

УДК 622.273.18:622.847

А.В. Мохов

**ОЦЕНКА ПРОРЫВООПАСНОСТИ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКИ
КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ С ОБРУШЕНИЕМ
КРОВЛИ ПОД ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ
(ПО МАТЕРИАЛАМ ПОДРАБОТОК ЗАТОПЛЕННЫХ
ВЫРАБОТОК)**

По материалам подработок затопленных выработок и на основе концептуальной модели зон водопроводящих трещин сдвижения определены условия прорывобезопасной подработки водных объектов системами с обрушением кровли.

Ключевые слова: уголь, шахта, субвертикальный канал, горная порода, горный массив, выемка угля.

Подработка водных объектов может сопровождаться прорывами и значительными притоками воды в выработки шахт.

Предпосылкой поступления опасных притоков служит появление широко раскрытых каналов гидравлической связи выработки и водного объекта и способность последнего генерировать значительные по объему потоки воды.

Прорывом может считаться поступление воды, по своей величине и (или) динамизму проявления намного превышающее фоновые характеристики притока.

Источниками прорывов служат обычно такие водные объекты как поверхностные и подземные естественные и техногенные водотоки и водоемы, а каналами поступления — стволы скважин, зоны разрывных нарушений, водопроводящие трещины различного происхождения. Активная фильтрация воды из подработанных водоисточников развивается в основном в результате появления субвертикальных каналов в разделяющей толще пород.

В тектонически слабонарушенной обстановке и в условиях надежного ликвидационного тампонажа буровых скважин основным каналом притока являются водопроводящие трещины сдвижения. Внутри зоны водопроводящих трещин сдвижения (ЗВТС) горный массив приобретает или усиливает гидравлическую (и аэродинамическую) связь с генерировавшей сдвижение и (или) другой выработкой (выработанным пространством). Наиболее благоприятная для перетоков обстановка возникает при разработках с обрушением кровли, когда процесс сдвижения развивается максимально полно.

Вопросы обеспечения безопасных условий подработки водных объектов на угольных месторождениях регламентируются [1, 2]. Реально выемка угля производится при некрутом залегании слоев.

Поскольку внутри ЗВТС проницаемость горных пород в общем случае намного превышает естественную, достаточным условием прорыва или поступления недопустимого по величине притока считается распро-

странение зоны до водного объекта [1, 2].

Известны многочисленные случаи подработки, приведшей к прорыву воды по трещинам сдвижения. В то же время имеется большой опыт успешной выемки угольных пластов вблизи скоплений воды и непосредственно под ними в обстановке поступления притока по ЗВТС; такие сведения приведены, например, в [3, 4]. Практика показала, что поступление воды в горную выработку не происходит, безусловно, в форме крупного притока или прорыва.

Подобные факты следует считать указанием на существование водопроняющих трещин с различной пропускной способностью, ограниченность распространения трещин весьма высокой проницаемости, и, соответственно, на наличие слабо-раскрытых их разновидностей.

Эти данные указывают на дифференцированность вторичной проницаемости массива в плане и разрезе, присутствие внутри ЗВТС малопроницаемых областей. Подобная неоднородность фильтрационных свойств обусловлена развитием различных по форме, размерам и фильтрационным свойствам, размещению относительно выработанного пространства систем трещин.

Каналом поступления небольших по объему притоков являются системы трещин сдвижения, названные нами по характеру их распространения в массиве, объемнораспределенными. Они обладают малой раскрытостью и формируются при не связном прогибе массива, определяя проницаемость породной среды на довольно значительное удаление от кровли выработанного пространства. Зоны таких трещин имеют в целом облик усеченной пирамиды.

Поступление прорывов и весьма крупных притоков воды непосредственно под водным объектом связано с формированием торцевых по отношению к слоям трещиноподобных полостей, расположенных вдоль границ выработанного пространства — трещин обреза, которые имеют значительную раскрытость и практически «неограниченную» водопроницаемость. Значительные объемы воды поступают к ЗВТС по трещинам расслоения.

