

ОЦЕНКА РИСКА ПРОРЫВА ВОДЫ НА ПРИМЕРЕ БАРЬЕРНОГО ЦЕЛИКА МЕЖДУ ШАХТАМИ «ДОНЕЦКАЯ» И «КОМСОМОЛЕЦ ДОНБАССА»

к.т.н. Уланский О.А., инж. Семенов А.П. (ГК
«Укруглеструктуризация»), д.т.н. Грядущий Ю.В. (ИСД),
к.т.н. Иваков И.Е. (ДонНТУ)

Обеспечение гидробезопасности нижележащих шахт является одной из главных проблем при закрытии нерентабельных угольных предприятий. Данная проблема неразрывно связана с устойчивостью барьерных целиков оставляемых между шахтами. В настоящее время преобладающая глубина расположения целиков составляет от 400 до 1200 м. На таких глубинах имеет место значительное горное давление, достигающее значений 10-30 МПа. При попадании барьерных целиков под влияние очистных работ значение действующего на них давления может увеличиваться в несколько раз. Естественно, что целики подверженные такому повышенному давлению имеют тенденцию к растрескиванию, и не могут достаточно эффективно выполнять свою прямую задачу – предотвращение прорыва воды из затопляемых шахт. Также очевидно, что в значительной мере устойчивость барьерного целика будет определяться наличием или отсутствием вблизи него очистных работ.

В настоящее время принята нормативная для угольной отрасли методика [1] определения ширины угольного целика между шахтами. В соответствии с ней (п. 1.4) следует оставлять угольные предохранительные (барьерные) целики у затопляемых выработок шириной:

$$d = 5m + 0,05H + 0,001l, \quad (1)$$

где m – вынимаемая мощность пласта, м;

d – ширина опасной зоны (барьерного целика), м;

H – расстояние по вертикали от земной поверхности до опасной зоны, м;

l – суммарная протяженность подземных теодолитных ходов, используемых для определения контура затопленных выработок и построения границ опасной зоны, м.

При этом значение параметра d не может быть принято меньше 20 м.

Нормативная методика [1] также предлагает определение расстояния от затопленного пласта до нижележащего, при котором на нем возможно безопасное ведение работ.

С научной точки зрения методика [1] построена на основе многочисленных наблюдений, и поэтому является статистической. Она не учитывает (1) различные геологических и горнотехнических условий, которые имеются в каждом конкретном случае. Поэтому она дает приближенные результаты с некоторым неопределенным коэффициентом запаса. Естественно, что при этом может иметь место завышение или занижение необходимой ширины целика и толщи пород при ведении работ или подработке затопленного участка.

В данной работе на примере шахт «Донецкая» и «Комсомолец Донбасса» предлагается альтернативный подход к анализу устойчивости барьерных целиков между шахтами. Он предусматривает оценку риска прорыва воды на основе метода дискретных элементов.

Следует отметить, что к настоящему времени о понятие «прорыв воды» не достаточно формализовано. Поэтому нельзя точно сказать, что считается «прорывом воды», и относительно какой геомеханической ситуации (с гидравлическими последствиями) производить оценку риска прорыва. Предлагается считать «прорывом воды» сквозное объединение зон водопроводящих трещин, прилегающих к выработанным пространствам от соседних шахт. При этом резко (20-30 раз и более [2]) повышается переток воды из затопленных горных работ по сравнению с ситуацией, когда приток воды на нижележащие выработки осуществляется только за счет ее фильтрации через породы. При этом не обязательно происходит разрушение целика с потерей его формы. Такое определение «прорыва воды» позволяет иметь некоторый запас даже при достижении критической ситуации. Предлагаемый подход к определению устойчивости барьерных целиков через наличие в них трещин в последнее время получает все большее распространение [2-4]. Для определения наличия трещин в массиве метод дискретных элементов [5, 6] подходит наилучшим образом. В отличие от широко распространенных в горном деле расчетных методов (плита на упругом основании [7], конечных разностей [8], конечных элементов [4] и др.) метод дискретных элементов позволяет кроме напряженно-деформированного состояния оценить разрушение массива, то есть его трещиноватость, а также причины его вызвавшие. Можно также отметить, что выводы, получаемые при моделировании, будут более точными по сравнению с выводами на основе нормативной методики [1], как учитывающие как горнотехническую, так и горно-геологическую обстановки. В частном случае выводы о невозможности прорыва воды,

