© А.А. Шубин, 2006

УДК 622.257.1: 622.273

А.А. Шубин

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТАМПОНАЖНО-ЗАКЛАДОЧНЫХ ГИДРОСМЕСЕЙ С ПОЛИМЕРНЫМИ ВОЛОКНАМИ

Круглый стол

Закрытие особо убыточных и нерентабельных шахт и разрезов коренным образом меняет характер нагрузки на окружающую среду в угледобывающих регионах. С одной стороны, прекращаются отчуждения земли под породные отвалы, подработка поверхности, выбросы угольной пыли и метана в атмосферу с отработанным шахтным воздухом, снижается загрязнение атмосферы от породных отвалов и котельных, водных ресурсов от водоотливных систем, уменьшается антропогенная нагрузка. Но, с другой стороны, на ликвидируемых шахтах продолжаются горномеханические процессы, связанные с подработкой горного массива, причем их характер изменяется в связи с полным или частичным затоплением шахт, продолжается оседание поверхности, образование карстовых полостей, на ряде шахт отмечались тектонические явления в виде подземных толчков. Возможны провалы земной поверхности над непогашенными горными выработками, особенно при небольшой глубине горных работ на закрываемых шахтах.

Одним из методов противодействия таким последствиям является заполнение старых горных выработок или крупных подземных пустот тампонажными растворами.

Успех проведения противопустотных мероприятий во многом определяется изучением горногеологических условий, но в большей степени, научно-обоснованным выбором технологических параметров процесса закладки и тампонажа пустот. При ликвидации карстов различных видов весьма важно достичь высокой степени заполнения пустот закладочным материалом, прекращения фильтрационных перетоков рассолов, упрочнения горного массива.

Методика проектирования технологической схемы закладки подземных пустот включает в себя следующие этапы:

- изучение инженерной характеристики системы разработки месторождения;
- сбор, обобщение и анализ геологической информации о свойствах горных пород, их обводненности, развитии пустот и их проявления;
- бурение специальных контрольно-технических скважин в зонах разуплотнения и пустот;
- инженерно-геологические и геофизические исследования свойств горных пород;
- инженерный расчет параметров распространения закладочного и тампонажного раствора, давления нагнетания и общего объема закладочного и тампонажного материала.

Требования к гидросмесям, используемым для закладочных работ, сводятся к следующему:

Отформатировано: Шрифт: AGPresquire, 10,5 пт, не полужирный, не все прописные

– отсутствие токсичных и горючих компонентов, минимальное содержание растворимых в воде солей;

– простота приготовления и удовлетворительная транспортабельность гидросмеси;

– гидросмесь должна иметь высокую концентрацию твердого вещества и низкую степень усадки;

– гидросмесь должна иметь минимальные сроки схватывания 1–2 дня, гидравлические потери в трубах должны быть низкие;

– закладочный массив, сформированный из гидросмеси, должен иметь достаточную несущую способность, исключающую опасные динамические проявления в выработках и опасные деформации на подработанных территориях;

– закладочный массив должен иметь длительную механическую и антикоррозионную устойчивость, он не должен размываться рассолами.

Обычные смеси, применяемые для закладки подземных пустот, обладают большой деформативной способностью, а также незначительной прочностью, что в конечном итоге предопределяет сдвижения массивов горных пород после ликвидации указанных полостей.

Поэтому в качестве основных закладочных составов для консервации предприятия рекомендуются смеси с наличием армирующего элемента, таковым является, например, дисперсная фибра из стали или полипропилена.

Полипропиленовые волокна (ППВ) – это олефиновые волокна, изготовленные из полимеров или сополимеров пропилена. Расплавленный поли-пропилен подвергается штамповке с вытяжкой, образуя ровные листы или волокна. Затем из него можно получить два типа ППВ. Ровные листы расщепляются на мелкие волокнистые элементы, из которых состоит основная структура, и разрезаются на части различной длины. Эти фибриллированные волокна в поперечном сечении имеют форму, близкую к прямоугольной. Волокна с круглым поперечным сечением также разрезаются на части различной длины для получения моно- и мультифиламентных волокон.

