

Анализ результатов моделирования показывает, что в кровле и почве выработки состояние пород приконтурной зоны является удовлетворительным. Глубина предельных растягивающих напряжений в кровле находится в пределах зоны, закрепленной анкерами. То есть, породы склонные к отслоению и перешедшие в запредельную стадию деформирования удерживаются анкерами. Глубина предельной зоны растяжения в почве выработки не превышает 0,5м.

В породах приконтурной области в боку выработки напряжения меняются в направлении от почвы пласта от сжимающих - 5МПа, до растягивающих 4МПа. Таким образом, на бровке штрека критические растягивающие напряжения отсутствуют. Зона предельных растягивающих напряжений возникает в почве пласта сбоку от литой полосы, и вызвана выдавливанием пород из под уплотненной области под литой полосой. Однако эта зона имеет небольшие размеры, и не оказывает существенного влияния на устойчивость штрека. Она может быть сдержана установкой органной крепи на контуре литой полосы со стороны штрека.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают целесообразность применения предложенного способа.

#### Библиографический список

1. **Ильяшов М.А.** Эффективный резерв повышения конкурентоспособности шахтного фонда – повторное использование участков выработок / М.А. Ильяшов / Уголь Украины. 2011. - №1. С. 22-26.
2. Байсаров Л. В., Ильяшов М. А. Демченко А. И. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых горных выработок. — Днепропетровск: ЧП «Лири ЛТД», 2005.
3. **Ильяшов М. А.** Геомеханическое обоснование конструкции крепи подготовительных выработок угольных шахт / М.А. Ильяшов / Горный Журнал. 2008. - №12. С 27-29.
4. **Насонов А. А.** – Повышение устойчивости повторно используемых выработок угольных шахт, сооружаемых с подрывкой почвы: Автореф. Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 25.00.22. / Насонов Андрей Андреевич. // Новочеркасск, 2011
5. **Сахно И.Г.** Лабораторные исследования особенностей работы невзрывчатых разрушающих веществ при фиксированном сопротивлении их объемному расширению/ И.Г. Сахно / Проблемы гірського тиску . 2010. - №18. С. 135-149.

УДК 622.273

#### ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ПРОЧНОСТИ ЗАКЛАДКИ С ФИБРОПОЛНИТЕЛЕМ

*К.т.н., доц. Шубин А.А., студ. Сеницына Н.С., Горный Университет, г. Санкт-Петербург, Россия, [andy57@rambler.ru](mailto:andy57@rambler.ru)*

Основными характеристиками для проектирования размеров конструкций с фиброполнителем, а также их состава являются предел прочности материала на растяжение и его трещиностойкость. Известны расчетные зависимости [1, 2], они достоверны и необходимы для точных расчетов в процессе проектирования конструктивных элементов зданий и сооружений на конкретные нагрузки, но сложны и громоздки для оценки прочностных характеристик в процессе расчета состава фибробетона. Сложность заключается в определении в расчетных зависимостях большого количества эмпирических коэффициентов, учитывающих пространственную ориентацию и геометрические размеры фибры, длину зон и анкеровки в бетонной матрице, степень дисперсного армирования и др.

В связи с этим целью наших исследований являлась разработка более простого метода расчета предельной нагрузки на композит, при которой отдельные трещины не будут вызывать разрушения материала, а также прочности фибробетона на растяжение с точностью, достаточной для проектирования составов рассматриваемого материала.

Предлагается определение этих параметров осуществлять на основе теории вероятностей [3]. Вначале определим вероятность пересечения фиброй заданного сечения конструкции. Для этого найдем вероятность того, что стержень длиной  $l$ , помещенный наудачу внут-

ри куба со стороной  $a(a > 2l)$ , пересечет плоскость, параллельную боковой стороне и отстоящей от нее на расстоянии  $x \leq a/2$ . Спроектируем ситуацию на основании куба и обозначим концы стержня через  $M$  и  $N$ , а части куба  $Q$  (со стороной  $x$ ) и  $G$  (со стороной  $a - x$ ) (рис. 1).

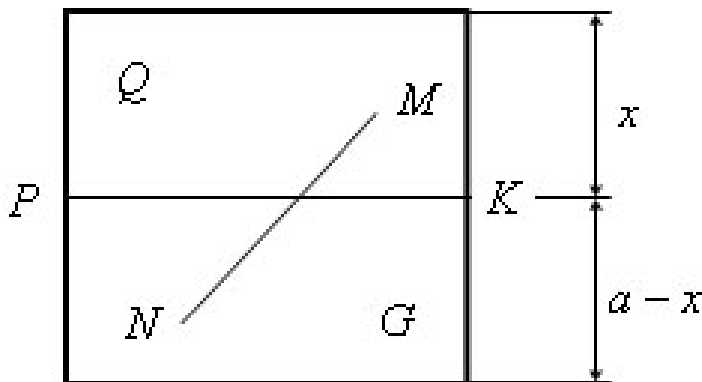


Рис. 1. - Схема размещения стержня

Введем следующие гипотезы:

$$H_1 = \{M \in Q\}, H_2 = \{N \in G\}, \\ A_x = \{NM \text{ пересекает } PK\}.$$