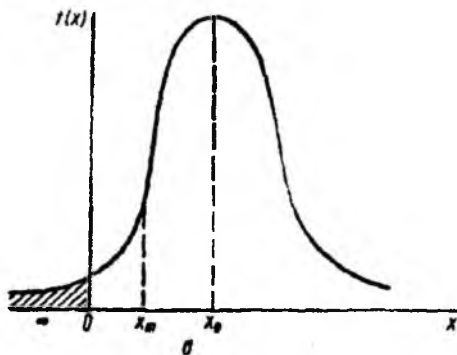


Рис. 1. Вид нормального закона распределения для основных геомеханических параметров.

получаемые на основе моделирования и нормативной методики, будут совпадать.

На настоящий момент не существует достаточно надежной методики определения степени риска прорыва воды. Существующие методики оценки устойчивости целиков являются или статистическими [1] или дискретными [9], и не позволяют оценить именно степень риска. Источник [10] показывает, что в геомеханике ввиду неопределенности все параметры носят вероятностный (стохастичный) характер. Это касается прочностей, ориентации трещин и др., то есть тех параметров, которые используются при геомеханических расчетах. Закон распределения для них носит нормальный характер (рис. 1). При этом средние отклонения параметров от пика графика для горных пород составляют ≈ 3 [10]. Вследствие этого возникает неоднозначность получаемых результатов. Они сильно зависят от того, с какой степенью достоверности определены исходные параметры.

Вероятностный характер свойств вмещающих пород показывает, что существует возможность того, что часть пород в массиве имеет прочность существенно выше или существенно ниже средней. Вероятность, например, того, что прочность пород в 10 раз ниже наиболее часто встречающегося значения (заштрихованная площадь к общей площади распределения рис. 1) составляет $\approx 5\%$.

Вследствие стохастического характера прочности значение критерия устойчивости массива пород (рассчитываемого по любой формуле - Кулона-Мора, Заславского, Губера-Мизеса и др.) принимает стохастичный вид, и будет иметь нормальное распределение, аналогично показанному на рис. 1. При этом устойчивость массива, также как и входящие параметры, будет

оцениваться вероятностью с определенным показателем надежности. В нашем случае вследствие математического моделирования мы имеем детерминированные значения напряжений. Соответственно определяемые напряжения не носят вероятностного характера. Поэтому отклонения критерия устойчивости будет определяться только распределением физико-механических свойств.

К сожалению, при использовании геологических данных о породах в окрестности междушахтных целиков [11], следует учитывать, что это только наиболее вероятные их значения, которые даны к тому же без указания показателя надежности, с которым они определены. Ввиду этого получаемые итоговые результаты (в том числе степень риска), основанные на использовании этих данных, будут иметь такую же неопределенную степень надежности. Исходя из опыта, можно предположить, что показатель надежности при определении свойств горных пород находится в пределах 0,65-0,8, то есть относительно высокий.

Степень риска прорыва воды предлагается определять как отношение времени, за которое достигнута геомеханическая ситуация для которой определяется риск, ко времени, при котором происходит объединение зон водопроводящих трещин по кратчайшему расстоянию между выработанными пространствами между шахтами.

Метод дискретных элементов позволяет производить приблизительный учет времени. Для определения масштаба применялась следующая методика [12]. При моделировании выделяется типичная геомеханическая ситуация, для которой известно время ее протекания. Далее определяется время, которое приходится на один цикл моделирования. Время при произвольной геомеханической ситуации будет определяться как произведение количества циклов за которое достигнута ситуация при моделировании на время приходящееся на один цикл моделирования.

Можно видеть, что ввиду пропорциональности времени и циклов моделирования, степень риска может быть определена также как отношение количества циклов, при которых получены исследуемые геомеханические ситуации к количеству циклов, при котором происходит разрушение целика между шахтами. В этом случае определение времени, приходящегося на один цикл моделирования, является не обязательным. В целом, ввиду того, что при определении степени риска происходит сокращение параметров времени, сам фактор времени носит относительный характер, и соответственно не имеет принципиального значения. Иными словами, пропорциональность между временем и циклами моделирования может быть определена примерно, и это не скажется на текущем значении степени риска. Получаемая при

определении степени риска безразмерная величина для удобства может выражаться в процентах.

