрека 070 на уклон № 3. Крезь ствола

состоит из монолитного бетона на (сульфатостойком портландцементе марки М200) проектной толщиной 0,3 м, в интервалах неустойчивых пород имеет толщину 1,0-1,5 м, в месте зафиксированного канала ранней стадии поступления прорыва – 0,65-0,70 м. Диаметр ствола в свету – 6 м, площадь сечения – 28,3 м<sup>2</sup>, вчерне – 34,2 м<sup>2</sup>. Кровля угольного пласта  $k_2^1$  вскрыта на отметке «–121,2 м абс.»; ствол расположен в 2,5 км от главного ствола № 2.

Главный ствол № 2 пройден в 1958-1960 гг. в целике по всем пластам, имеет глубину 705 м, диаметр 6,5 м в свету, площадь сечения – 33,2 м<sup>2</sup>; по оси ствола массив до глубины 31 м представлен суглинками, в интервале 31-49 м – пльвунными песками, ниже идёт типичное для Донбасса переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов, известняков, углей.

Угольный пласт  $k_2^1$  пересечён стволом в интервале глубин 258-260 м. Здесь рядом со стволом проходит порожняковая ветвь околоствольного двора горизонта этого пласта с размерами сечения 2,43х2,48 м. Выработка закреплена монолитным бетоном толщиной 0,3 м, находившимся по свидетельству горняков в идеальном состоянии. Из ветви пройдена на сопряжение со стволом по угольному пласту сбойка длиной 15,4 м с размерами сечения 2,5х1,6 м. В сбойке имелось 3 перемычки, сведения о состоянии которых противоречивы. Какие-либо разрывные нарушения на участке сбойки не встречены, пучения, разрушения горных пород давлением здесь не зафиксировано. Указанная сбойка многими специалистами считалась каналом поступления прорыва. На глубинах 321,0-321,6 и 323,6-324,3 м (в 67-69 м ниже пласта  $k_2^1$ ) стволом пересечены целики по пластам  $k_2^c$  и  $k_2^u$ . Выработки по пласту  $k_2^c$  находятся не ближе 56 м, а по пласту  $k_2^u$  – в нескольких сотнях метров от ствола в плане. Отметим, что на 30 м к нему приближается затопленный грузовой квершлаг с пласта  $k_2^1$  на пласт  $k_2^c$ .

Устьева часть ствола до глубины 2 м закреплена кирпичной кладкой, до 12 м – железобетоном; далее крепление осуществлено железобетонными тюбингами (типа ВНИИОМШС размером 0,5х0,5 м) и рассчитано на давление до 0,45 МПа. Затюбинговое пространство было при строительстве забетонировано. К моменту прорыва тюбинговое крепление находилось в неудовлетворительном состоянии, произошла частичная деградация заполнителя затюбингового пространства.

После апреля 1999 г. были начаты работы по гидроизоляции стволов шахты «Западная» от разрастающегося водного объекта в выработках старых шахт. Основанием для таких мер послужили соответствующие прогнозы, подтверждаемые данными наблюдений о нарастании притока воды в стволы. Производимые здесь в этот и предшествующий период наблюдения выявили пульсацию интенсивности и места поступления притоков воды, которая не имела какой-либо связи с ходом горных работ и гидрометеорологических факторов. В результате осуществления тампонажных работ вокруг главного ствола № 2 получен явный гидрогеологический эффект.

Создание тампонажной завесы в интервале 230,7-276 м с поверхности по скважине и заливка под давлением выработок околоствольного двора верхнего пласта ( $k_2^1$ ) старых шахт в условиях продолжения затопления последних позволили практически ликвидировать приток в ствол из углевмещающих отложений. Прекращение поступления воды вне интервала тампонирувания может быть объяснено смыканием трещин под давлением нагнетания глинобетонной смеси. Через 9-10 месяцев было вновь зафиксировано появление заметного притока из песчаников, возобновлении его роста в ускоренном режиме. Эта тенденция продолжилась и после достижения максимальной степени затопления (январь 2002 г.) вплоть до развития прорыва. Усиление водопроявлений происходило нередко в явном скачкообразном режиме, чередуясь с эпизодическим их ослаблением.