Характеристика систем этих трещин и зон приводится в [4, 5].

Сведения о размещении водопроняющих трещин, техногенной проницаемости горного массива получают в ходе различных теоретических, лабораторных и натурных исследований. На их основе созданы разнообразные практически альтернативные модели ЗВТС и условий прорывобезопасной подработки водных скоплений.

Наиболее надежным способом определения фильтрационных свойств массива служит анализ и обобщение материалов подработки водных объектов. Эти материалы сохраняют в полной мере свое значение для определения условий поступления прорывов и изучения свойств ЗВТС, поскольку попытки решения необходимого комплекса вопросов на основе теоретических предпосылок и исследований на моделях из эквивалентных материалов не принесли заметных положительных результатов.

Подработки служат практически решающей экспериментальной проверкой выводов исследователей и дают информацию для создания и корректировки моделей трещинообразования, геофильтрационных схем и водопритоков.

Особую ценность имеют в этой связи анализ и обобщение информации о гидрогеологических условиях ведения выемки угля под затоплен-

ными выработанными пространствами на других пластах.

Их достоинством служит то обстоятельство, что гидродинамическое взаимодействие выработок с водным объектом этого вида посредством ЗВТС осуществляется в условиях относительно небольшой информационной неопределенности вследствие минимального участия слабоконтролируемых и трудноучитываемых факторов (покровных отложений, выветрелости пород, степени согласия залегания водного объекта с общей структурой массива и проч.) в формировании трещин и удовлетворительной охарактеризованности обстановки данными шахтных наблюдений.

Сведения о подработках затопленных выработок использованы нами для оценки прорывоопасности очистной выемки угольных пластов с обрушением кровли под водными объектами в условиях скальных и полускальных массивов.

На основе этих данных разработаны модели высоты ЗВТС и проницаемости пород внутри нее в направлении нормали к напластованию для участков разработки пологих и наклонных пластов.

Математическая модель высоты H_T зоны водопроводящих трещин сдвига — размер ЗВТС над выработанным пространством вкрест напластования — разработана на основе обобщения материалов произведенных в 1950—1980 гг. 72 подработок затопленных выработок в Кузнецком, Донецком, Челябинском бассейнах и на Буланашском месторождении (по материалам геолого-маркшейдерских служб шахт, литературных и фондовых источников).

Участки затопления были приурочены к подготовительным и очистным выработкам и занимали различное положение в вертикальной проекции

относительно контуров подрабатывающей выработки.

Разработки велись на глубине до 480 м от поверхности, далеко за пределами зоны современного выветривания. Подработки осуществлены длинными забоями с полным обрушением кровли и вынудой мощностью от 1,1 до 3,0 м и были первичными. Размеры участков подработки варьировали от 700 до 458 000 м², высота водяного столба в затопленных выработках над центральной частью участка подработки — от 0,1 до 25 м.

Междупластья сложены типичным для угленосных толщ переслаиванием полускальных и скальных пород (алевролиты, аргиллиты, песчаники, в ряде случаев — известняки и угли) и имеют мощность от 16 до 160 м. Кратность подработки водного объекта изменялась от 15 до 48. В разрезах разделяющих толщ глинистые породы распределены, как правило, равномерно и представлены слоями средней и малой мощности. Тектоническая нарушенность участков подработки варьирует в довольно широких пределах, хотя даже в наиболее сложных случаях позволила осуществить выемку угля без оставления целиков в выработанном пространстве. В 7 случаях затопленные выработки размещались на висячих крыльях сбросов довольно значительной амплитуды.