Полипропиленовые волокна – чистое, безопасное, простое в использовании, химически нейтральное и совместимое со всеми вяжущими веществами и добавками волокно.

Количество, тип и длина используемых волокон зависит от требований проекта. Обычная дозировка составляет 0,1% по объему или 0,6 – 0,9 кг/м^3 раствора. Для удобства в применении ППВ поставляется в растворимых мешках по 0,6 – 0,9 кг. На каждый кубометр раствора добавляется один мешок – или в смесительную установку на бетонном заводе или прямо в автобетономешалку. Достаточно всего 5 минут смешивания в автобетономешалке для равномерного рассеивания без образования комков и скоплений.

Более высокая дозировка, особенно фибриллированных волокон, используется в сборном бетоне, торкрет-бетоне и других видах бетона, где важна прочность и устойчивость к раскалыванию.

При дозировке 0,1–1,0 % ППВ не обеспечивает первичного армирования. Теория показывает, что количество волокна, которое выдерживает нагрузку после растрескивания – критический объем волокна – для ППВ составляет примерно 2,0 % по объему. Такое количество трудно ввести в смесь и оно неприемлемо с коммерческой точки зрения. Однако, дозировка 0,1–1,0 % ППВ по объему действительно дает определенные преимущества раствору как в пластичном, так и в затвердшем состоя-

нии. Волокна оказывают эффект немедленно, повышая сцепление смеси, препятствуя оседанию крупных, тяжелых частиц при уплотнении и облегчая подачу смеси насосом.

ППВ повышает способность раствора к деформации без разрушения в критический период схватывания, что мешает образованию микротрещин внутри застывшего тела, а также сдерживает расширение видимых поверхностных трещин, возникших при пластической усадке. ППВ препятствует перемещению и последующему испарению воды, повышая гидратацию цемента на поверхности, но не заменяет надлежащих процедур выдерживания раствора.

Для анализа влияния армирования полипропиленовыми фибрами на прочность композита нами были проведены следующие исследования. В качестве базовых образцов, моделирующих свойства тонкостенных растворополимерных конструкций приняты пластины размерами *d*X9X40 см, где толщина плит *d*=1 см или равна толщине стенок или полок конструкции. В наших исследованиях такие образцы испытывали с помощью специальных приспособлений на осевое растяжение, на изгиб в положениях «плашмя» и «на ребро». На сжатие испытывали полые призмы, склеенные из указанных пластин. На образцах определялась также усадка.

Образцы изготовляли из мелкозернистого бетона группы А классов В25–В40 с содержанием полипропиленовой фибры η = 0; 1,2; 2 и 2,8 % объема композита. Для фиброармирования использовали щелочестойкое волокно, выпускаемое в виде отрезков длиной 40–60 мм. Прочность моноволокон диаметром 10–15 мкм составляла 1760–2200, а комплексных нитей – 712–732 МПа. Цементно-песчаная матрица имела состав Ц:П=1:1 на цементе марок 400 и 500 при расходах до 800 кг/м^3, В:Ц=0,45 и песке с модулем крупности до $M_к$=2,5.

Испытания показали, что нагрузка образцов при растяжении и изгибе полипропиленового фиброраствора в момент образования трещин возрастала до 10 % с увеличением η в пределах 1,2 %...2,8 %. При этом предельные относительные деформации растяжения раствора к моменту обнаружения первых трещин шириной раскрытия 3...5 мкм составили до $20\cdot10^{-5}$–$30\cdot10^{-5}$, что в 2–2,5 раза больше, чем предельная растяжимость раствора-матрицы.

Первые силовые трещины при изгибе образовывались, как правило, у поверхностных пор, а при увеличении нагрузки на поверхности образца появлялось большое число штриховых трещин, объединяющихся в предельной стадии в сплошные трещины с шагом от 3 до 8 мм при η = 2,8 % и от 20 до 30 мм при η = 1,2 %. Для определения трещиностойкости опытных образцов использовали метод разнообразных тензодатчиков, микроскоп и трубку Бринеля.