Исходя из того, что существует некоторая вероятность того, что породы имеют прочность меньше указанной, при расчетах устойчивости массива необходимо вводить запас. В источнике [10], исследователями получен важный вывод, что в условиях неопределенности в геомеханике для обеспечения устойчивости геомеханической конструкции с показателем 0,95 необходим запас равный 2,99 или примерно 3. Поэтому если при расчетах получаемый процент степени риска будет в три раза меньше ситуации с прорывом воды (100% риска) или другими словами меньше 33%, тогда можно считать, что обеспечена достаточная устойчивость целика.

Следует отметить, что при таком определении риска прорыва воды он окажется несколько завышенным. Объясняется это тем, что в начальный период сдвижений трещины являются водопродводящими. В продолжительном же периоде, когда происходит уплотнение разрушенных и трещиноватых слоев, трещины начинают залечиваться. Кроме того, уже образующиеся трещины не обязательно являются открытыми [13]. Это же касается трещин в массиве, где не происходили непосредственные обрушения. Такими местами являются области непосредственно целика, над и под ним, то есть наиболее критические места с точки зрения устойчивости междушахтного массива. Это следует признать положительным моментом с точки зрения предотвращения прорыва воды. Именно данный факт и обеспечивает запас при расчете устойчивости, так как мы предполагаем заранее, что все трещины водопродводящие.

Для повышения достоверности прогноза степени риска, за критическую принималась геомеханическая ситуация, когда трещины отмечаются на кратчайшем расстоянии между выработанными пространствами шахт «Донецкая» и «Комсомолец Донбасса», т.е. непосредственно в целике или на его контуре.

По предлагаемой методике было проанализировано два критических сечения в барьерном целике между шахтами «Донецкая» и «Комсомолец Донбасса». В качестве первого из них рассматривалась часть целика между 4-й западной лавы шахты «Донецкая» и 4-й северной лавы шахты «Комсомолец Донбасса» по пласту 17, в том числе и при условии его возможной подработки лавой по пласту 16 шахтой «Комсомолец Донбасса». В качестве второго критического сечения рассматривалась горнотехническая ситуация, сложившаяся на границе между шахтами в районе параллельного откаточного штрека пласта 13 (уровень отметки – минус 164,7 м) шахты «Комсомолец Донбасса» и 4-го откаточного штрека пласта 13 (уровень отметки – минус 154,5 м) шахты «Донецкая». Ситуация в данном случае осложняется тем, что по

пласту Iз реальные размеры оставленного междушахтного целика составили ≈ 20 м. При моделировании размеры отдельных блоков для первого критического сечения принимались равными 10 м. Каждому блоку задавались свойства соответствующей ему части массива. Во втором критическом сечении размеры блоков были уменьшены до 1,5 м. Соответственно производился пересчет и физико-механических свойств в элементах. В верхней части модели выделялся слой элементов повышенной плотности. Этим моделировалась притрузка от вышележащей части массива.

Рассмотрим результаты моделирования. В первом критическом сечении при затоплении шахты «Донецкая» до уровня +18,4 м слияние зон разрушений от выработанных пространств соседних шахт происходит на 120 тыс. цикле моделирования (≈ 132 года). Существующая к настоящему времени на шахте геомеханическая ситуация с дополнительным затоплением шахты «Донецкая» до уровня +18,4 м (столб воды ≈ 220 м), получена на 15 тыс. цикле моделирования (≈ 17 лет) (рис. 2, черные точки – трещины сдвига, белые точки – трещины растяжения-сжатия). Таким образом, риск прорыва воды без подработки целика при затоплении шахты «Донецкая» до уровня +18,4 м составляет всего до 8%, что следует признать приемлемым. Отсюда можно сделать вывод, что в первом критическом сечении при существующей горнотехнической ситуации и при затоплении шахты «Донецкая» прорыва воды в выработки шахты «Комсомолец Донбасса» не произойдет.