Водопроявления из затопленных выработок были зафиксированы в 42 случаях подработок и развивались как при непосредственном заходе под водный объект, так и при приближении к нему в плане. Величина притока, не перераставшего в прорыв, варьировала от 2 до 250 м³/ч, увеличиваясь рывками по мере роста площади подработки. Поступление воды происходило главным образом в обрушенное пространство в форме про-

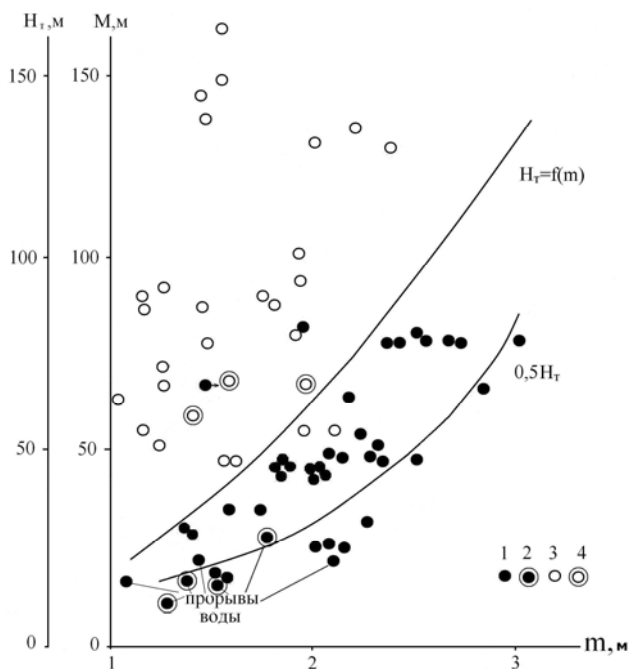


Рис. 1

сачивания, отмечая тем самым образование и функционирование в качестве водопроводящего канала системы объемнораспределенных трещин. Из 7 случаев подработок водного объекта на всячем крыле сброса водопроявления происходили в 4.

Основное количество подработок происходило в условиях вероятного размещения водного объекта в верхней части ЗВТС. При низкой кратности подработки, соответственно, роста вероятности вскрытия водоисточника нижней частью зоны по высоте были зафиксированы прорывы и притоки воды с весьма значительным дебитом (7 случаев; из них — в 4 затопленные выработки располагались на всячем крыле взброса), свидетельствуя о развитии дренажа затопленных выработок трещинами обреза.

Рассматриваемые подработки проходили в характерной для месторождений в полускальных и скальных

массивах обстановке (низкая естественная проницаемость, типичный литологический состав и структура междупластий), что служит обоснованием возможности совместного обобщения данных и экстраполяции его результатов на другие объекты.

Обработка данных произведена для выявления зависимости высоты зоны от ведущего фактора формирования ЗВТС — «вынутой мощности» m традиционным методом графиков граничных условий. Высота ЗВТС принята равной максимальной мощности

M междупластий при подработках с поступлением воды из затопленных выработок. Вынутая мощность определена как сумма идущих в добычу угольных пачек, породных прослоев, слоев почвы и кровли выработанного пространства. Некоторые результаты их обработки приведены на рис. 1.

Граничная кривая характеризует предельное положение верхнего контура ЗВТС. Она является огибающей семейства кривых, описывающих вариации высоты зоны в пространстве факторов формирования трещин (включая литологический состав и чередуемость слоев внутри подработанной толщи) при фиксированном значении вынутой мощности.

Кривая проведена с учетом установленными нами качественных изменений в сдвигении и распространении трещин при величине вынутой мощности менее и свыше 1,3—1,4 м. Вместе с тем, массив данных сам

свидетельствует о наличии такой тенденции.

Высота зоны (с учетом области обрушения пород) имеет вид [4]:

$$H_T = -22,5m + 13,5m^2 + 1,7m^3 + 33, \text{ м.}$$

Приведенная зависимость выражает близкую к максимально возможной высоту зон объемнораспределенных трещин в массивах смешанного существенно песчано-глинистого состава, в условиях отсутствия в подработанной толще склонных к зависанию слоев, при разработках вне зоны выветривания, пологом и наклонном залегании, выемочной мощности от 1,3 до 3,0 м.