Наибольшая прочность при сжатии полипропиленового фиброраствора (при абсолютных значениях 29...32 МПа) получена при η = 2 %; она превышала прочность раствора-матрицы всего на 10 %. При увеличении η до 2,8 % уплотнение полимер-фибровой смеси несколько затруднялось, прочность оставалась близкой к прочности бетона-матрицы. Для практических расчетов прочность полимер-раство-ра при сжатии и раствора-матрицы можно принимать равными. Коэффициент Пуассона полимерфиброраствора находится в пределах от 0,20 до 0,23.

Прочность раствора с дисперсными волокнами из полипропилена при растяжении $R_р$ при опытных значениях 3,7–6,04 МПа увеличивалась с повышением

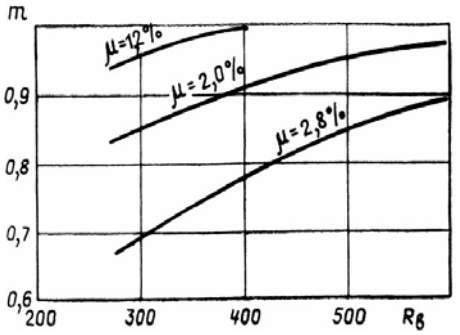
Значения коэффициента влияния прочности матрицы на прочность композита

прочности матрицы и при увеличении содержания в ней фибры. При η = 2,8 % она в 2–2,3 раза больше прочности раствора-матрицы. При переходе от класса В20 к В40 R_p увеличилась на 20 %.

Могут иметь место два случая разрушения изгибаемых или растянутых элементов из полимерфиброраствора: исчерпание несущей способности при нагрузке трещинообразования, когда количество фибры мало (усилие разрыва матрицы больше усилия, воспринимаемого только фиброй), и разрушение при нагрузке, превосходящей, нагрузку трещинообразования. Во втором случае, который следует считать основным для конструкции и изделий, прочность раствора с наполнителем из волокнистого полимера при растяжении предлагается определять по формуле

$$R_p = \eta m \varphi R_f \nu_0 \nu_l,$$

где η – коэффициент армирования, определяемый отношением объема фибры к объему композита; R_f – прочность при разрыве моноволокна; m – коэффициент, учитывающий влияние прочности матрицы на прочность композита, принимаемый по данным рисунка; ν_0 – коэффициент, учитывающий ориентацию волокон, принимаемый в пределах 0,3–0,375, увеличивающийся при уменьшении толщины конструкции;ν_l – коэффициент, учитывающий влияние длины волокон (при длине волокна 40 мм), по экспериментальным данным изменяется в пределах 0,87–0,92; φ – коэффициент, отражающий влияние агрегатного состояния армирующего волокна. По опытным данным автора, для комплексной нити из 200 моноволокон можно принимать φ = 0,35–0,42.



Высота сжатой зоны при изгибе пластин перед разрушением с увеличением η уменьшалась с 0,45 до 0,38 d, а напряжения в крайнем волокне изменялись от 12,4 до 23 МПа. Эпюра напряжений в сжатой зоне сечения треугольная, а в растянутой – криволинейная, занимающая среднее положение между трапециидальной и прямоугольной.

Для практических расчетов прочности нормальных сечений изгибаемых полимерфиброрастворных элементов с достаточной степенью точности удобнее принимать прямоугольные эпюры напряжений в сжатой и растянутой зонах, вводя коэффициент полноты эпюры напряжений в растянутой зоне.

Кроме того многочисленные исследования, показали, что ППВ в количестве 0,1 % по объему обеспечивает устойчивость к выступанию воды, оседанию, растрескиванию при пластической усадке, истиранию, циклам замораживание/оттаивание, сопротивление удару, а также огнестойкость, остаточную прочность, антимикробную защиту и понижен-ную проницаемость.