На наличие импульсов трещинообразования указывает также периодическое выделение воды, например, в 1996 г. (3-й квартал) и 1998 г. (май) из выработки-сбойки главного ствола № 2 с порожняковой ветвью околоствольного двора верхнего затопленного пласта ( $k_2^1$ ) старых шахт. Эти водопроявления сопровождалось увеличением притока в главный ствол № 2 (по другим стволам сведения в отчётах геологической службы шахты не приводятся, что служит верным признаком их отсутствия или незначительности, либо кратковременности) и свидетельствуют о приуроченности канала распространения указанных возмущений к интервалу размещения затопленного пространства и выработок по данному пласту.

Перед проходкой блокового вентиляционного ствола № 1 в интервалах 60-287 и 311-725 м выполнен тампонаж массива глиноцементным раствором с поверхности. В кровле пласта на глубине 274-291,9 м сооружена камера водоотлива, которая позже (в 1983 г. и повторно в 2002 г.) наряду с прилегающими выработками была заполнена глиноцементной смесью.

К моменту окончания строительства (1985 г.) приток в ствол составлял 1,5 м<sup>3</sup>/ч. С течением времени выявилась тенденция к некоторому нарастанию водопроявлений, интенсивность которых к апрелю 1999 г. достигла 6 м<sup>3</sup>/ч. Затем, с развитием нового этапа затопления старых шахт приток стал постепенно увеличиваться. В этот период были начаты работы по тампонируванию массива и старых выработок в интервале 273-287 м. Заметного положительного результата они не дали. Здесь, так же как и в главном стволе № 2 наблюдалась пульсация водопроявлений. В обоих случаях пульсация притоков воды в стволы может рассматриваться как свидетельство колебаний водопроводимости скального массива в результате формирования и смыкания водопроводящих каналов трещинного типа.

Постепенное, хотя и происходящее в дискретном режиме нарастание водопроявлений сменилось прорывами воды. В своей начальной стадии февральский прорыв долгое время находился под визуальным

контролем, поступая по новообразованной трещине и, затем, прорану в монолитной бетонной крепи ствола. К моменту прекращения непосредственных наблюдений расход потока достиг  $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

В месте этого прорыва (см. рис.) 17 января 2003 г. ниже ликвидированной камеры водоотлива на глубине около 293 м (отметка «–119,6 м абс.») и в 0,7 м над пластом антрацита с затопленными выработками в слое песчаного сланца был обнаружен более значительный (до  $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), чем ранее, выход воды из свежего вывала в крепи. В дальнейшем приток поступал по эпизодически расширявшейся (на протяжении около 1 месяца) трещине в крепи, имеющей здесь толщину 65–70 см. Нарастая, расход потока к 20. 01. достиг  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; 22.01 – 68; 24.01 – 93; 27.01 – 118; 30.01 – 160; 31.01 –  $250 \text{ м}^3/\text{ч}$  при некотором увеличении размера водовыводящего отверстия в крепи. В середине дня 1 февраля после нового крупного вывала бетона из обнажившейся в массиве щелевидной полости стало поступать около  $500 \text{ м}^3/\text{ч}$  воды с частичками пород и угля (конец визуальных наблюдений за водопроявлением). На следующие сутки приток достиг  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; при этом наблюдалось «опрокидывание» струи воздуха в стволе с втягиванием его из атмосферы. Затем произошло новое резкое усиление водопитока. 3. 02. в 10.30 его интенсивность, оцененная по скорости затопления шахты, составила уже 11 000  $\text{м}^3/\text{ч}$ , 4 февраля к 14.00 (по другим данным, к 17.30) – 30 000  $\text{м}^3/\text{ч}$ , затем по 4.30 – 20 000  $\text{м}^3/\text{ч}$ . В тот же день произошло новое резкое снижение притока до 1500–2000 к 9.00, затем –  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$  к 14.30, то есть, практически – прекращение прорыва.