Массовые данные свидетельствуют о том, что выемка угля на глубинах меньше H_T не ведет, безусловно, к прорыву воды, а в основном сопровождается поступлением притока, не представляющего непосредственной опасности. Фактическая глубина опасной по прорывам подработки затопленной выработки составляет, как правило, некоторую часть — не более чем половину высоты ЗВТС (рис. 1). Такие выводы распространяются на водные объекты аналогичного гидравлического типа, включая поверхностные водоемы и водотоки, аллювиальные отложения.

Можно констатировать, что проницаемость пород внутри верхней части ЗВТС, состоящих в основном из объемнораспределенных трещин, как правило, значительно меньше, чем в нижней части. Поскольку не все случаи подработок при вскрытии водного объекта нижней частью ЗВТС ведут к прорывам, правомерен также вывод о незначительном и нестабильном по высоте развитии трещин обреза над выработанным пространством. Область их распространения ограничивается нижней половиной ЗВТС.

Полученные результаты не могут рассматриваться в отрыве от учета влияния литологического состава и структуры междупластья — разделяющей толщи пород.

На основе обобщения материалов обширных подработок затопленных выработок нами установлено, что внутри верхней и средней частей зон объемнораспределенных трещин коэффициент вертикальной фильтрации слоев аргиллитов и алевролитов равен приблизительно 0,003 м/сутки, то есть незначителен. Соответственно, присутствие в разделяющей толще хотя бы одного такого слоя резко снижает ее общую техногенную проницаемость и препятствует поступлению притока в форме прорыва [4, 5].

Материалы выемки угля под затопленными выработками дают возможность оценить масштабы и характер погрешностей указаний действующих нормативных документов [1, 2] по определению высоты ЗВТС и прорывобезопасных глубин подработки различных водных объектов.

На рис. 2 нанесены графики, характеризующие значения высоты ЗВТС и глубину безопасной подработки $H_{без}$ водных объектов (по [1]) в массиве, сложенном песчаниками в одном случае (кривая А), аргиллитами и(или) алевролитами, в другом (кривая Б), то есть, как считается [1, 3], в наиболее и наименее благоприятных условиях для развития зоны, соответственно. Отметим, что кривые характеризуют согласно [1] развитие ЗВТС при подработках водных объектов всех видов за исключением затопленных выработок.

Сопоставление показывает, что расчетные (прогнозные) значения $H_T = H_{без}$ существенно отличаются от фактических. Так, результаты по меньшей мере 11 случаев подработок затоп-

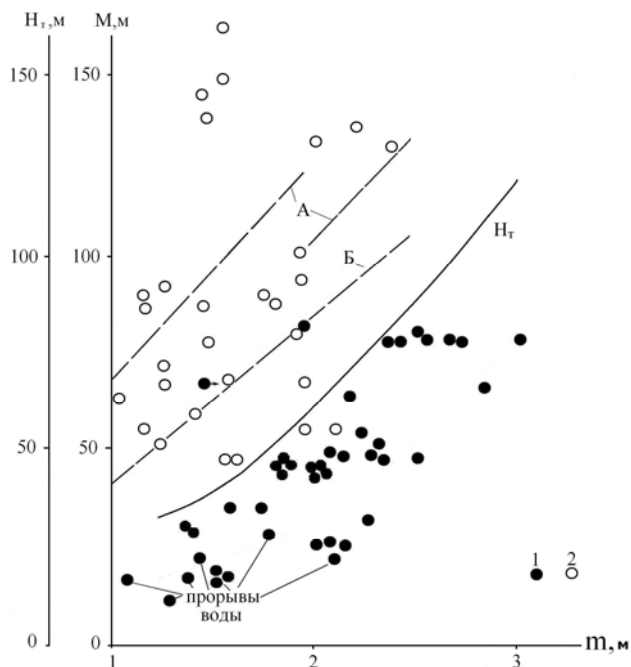


Рис. 2. Зависимость высоты H_T зоны водопродящих трещин сдвижения и прорыво-безопасной глубины $H_{без}$ подработки водных объектов (за исключением затопленных выработок) от вынимаемой мощности m на месторождениях угля в массивах скальных и полускальных пород