Тогда получим выражение:

$$P(H_1) = x/a, P(H_2) = (a-x)/a, \\ P(A_x/H_1) = l/(x+l) P(A_x/H_2) = x/a.$$

Вероятность пересечения стержнем рассматриваемого сечения равна

$$P(A_x) = P(A_x/H_1) P(H_1) + P(A_x/H_2) P(H_2) = xl/a(x+l) + x(a-x)/a^2 = x/a(l/(x+l) + (a-x)/a).$$

Если таких стержней  $n$ , то вероятность равна

$$P(A_x) = nx/a(l/(x+l) + (a-x)/a).$$

Но не все пересечения арматурных стержней обеспечивают качественную работу. Проработка различных схем размещения стержня относительно рассматриваемой плоскости позволила установить следующие влияющие факторы:  $l_a = \pi d_f \delta / 2 \sigma_{np}$  и угол заделки ( $\varphi$ ).

Обозначим  $\varphi$  углом встречи между плоскостью и стержнем, а  $l$  и  $l_a$  – длинами фибры и эффективной заделки;  $\Omega$  – пространством элементарных событий (рис. 2).

Вероятность эффективного события будет равна

$$P_x = v_l/v_m,$$

$$\text{где } v_l = 4 \pi (l-l_1)^3 / 3 - 4 \pi (l-l_1)^3 (1-\cos\varphi) / 3 = 4 \pi (l-l_1)^3 \cos\varphi / 3; \quad v_m = 2 \pi l^3 / 3.$$

Отсюда

$$P_x = v_l/v_m = 4 \pi (l-l_1)^3 \cos\varphi / 3 \cdot 3 / 2 \pi l^3 = 2 (l-l_1)^3 \cos\varphi / l^3.$$

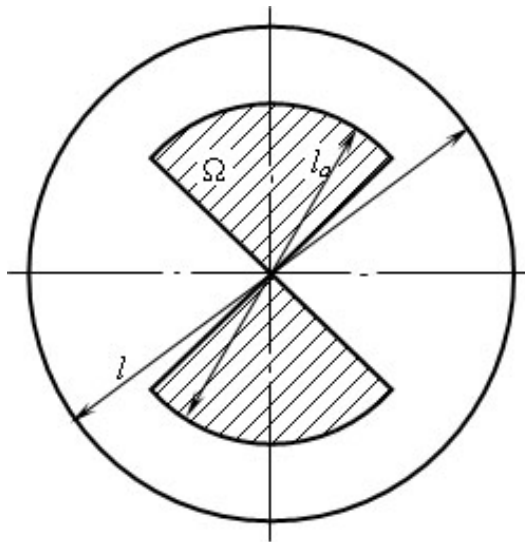
Заменив  $l - l_1 = l_a$ , получим:

$$P_x = 2 (l_a/l)^3 \cos\varphi.$$

Такова вероятность эффективной заделки прямолинейной фибры. При увеличении  $l_1$  и угла встречи вероятность эффективной заделки снижается.

Таким образом, можно записать, что вероятность эффективного насыщения (заделки) фибробетона равна:

$$P = 2nx/a(l/(x-l) + (a-x)/a) (l_a/l)^3 \cos\varphi.$$



**Рис. 2.** - Область эффективной заделки стержня

Если рассматривать объемную фибру, то значения  $l_l$  и  $\Omega$  в этом случае будут значительно больше, а, следовательно, и вероятность эффективной заделки – выше.

Таким образом, используя приведенные выше зависимости, можно определить значения показателей как эффективного, так и отрицательного воздействия армирования и более полно оценить прочностные характеристики конструкции.

В общем виде показатели объемного насыщения определяются по формуле:

$$v_i = F_{i\phi} P_i / F_m,$$

где  $F_{i\phi}$  – величина площади сечения фибры в рассматриваемой плоскости;  $F_m$  – общая величина рассматриваемой площади конструкции;  $P_i$  – вероятность размещения фибры различной степени влияния.

Экспериментальными исследованиями установлено, что область эффективной заделки фибры ограничивается углом  $\varphi_s = 90^\circ$ ; сниженной прочностью  $\varphi_c = 60^\circ$  и отрицательной  $\varphi_o = 30^\circ$ .

Площади фибр зависят от их ориентации относительно сечения и равны:  $F_{s\phi} = \pi r_\phi^2$ ;  $F_{c\phi} = \pi r_\phi^2 \cos\varphi$ ;  $F_{o\phi} = \pi d l_\phi / 2$ .

