

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОДОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЕРЕМЫЧЕК ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВОДОПРИТОКОВ ИЗ ЛИКВИДИРУЕМЫХ ШАХТ**

Рассмотрено компьютерное моделирование различных конструкций водоизоляционных перемычек, предназначенных для защиты от водопритоков из выработок ликвидируемых шахт. На конечно-элементных моделях исследовано напряженно-деформированное состояние плоских перемычек, построены изополя эквивалентных сжимающих и эквивалентных растягивающих напряжений в перемычке и вмещающем породном массиве. Определены наиболее опасные сечения и построены эпюры эквивалентных напряжений. Установлены области применения и необходимые геометрические и прочностные параметры плоских перемычек.

Для повышения несущей способности и снижения затрат на установку перемычек предложено использовать криволинейные перемычки, позволяющие значительно снизить растягивающие напряжения и тем самым повысить надежность и расширить область применения перемычек. Установлены рациональные параметры и области применения криволинейных перемычек.

The article studies computer modeling of various designs of water-proof bulkheads intended for protection against water-inflows from openings of closed mines. Stress and strain state of flat bulkheads is studied and isofields of equivalents compressing and stretching pressures in the bulkheads and surrounding rocks are designed basing of finite element schemes. The most dangerous sections are determined and diagrams of equivalent pressure in them are built up. Possible areas of application and necessary geometric parameters and mechanical properties of flat bulkheads are determined as the research results.

Application of curvilinear bulkheads which help to considerably reduce stretching pressures is suggested in order to increase the bearing capacity and decrease expenses on bulkhead construction, thus raising reliability and expanding the sphere of bulkhead application. Rational parameters and application areas of curvilinear bulkheads are determined.

В результате закрытия и затопления нерентабельных шахт возникает проблема перетока воды в действующие горные предприятия, особенно при наличии общих горных выработок. Это повышает опасность производства работ и увеличивает энергозатраты на водоотлив, а иногда приводит к затоплению действующих шахт. Поэтому для нормальной работы горного предприятия необходима надежная водоизоляция ликвидируемых выработок.

В настоящей работе на основе компьютерного моделирования с применением программно-вычислительного комплекса

«Лира-Windows 9.0», реализующего метод конечных элементов, произведена оценка несущей способности водоизоляционных перемычек различных конструкций, возводимых из бетона разных классов по прочности. Для исследований построена плоская конечно-элементная модель, включающая массив пород с полостью, моделирующей горную выработку, и плоскую перемычку, на конечные элементы которой приложены усилия со стороны подземных вод.

В качестве базового варианта рассмотрена плоская перемычка из бетона класса

В25. Общий вид конечно-элементной модели представлен на рис.1.

Для исследования влияния толщины плоской перемычки на ее напряженно-деформированное состояние (НДС) моделировались перемычки толщиной 1,2; 1; 0,8; 0,6; 0,5 и 0,4 м. На каждую из перемычек прикладывались различные величины гидростатического давления, рассчитывались параметры НДС перемычки, определялись эквивалентные растягивающие и сжимающие напряжения в перемычке и строились изополюс этих напряжений.

Анализ изополюс и сравнение возникающих максимальных эквивалентных напряжений с пределами прочности материала перемычки показывает, что наиболее опасными являются эквивалентные растягивающие напряжения. Для определения возможной линии разрушения перемычки были построены эпюры эквивалентных растягивающих напряжений по трем сечениям: по оси выработки, по линии «среза» перемычки на контакте с массивом, по линии максимальных средних растягивающих напряжений.

Как показывает анализ, наиболее вероятное сечение разрушения перемычки от воздействия растягивающих напряжений проходит от точки контакта перемычки с породой к точке, лежащей на оси выработки со стороны, противоположной действию нагрузки.

Исследование влияния толщины плоской перемычки на ее НДС показывает, что с уменьшением толщины перемычки  $\delta$  при действии той же нагрузки значительно возрастают как эквивалентные сжимающие, так и растягивающие напряжения  $\sigma_{p, \pm}$  (рис.2), поэтому более тонкие плоские перемычки (толщиной 0,4-0,5 м) могут быть рекомендованы только для восприятия относительно небольшого (0,25-0,5 МПа) гидростатического давления.

Для обеспечения лучших условий работы перемычек при восприятии гидростатического давления подземных вод предлагается устраивать криволинейные перемычки в форме сектора тонкостенного цилиндра, обращенного выпуклой стороной по направлению действия нагрузки. Такая

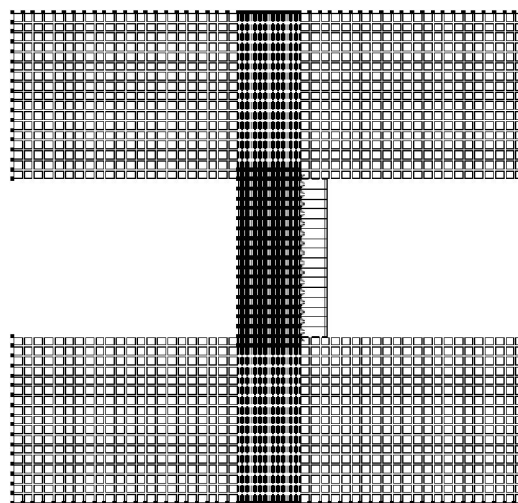


Рис. 1. Конечно-элементная модель плоской перемычки; ширина выработки – 3,2 м; толщина перемычки – 1,2 м