Рост сечения визуально контролируемой водопроводящей трещины был в определённой мере связан с механической суффозией её стенок; интервал размещения трещины в 1990–2000 гг. тампонажу не подвергался, а указанная камера тампонировалась неоднократно.

Если первый прорыв развивался достаточно долго, то второй развился в скоротечном режиме и оказался внезапным. Какой-либо визуально фиксируемый канал поступления будущего прорыва при плановом обследовании главного ствола № 2 за 5 часов до прорыва обнаружен не был. Соответственно, водопроводящие каналы появились в вполне монолитной, а затем уже развивались в локально нарушенной трещинами породной среде. Для развития второго прорыва до максимального дебита потребовалось несколько десятков секунд. Крепь ствола была «проломлена» приблизительно через 1 мин после начала формирования прорывопроводящего канала, что было зафиксировано по развитию водопада в сечении ствола. До этого момента вода стекала под давлением по закрепному пространству.

Особенности прорывов в стволы могут быть расценены как признаки резкого образования, раскрытия и сужения водопроводящего канала вплоть до его смыкания, что показывает типологическую близость обстановки формирования слабых и силь-

ных водопроявлений после возникновения крупного подземного водного объекта. Они свидетельствуют о скоротечности набора максимальной мощности обоих прорывов и, соответственно, той же продолжительности раскрытия канала до максимального значения. Образование нового или неоднократное повторное раскрытие того же канала происходило, по-видимому, в течение нескольких десятков секунд. Пульсация водопроводимости массива в ходе прорывов имела период около 2–3 часов [3].

В соответствии с нашей интерпретацией [1–3] в качестве канала второго прорыва не могла фигурировать сбойка, как не имеющая склонного к смыканию сечения, заполненная легкоразмываемым тампонажным камнем и способная, по этой причине, только к необратимому нарастанию водопропускных свойств. Геометрические соображения дают основание заключить, что прорывопроводящие каналы представляли собой широко раскрытые полости трещинного типа, а гидравлические – о том, что они размещались в несклонных к размыву и легкому разрушению породах, которыми здесь являются песчаники [1, 3]. Косвенные данные свидетельствуют о поступлении прорывов по периодически образующимся одиночным трещинам [2], соответственно, сосредоточенном характере трещинообразования в массиве и высокой концентрации напряжений отрыва в прилегающем участке крепи ствола.

Как показал анализ динамики дебита хронологически первого прорыва, визуально наблюдаемый трещинный канал его поступления служит одним и явно второстепенным по значению каналом прорыва, обеспечивая расход потока воды не более чем  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Вероятным местом расположения основных каналов прорыва служит песчаник кровли угольного пласта  $k_2^1$  в интервале глубин 272,2–278,4 м по оси ствола, то есть у нижней части водного объекта. Подобная локализация основного канала отвечает критерию устойчивости его стенок к фильтрационному разрушению. После завершения строительства ствола массив в этом интервале был подвергнут тампонируванию. Гидростатическое давление составляло здесь около 165 м водяного столба, или 1,7 МПа.

Вероятным местом поступления второго прорыва явился по нашему мнению слой песчаника в интервале глубин 286,4–307,5 м по оси ствола в кровле угольного пласта  $k_2^c$  с затопленными поблизости выработками. Пересечение пласта со стволом находится на глубине 326 м от земной поверхности и к началу прорыва было в 188 м ниже установившегося уровня затопления старых шахт. Слой прорывопроводящего песчаника размещался на глубине от 148 до 170 м ниже поверхности затопления.

Таким образом, вероятные очаги поступления обоих прорывов размещались на одной и той же глубине под уровнем затопления – около 160–170 м.

Места локализации каналов обоих прорывов показаны на рисунке.