А, Б - $H_m = H_{без}$ по [1] в массивах, сложенных соответственно песчаниками и глинистыми породами; 1, 2 — подработки с водопритоками из затопленных выработок и без водопритока

ленных выработок — соответствующие им точки подработок без увеличения притока находятся ниже кривой Б, а также большая часть точек между кривыми А и Б — не согласуются с моделями высоты ЗВТС, фигурирующими в «Правилах охраны...». Во всех случаях эти подработки должны были сопровождаться прорывом воды или весьма значительным притоком, что наблюдалось, однако, только в 7 случаях. Значительные отклонения имеют место, таким образом, в широком диапазоне вынутых мощностей (1,0—2,1 м), для большей части которого характерно систематическое завышение прогнозных зна-

чений высоты (и глубины) по отношению к фактическим.

Аналогичная ситуация имеет место в отношении регулирования вопросов безопасной подработки затопленных выработок [2].

На рис. 3 нанесены графики, характеризующие значения глубины безопасной подработки (высоты ЗВТС) в массиве, сложенном исключительно песчаниками (линия В) либо аргиллитами и(или) алевритами (линия Г). Эти линии отвечают условиям $H_T = H_{без} = 40m$ (линии В и Г при $m \leq 2$ м), $H_T = H_{без} = 35m$ (линия В), $H_T = H_{без} = 25m$ (линия Г) (в обоих случаях не менее 80 м для $m > 2$ м) соответственно для водных объектов данного вида [2].

Сравнение показывает, что прогнозные значения высоты зоны согласно [2] в 6 случаях не подтверждаются исходом подработки затопленных выработок, поскольку она не сопровождалась поступлением воды из данного водного объекта.

Значительные отклонения наблюдаются во всем рассматриваемом диапазоне вынутых мощностей ($m = 1,3 \div 3,0$ м), для большей части которого характерно при этом систематическое завышение расчетных значений высоты зоны против фактических.

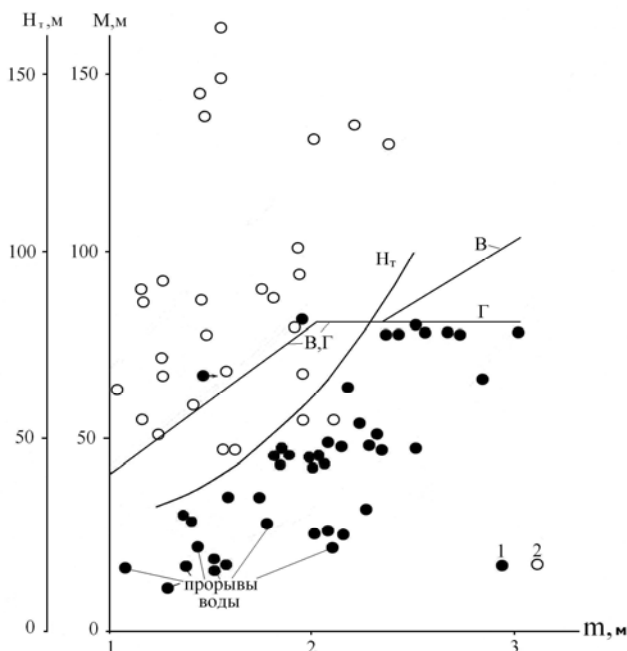


Рис. 3. Зависимость высоты H , зоны водопрводящих трещин сдвижения и прорыво-безопасной глубины $H_{без}$ подработки затопленных выработок от вынимаемой мощности m на месторождениях угля в массивах скальных и полускальных пород

$B, Г - H_m = H_{без}$ по [2] в массивах, сложенных соответственно песчаниками и глинистыми породами; 1, 2 — подработки с водопритоками из затопленных выработок и без водопритока

Еще более значительные расхождения имеют место при оценке прорывоопасности. В соответствии с положениями руководящего документа [2] применительно к подработкам затопленных выработок из 52 случаев ожидаемых опасных подработок таковыми фактически явились 7.