Сложнее ситуация при варианте подработки целика по пласту I7 очистными работами по пласту I6 шахтой «Комсомолец Донбасса». Так в соответствии с [1] (п. 1.8) безопасное расстояние до подрабатываемого пласта составляет 64 м. Фактическое расстояние в данном месте составляет ≈ 92 м (данные по ближайшей скважине 1533). Таким образом, с точки зрения нормативного документа [1] подработка целика при существующей горнотехнической ситуации возможна. Результаты моделирования методом дискретных элементов показали, что непосредственно после затопления шахты «Донецкая» до уровня +18,4 м и подработке целика очистными работами по пласту I6 трещины не распространяются на всю ширину целика (рис. 3). Данная геомеханическая ситуация достигнута на 10 тыс. цикле моделирования (≈ 11 лет). Полное нарушение целика трещинами отмечается уже на 25 тыс. цикле моделирования (≈ 28 лет). Степень риска достижения ситуации с прорывом воды по кратчайшему расстоянию между шахтами составляет 40%. Можно видеть, что требование трехкратного запаса устойчивости целика в данном случае не соблюдается. Также можно видеть, что даже при использовании приблизительного метода оценки времени, объединение зон трещин от соседних шахт возможно еще в период

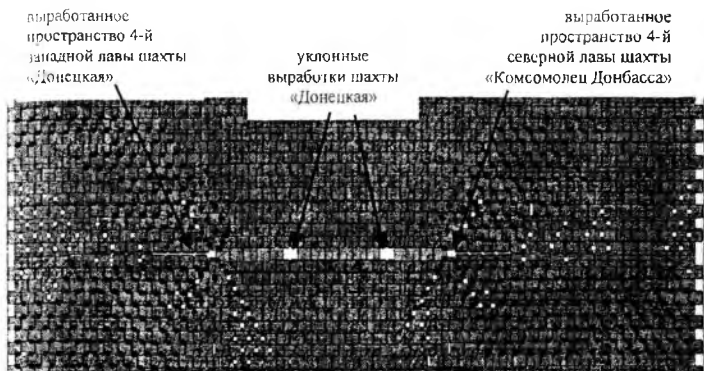


Рис. 2. Результаты моделирования распределения трещин в первом критическом сечении при затоплении шахты «Донецкая» до уровня +18,4 м.

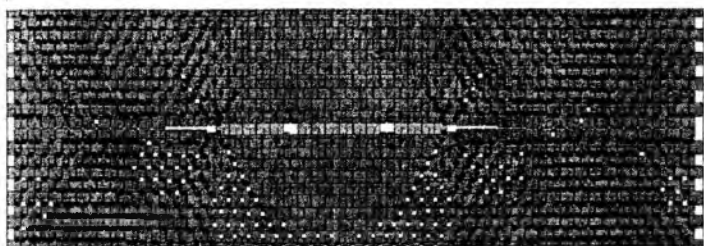


Рис. 3. Результаты моделирования распределения трещин в первом критическом сечении при затоплении шахты «Донецкая» и подработке целика пласта l7 лавой по пласту l6

работы шахты «Комсомолец Донбасса». Таким образом, в первом критическом сечении при полном затоплении шахты «Донецкая» и подработке целика по пласту l7 очистными работами по пласту l6 не исключен прорыв воды в выработанные пространства шахты «Комсомолец Донбасса».

Во втором критическом сечении нормативная ширина барьерного целика составляет ≈ 30 м. Фактическая минимальная ширина целика, как уже упоминалось, составляет ≈ 20 м. Таким образом, в соответствии с нормативной методикой [1], между шахтами «Донецкая» и «Комсомолец Донбасса» оставлен целик недостаточных размеров. Оценим степень риска прорыва воды. Так геомеханическая ситуация моделирующая затопление шахты «Донецкая» (рис. 4) достигнута на 10 тыс. цикле моделирования

(≈11 лет). Полное разрушение целика между выработками достигается на 80 тыс. цикле моделирования (≈88 лет). Данная геомеханическая ситуация показана на рис. 5. Таким образом, риск достижения геомеханической ситуации с разрушением междушахтного целика составляет примерно 1/8 или 13%. Данный процент риска можно признать незначительным.