Возникая у поверхности раздела фаз «водонасыщенный массив или выработка» – «сухой массив»,

трещины распространяются затем вглубь последнего, «скользя» в виде линзы вдоль напластования. По косвенным данным, протяженность трещин в ходе прорывов составляла около 100 м. По расчетам, проведенным с использованием обычных гидравлических зависимостей на основе данных о величине притока и уровня затопления старых шахт (т.е. гидростатического давления), лимитирующая раскрытость трещинных каналов прорывов у стенки стволов составляла не менее 10 см. Значительная амплитуда смещения берегов трещин, скоротечность их образования не позволили креплению стволов противостоять без разрушения нагрузкам высокой интенсивности и динамичности.

Гидрогеомеханические данные показывают, что прорывы связаны с разуплотнением массива и этот процесс развивался дискретно, рывками, и перемежался уплотнением локального характера. Динамика водопроявлений свидетельствует о том, что формирование тонких (непрорывопроводящих) и широкооткрытых (прорывопроводящих) фильтрующих трещин произошло под влиянием изменения напряженного состояния горного массива. В последнем случае эта трансформация сопровождалась сотрясениями массива, напомиавшими горные удары. Расчеты и типология событий не подтверждают достаточности привлечения идей инженерного гидроразрыва и гидрорасчленения для объяснения всей совокупности литогидрогеомеханических преобразований и явлений. Соответственно, формирование трещин произошло под влиянием концентрации напряжений иной природы.

Появление трещин, пульсация их зияния объяснено нами воздействием архимедовых сил, вызванных формированием крупного водного объекта в затопленных старых шахтах [1, 2]. Как известно [4], изменение водонасыщенности вызывает деформирование горного массива. Данный эффект проявляется, в частности, в вертикальных перемещениях и деформациях земной поверхности на участках водопонижения и осушения. Поверхность массива рыхлых и мягких пород может испытать оседание величиной свыше 10 м; в прочных скальных и полускальных породах смещение достигает десятков сантиметров. Наблюдается также дифференцированное горизонтальное перемещение областей массива, причём на поверхности возможно появление протяженных, глубоких широко раскрытых трещин.

Водонасыщение вызывает воздымание земной поверхности, степень которого зависит от амплитуды подъёма уровня подземных вод. Естественно ожидать проявления аналогичных событий и внутри массива. Эти и другие события связаны, очевидно, с уплотнением горно-породной среды, в первом случае, и разуплотнением, во втором. Эти явления служат, очевидно, следствием изменений полного и эффективного давления в результате появления дополнительных деформирующих сил. Происхождение рассматриваемых эффектов связывается К. Терцаги и его последователями с сокращением и, напротив, во-

зобновлением взвешивающего действия воды – сил архимедова взвешивания.

Из общих соображений можно ожидать, что разгрузка массива сопровождается возрастанием раскрытости пустот любого генезиса, пространственной ориентировки и всех систем. Вполне очевидно, что водопонижение (осушение), а также дегазация сопровождаются снижением раскрытости, нередко – смыканием многих пустот. Возвращение воды и газов вызывает процессы обратной направленности, включая принципиально возможное появление пустот-новообразований. Применительно к рассматриваемым объектам данный аспект действия этих сил был не известен и, соответственно, при прогнозировании гидрогеологических условий нахождения выработок рядом с крупным техногенным подземным водным скоплением, как и проектировании мер их защиты, не учитывался.

Апостериори ясно, что динамика водопроявлений свидетельствовала о «назревании» прорывов. Соответственно, их потенциальными предвестниками может считаться «блуждание» водопроявлений по стволам, тяготение их к пересечению песчаников в интервале размещения водного объекта, пульсация интенсивности притоков.

Важной особенностью как слабых, так и сильных водопроявлений в стволах является их отставание от формирования водного объекта и необходимость достижения некоторого минимального уровня затопления, преодоление которого активизирует трещинообразование. Между достижением стабильного уровня затопления старых шахт и началом прорывов имелся разрыв во времени: для первого прорыва – 13, для второго – 22 месяца. Соответственно, для формирования прорывопроводящих трещин потребовалась длительная «выстойка» массива в смоченном состоянии.