Правомерно констатировать завышение прогнозной степени риска против оказавшейся реальной, что является в целом оправданным. С другой стороны, применение нормативов для верхней части рассматриваемого диапазона выемочных мощностей не обеспечивает заведомого предотвращения притока из затопленных выработок и других водных объектов.

Необходимо подчеркнуть, что модели высоты ЗВТС и глубины безопасной подработки затопленных выработок и водных объектов других видов [1, 2] различаются между собой, несмотря на тождественность гидравлических свойств этих водоисточников и трещинообразования в сопоставимых обстановках.

Такая ситуация представляет собой неоправданное отступление от ранее действовавшей концепции [6, 7], логически несостоятельна и должна быть разрешена, а нормы согласованы между собой.

Можно констатировать, что выемка угольных пластов под такими водными объектами

как поверхностные и подземные водотоки и водоемы в условиях их вскрытия верхней частью ЗВТС, является прорывобезопасной с высокой надежностью. Опасность прорыва воды становится реальной в случае размещения водного объекта в нижней по высоте половине ЗВТС.

Приведенные данные свидетельствуют о необходимости уточнения представлений, на которых базируются нормативные документы, регламентирующие условия подработки затопленных выработок [2] и водных объектов других видов [1], и продолжения научных исследований по рассматриваемой проблеме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила* охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / Минтопэнерго РФ, РАН, ВНИМИ. — СПб, 1998. — 291 с.
2. *Инструкция* по безопасному ведению горных работ у затопленных выработок / Госгортехнадзор России, 1995 г.
3. *Безопасная* выемка угля под водными объектами / Б.Я. Гвирцман, Н.Н. Кашнельсон, Е.В. Бошнятов и др. — М.: Недра, 1977. — 175 с.
4. *Мохов А.В.* Прогнозная оценка гидрогеологических условий и управление водопритоком при подработке затопленных выработок / Уголь. — 1987. — № 3. — С. 46—49.
5. *Мохов А.В.* Морфология зон водопродящих трещин сдвижения на участках подземных разработок каменноугольных залежей // Горный информационно-аналитический бюллетень. — М.: Издательство МГУ. — 2008. — № 1. — С. 273—281.
6. *Правила* охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / Минуглепром СССР. — М.: Недра, 1981. — 288 с.
7. *Временная* инструкция по безопасному ведению горных работ у затопленных выработок. — Л.: ВНИМИ, 1978. — 72 с. **ИДБ**

Коротко об авторе

Мохов А.В. — кандидат геолого-минералогических наук, инженер-гидрогеолог, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник Южного научного центра Российской Академии наук (ЮНЦ РАН) в г. Ростове-на-Дону; e-mail mochov@mmbi.krinc.ru.



РУКОПИСИ, ДЕПониРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Стеглянникова Н.И., кандидат технических наук, доцент,

Титенкова Г.В., Иванов А.А. кафедра «Основания и фундаменты», Петербургского государственного университета путей сообщения

Деформационные расчеты основания и фундаментов Морского собора во имя святителя Николая Чудотворца в Кронштадте (№ 787/02-11 от 02 ноября 2010 г.) 6 с.

Обсуждены результаты обследования фундаментов Морского собора в Кронштадте. Приведена история строительства Собора. В статье даются объяснения причины деформаций Собора и дефектов в его несущих элементах.

Ключевые слова: деформации, трещины, грунты, фундаменты, обследование, скважина, физические характеристики грунта.

Steklyannikova N.I., Titenkova G.V., Ivanov A.A. DEFORMATION CALCULATIONS FOR THE GROUND AND FOUNDATIONS OF THE NAVAL CATHEDRAL OF ST. NICHOLAS IN KRONSTADT

Some results of technical survey of the Sea Cathedral in the town of Kronshadt are discussed in the article. The history of construction of the Cathedral is observed. The article explains the reasons for deformations of the Cathedral and for the faults in its bearing elements.

Key words: Deformations, cracks, soil, foundation, technical survey, borehole, physical properties of soil.