Таким образом, во втором критическом сечении при затоплении шахты «Донецкая» до уровня квершлага, соединяющего её с шахтой «Житомирская» (+18,4) обеспечивается устойчивость междушахтного целика. Степень риска прорыва воды составляет <13%. В связи с этим может иметь место затопление шахты до указанного уровня.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы. 1) Существующая нормативная методика [1] определения размеров барьерных целиков не учитывает реальные горнотехнические ситуации, складывающиеся в их окрестности, и поэтому может иметь место, как завышение, так и занижение нормативных размеров барьерных целиков. 2) Метод дискретных элементов позволяет оценить устойчивость барьерных целиков при конкретных горнотехнических и горно-геологических условиях. 3) Использование метода дискретных элементов позволяет в первом приближении оценить степень риска прорыва барьерного целика, что необходимо в условиях неопределенности исходной геологической и горнотехнической информации.

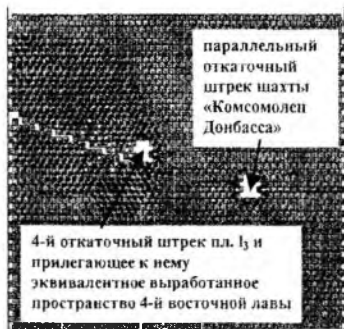


Рис. 4. Результаты моделирования состояния массива во втором критическом сечении при затоплении шахты «Донецкая» до уровня +18,4 м.

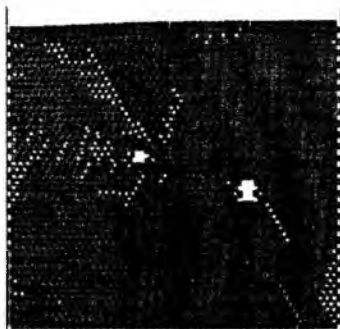


Рис. 5. Геомеханическая ситуация при разрушении целика между шахтами «Донецкая» и «Комсомолец Донбасса» по пласту l3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ у затопленных выработок. Л: ВНИМИ, 1984. 66 с.
2. Семенов А.П. Технология ведения горных работ рядом с барьерными целиками: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.02 /ДонФТИ –Донецк, 2001. –16 с.
3. Закрытие угольных шахт и обеспечение безопасной работы для смежных действующих шахт / Семенов А.П., Улицкий О.А., Ермаков В.Н., Питаленко Е.И. // Физико-технические проблемы горного производства. –Донецк: ДонФТИ. –1999. –С. 22-25.
4. Семенов А.П., Ермаков В.Н. Математическое моделирование напряженного состояния барьерных целиков // Физико-технические проблемы горного производства. –Донецк: ДонФТИ. –2001. –С. 132-146.
5. Данилов В.К., Иванов И.Е., Суцаков В.А., Звягильский Е.А. Управление устойчивостью кровли очистного забоя на сопряжении с помощью регулирования отпора механизированной крепи //Известия Донецкого горного института, №1, 1999.-С.10-13.
6. Зборщик М.П., Назимко В.В., Иванов И.Е., Суцаков В.А., Халимендик Ю.М. Прогноз разрушений пород методом моделирования в окрестности призабойного пространства лавы //Уголь Украины. –1999. –№5. –С. 20-23.
7. Назимко В. В. Геомеханические основы устойчивости подготавливающих выработок зонах разгрузки при воздействии очистных работ: Дисс... докт. техн. наук: 05.15.02., 05.15.11. Донецк, 1989. -337 с.
8. Sinha K. P. Displacement discontinuity technique for analyzing stresses and displacements due to mining in seam deposits. A thesis submitted to the faculty of the school of the University of Minnesota. //In partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. Minnesota., March 1979, 311 pp.
9. Гидрогеологические условия в горном деле. Под общ. ред. докт. геол.-минерал. наук В.А. Мироненко. М., «Недра», 1976, 352 с.
10. Методы теории вероятности в геомеханике / О.М. Шашенко, М.С. Сургай, А.Я. Парчешский. –К.: Техника, 1994. –216 с.
11. Проект ликвидации шахты «Донецкая» г. Кировское, Донгипрошахт, книга 1, 1999.
12. Звягильский Е.А. Геомеханические основы предотвращения обрушений земной поверхности над закрывающимися шахтами. Автореф. дисс. докт. техн. наук, Днепропетровск: ИГТМ. 2000. 37 с.
13. Рупленийт К.В. Деформируемость массивов трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1975. 233 с.