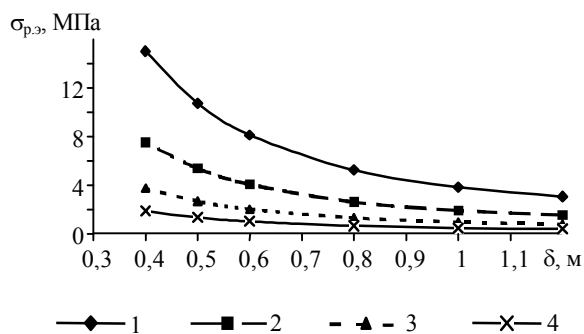


Рис. 2. Графики зависимости максимальных эквивалентных растягивающих напряжений от толщины перемычки при различном гидростатическом давлении  
1 – 2 МПа; 2 – 1 МПа; 3 – 0,5 МПа; 4 – 0,25 МПа

форма перемычки будет лучше воспринимать нагрузки по сравнению с плоской плитой-перемычкой такой же толщины.

Для анализа влияния геометрических параметров перемычки на возникающее в конструкции перемычки НДС произведено моделирование различных по толщине (от 0,1 до 1 м через каждые 0,1 м) перемычек с внешним радиусом закругления 2,4 м. Пример конечно-элементной модели выработки с криволинейной перемычкой показан на рис.3.

В результате расчета определены максимальные эквивалентные сжимающие и растягивающие напряжения в перемычке, и их распределение по контуру перемычки.

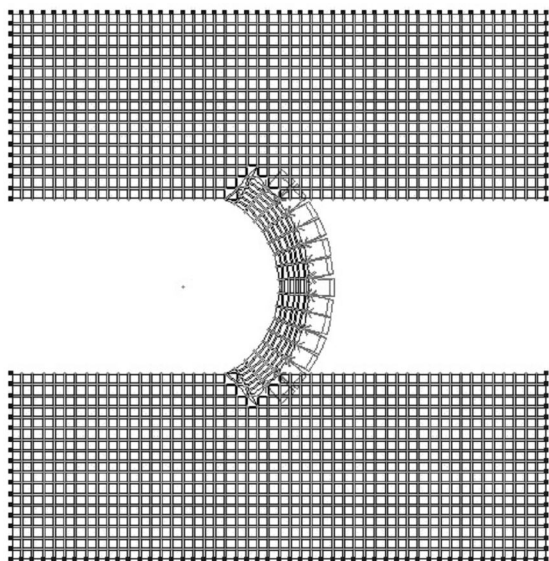


Рис.3. Конечно-элементная модель криволинейной перемычки; ширина выработки – 3,2 м; толщина перемычки – 0,6 м; внешний радиус закругления – 2,4 м

Максимальные эквивалентные напряжения возникают в центральной выпуклой части перемычки со стороны воздействия внешних усилий, а также в местах контакта перемычки с вмещающими породами. Высокие растягивающие напряжения наблюдаются в основном в массиве пород в местах примыкания перемычки и передачи через нее нагрузок. В самой же криволинейной перемычке, в отличие от плоской конструкции, опасные растягивающие напряжения практически не возникают, поэтому разрушение перемычки не происходит даже при гидростатическом давлении 3-4 МПа. При наличии слабых вмещающих пород нарушение гидроизоляции и прорыв воды могут происходить в результате разрушения пород по контакту перемычки и массива.

Результаты моделирования позволяют сделать следующие выводы:

- плоские водоизоляционные перемычки обладают низкой несущей способностью и могут разрушаться по вертикальной плоскости, совпадающей с продольной осью вы-

работки из-за высоких эквивалентных растягивающих напряжений;

- плоские бетонные перемычки толщиной не менее 0,6 м могут применяться при ожидаемом гидростатическом давлении на них не более 0,25 МПа, при этом класс бетона по прочности на сжатие должен быть не менее В25;

- плоские бетонные перемычки толщиной не менее 0,8 м могут применяться на ожидаемом гидростатическом давлении на них не более 0,5 МПа, при этом класс бетона по прочности на сжатие должен быть не менее В35;

- для обеспечения восприятия давления до 2 МПа необходимо применять криволинейные перемычки, обращенные выпуклостью в сторону действия гидростатического давления, при этом их толщина должна быть не менее 0,6 м при классе бетона не ниже В30;

- при давлении до 4 МПа необходимо применять криволинейные перемычки толщиной не менее 1 м с одновременным тампонажем вмещающего горного массива или устраивать тампонажные пробки, состоящие из двух перемычек, пространство между которыми заполнено тампонажным глиноцементным раствором [1-3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Опыт гидроизоляции шахтных стволов Новошахтинского района / А.А.Привалов, М.В.Суптелин, С.В.Письменская, В.В.Пушкина // Научно-технические проблемы шахтного строительства: Сб. науч. тр. / Шахтинский ин-т ЮРГТУ. Новочеркасск, 2000. С.209-217.
2. Суптелин М.В. Методика расчета водоизоляционной перемычки из вязкопластичного материала // Совершенствование проектирования и строительства угольных шахт: Сб. науч. тр. / Шахтинский ин-т ЮРГТУ. Новочеркасск, 2001. С.202-205.
3. Суптелин М.В. Технологии и параметры водоизоляции горных выработок ликвидируемых шахт // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. Приложение № 4. 2003. С.130-136.

Научный руководитель к.т.н. доц. *А.Ю.Прокопов*