Влияние дефектов укладки фибр исследовалось многими авторами. В работе [4] отмечается, что в ряде случаев увеличение объемной доли фибр приводит к снижению прочности композитных материалов. Результаты моделирования материалов с неравномерной укладкой фибр показывают, что при наличии неравномерности укладки, уже начиная с некоторой величины объемной доли фибр  $V_\phi$  в материале могут происходить лавинообразные процессы разрушения. Оценку влияния этого явления можно произвести с помощью коэффициента дефектности укладки

$$K_v = V_{o\phi} / V_\phi,$$

где  $V_\phi$  – общая объемная доля фибр в материале;  $V_{o\phi}$  – объемная доля фибр с неэффективной заделкой.

Анализ экспериментальных данных показывает, что при увеличении общего объема насыщения материала, объем эффективного насыщения растет в меньшей степени, чем объем дефектной укладки, и это приводит к увеличению коэффициента дефектности, а следовательно, к снижению прочностных характеристик материала.

Одним из перспективных направлений оценки прочностных свойств композитных материалов (фибробетон (раствор) относится к композитным материалам) является применение решения линейной механики разрушения, когда выполняется условие:

$$d\sigma_c / d\varepsilon = V_\phi d\sigma_\phi / d\varepsilon + V_m d\sigma_m / d\varepsilon = 0.$$

Условие разрушения композита, исходя из энергетических концепций Гриффитса-Оравана-Ирвина, представляется в виде:

$$\sigma_p = (E_c G_c / \pi d_\phi)^{1/2},$$

где  $E_c$  – жесткость композита;  $G_c$  – работа деформации композита;  $d_\phi$  – диаметр фибры.

Для оценки величины  $G_c$  можно использовать обнаруженный Купером и Келли эффект локализации пластического течения в зонах, прилегающих к поверхности трещины разрыва:

$$G_c = V_m^2 / V_\phi \sigma_m \varepsilon_m d_\phi,$$

где  $\sigma_m$  и  $\varepsilon_m$  предельные значения напряжения и деформации материала матрицы.

Решая эти уравнения и считая, что  $E_c = E_\phi V_\phi + E_m V_m$  находим значение предельной нагрузки на композит, при которой отдельные трещины не будут вызывать катастрофического разрушения материала:

$$\sigma_r = V_m \sqrt{\frac{(E_\phi V_\phi + E_m V_m) \sigma_m \varepsilon_m}{\pi V_\phi}}.$$

Для условий, когда большая часть длины заделки фибр близка к эффективной  $l_3 = l$ , можно воспользоваться простыми формулами Келли для расчета прочности на растяжение с учетом дефектности укладки фибр

$$\sigma_c = \sigma_m (1 - V_\phi) K_v + V_{\phi} \delta l_\phi / d_\phi + V_{c\phi} \tau_m l_\phi / d_\phi.$$

Решая уравнения относительно величины предельной допустимой деформации  $\varepsilon_m$  композита и задавая число и конструктивные параметры фибр, получим возможность оценки требуемой высоты закладки из фибробетона.

#### Библиографический список

1. **Копьев И. М., Овчинский А. С.** Разрушение материалов, армированных волокнами. – М.: Наука, 1977. – 239 с.
2. **Косарев В.М.** Экспериментально-теоретические исследования прочности и деформативности изгибаемых и центрально-сжатых элементов сталефибробетонных конструкций при кратковременных воздействиях нагрузок: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. –Л.: 1982. – 20 с.
3. **Солодовников А.С.** Теория вероятностей: Учеб.пособие. –2-е изд., испр. и доп./А. С. Солодовников. – М.: Вербум-М, 1999. – 208 с.
4. **Баженов Ю.М.** Технология бетона: Учебник для вузов / М.: АСВ, 2003. – 500 с.

УДК 622.28.5

#### АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИХ ШАХТ ДОНБАССА

*Проф., д.т.н. Петренко Ю.А., инж. Резник А.В., маг. Петришин Р.И., ДонНТУ, г. Донецк*

За последние годы правительством Украины разработаны и утверждены две программы, цель которых – повысить эффективность работы угольной промышленности. Это «Програма реформування і фінансового оздоровлення підприємств вугільної промисловості на 2000-й рік» и «Українське вугілля». Выполнение этих программ, направленных на внедрение в угольной промышленности передовых технологий обеспечило бы поступательное развитие экономики всей страны. В настоящее время техническое состояние шахтного фонда угольной промышленности Украины продолжает ухудшаться. Так, около 80% угольных шахт работают без реконструкции более 20 лет, причем третья часть из них введена в эксплуатацию в довоенный период [2]. Учитывая то обстоятельство, что последние 14 лет ежегодно терялось 7,6 млн. тонн производственных мощностей [3], для выполнения поставленных перед отраслью задач необходимо резко увеличить объемы проведения горных выработок, среди