Эти обстоятельства могут быть истолкованы как необходимость преодоления определенных пороговых уровней затопления и времени в качестве условия развития слабого и сильного трещинообразования. Затопление склонного к образованию водопроводящих каналов интервала массива (слой песчаника) более чем на 160-170 м, продолжительность существования водного объекта достаточной глубины в течение года явились в рассматриваемых ситуациях предпосылками генерации прорывоопасных полостей. Выводы о механизме и причинах прорывов позволяют дать оценку эффективности и целесообразности намеченных мер по защите выработок в случае их реализации в соответствии с проектом, а также потенциальной эффективности других мер профилактики прорывов.

Засыпка стволов привела к существенному снижению притока только на стадии затухания прорыва. Колебания дебита водопритока происходили еще до сброса засыпки и мало изменились по амплитуде и периодичности в ходе данного мероприятия. В этой связи заполнение ствола породным и иным материалом не может рассматриваться как главная

причина сокращения притока в ствол и как реальный метод борьбы с развившимся или назревающим прорывом.

Тампонаж выработок и массива способствовал ослаблению водопроявлений в стволах. Эффективность тампонажа, реализованного в сокращенном варианте, локально, с отступлением от проектной технологии, и других мер оказалась в итоге в отношении снижения притока в целом довольно существенной, а в плане предупреждения прорывов, напротив, весьма низкой. Присутствие подводящих выработок (сбойки, заезда из штрека) и камеры водоотлива не повысило существенно опасность прорыва. Их тампонирование предотвратило поступление прорыва по этим выработкам, несмотря на несоответствующую тубинговое крепление успешно выдерживало в течение нескольких минут не менее чем 4-кратную перегрузку от гидростатического давления воды в затопленных шахтах – источнике поступления прорывов. Монолитное бетонное крепление в блоковом вентиляционном стволе № 1 оказалось, по-видимому, способным выдерживать разрушающие напряжения более длительное время. Вместе с тем, характеристики трансформирующих массив сил свидетельствуют о принципиальной неспособности крепления примененных видов (железобетонные тубинги, монолит-

ный бетон) в любом состоянии, в частности, после полноценного ремонта воспрепятствовать поступлению прорывов воды в сечение ствола. Правомерно утверждать, что на их генерацию не могли повлиять крепи стволов известных типов, находящихся даже в идеальном техническом состоянии.

Силы разуплотнения оказались в состоянии осуществить разрыв весьма крепкого практически монолитного песчаника и намного превысили прочность созданного вокруг ствола бетонно-породного композита и сцепления тампонажного камня со стенками породных блоков. Таким образом, соблюдение проектной (и нормативной) технологии тампонажа выработок и околоствольного массива не привело бы, по нашему мнению, к предотвращению прорывов и не имело в этом отношении существенного значения.

В подобных условиях реальное снижение прорывоопасности может быть достигнуто ликвидацией водного объекта, а также реализацией ряда других мер. В их число входит ограничение глубины затопления (не более 160-170 м) в массиве типичного песчано-глинистого состава и поддержание темпа затопления (осушения) системы выработок, обеспечивающего релаксацию изменений напряженного состояния пород.

### *Литература*

1. Мохов А.В. О путях профилактики прорывов воды из затопленных каменноугольных шахт // Материалы VII Международной конференции «Новые идеи о науках о Земле». Том 4. – М., 2005. – С. 136.
2. Мохов А.В., Калинин В.М., Фролов А.В. Анализ причин и механизма прорыва воды в шахту «Западная» ООО «Компания «Ростовуголь» // Безопасность труда в промышленности. – 2005. – № 11. – С. 11-16.
3. Мохов А.В. Трещинообразование под влиянием затопления угольных шахт и его гидродинамическое значение / ДАН. – 2007. – Том 414. – № 2. – С. 223-225.
4. Иванов И.П. Инженерно-геологические исследования в горном деле. – Л.: Недра, 1987. – 255 с.