Вышеописанные преимущества означают, что ППВ можно использовать во всех областях применения раствора и бетона. Преимущества раствора с ППВ заключаются в лучшем сцеплении смеси, что ускоряет укладку. При высокой дозировке более длинных фибриллиро-

ваных волокон его прочность может сравниться с бетоном, содержащим 25-30 кг стальной арматуры. Текущие испытания показывают обнадеживающие результаты – при использовании ППВ в количестве 1% по объему повышается прочность бетона на срез, что может дать альтернативный метод проектирования соединений элементов конструкций из растворов и бетона.

Коротко об авторах

Шубин Андрей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета (НПИ).

© С.В. Черданцев, 2006

УДК 622.241.54:539.3

С.В. Черданцев

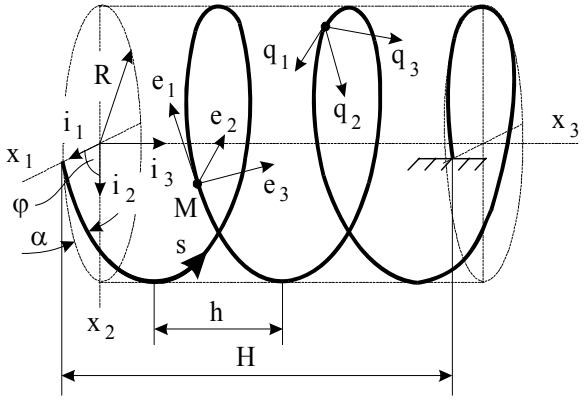
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН НАРУШЕНИЯ СПЛОШНОСТИ ВОКРУГ ВЫРАБОТОК С ВИНТОВОЙ КРЕПЬЮ

Круглый стол

При проектировании и строительстве горных выработок важнейшей является проблема их устойчивости. Выработка считается устойчивой, если за ее контуром не образуется зона нарушения сплошности (ЗНС) окружающего массива, представляющая собой некоторую область вокруг выработки в которой произошло разрушение пород. При этом за критерий разрушения, как правило, принимается условие предельного состояния [1]

$$\tau_n = K + \sigma_n \mathrm{tg}\varphi, \qquad (1)$$

где τ_n ,σ_n - касательное и нормальное напряжения на площадке с нормалью n на которой происходит разрушение пород; K – коэффициент сцепления, φ – угол внутреннего трения пород.



Ðèñ. 1. Ãåîìåòðè÷åñêèå ïàðàìåòðû âèíòîâîé êðåïè

Касательное и нормальное напряжения определяются в результате исследования напряженно-деформиро-ванного состояния массива, описываемого с помощью интегрального уравнения [2] относительно неизвестного вектора $\vec{a}$

$$\frac{1}{2}\vec{a}(Q_0) - \iint_S \Phi(Q_0, M_0)\cdot\vec{a}(M_0)dS = T^{\infty}\vec{h}(Q_0) - \vec{F}(Q_0), \quad (2)$$

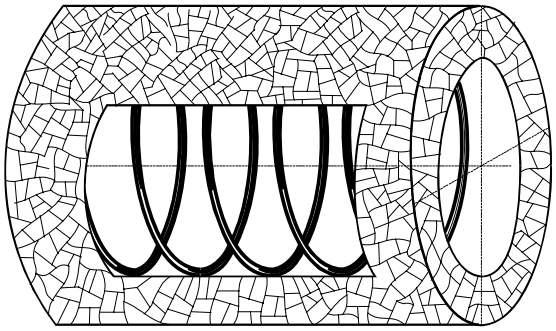
где $\vec{F}(Q_0)$ – реактивный отпор крепи на окружающий массив; T^{∞} – тензор напряжений на бесконечности; $\vec{h}(Q_0)$ – единичный вектор внешней к поверхности выработки нормали в точке Q_0; S – площадь поверхности выработки; $\Phi_{qm}(Q_0,M_0)$ – силовой тензор, получающийся в результате умножения вектора нормали к поверхности выработки на тензор Кельвина, определяемый следующей зависимостью

$$\sigma_{qmt} = \frac{1-2\nu}{8\pi(1-\nu)}\times \left[\delta_{mt}x_q + \delta_{qt}x_m - \delta_{qm}x_t + \frac{3x_q x_m x_t}{(1-2\nu)r^2}\right], \quad (3)$$

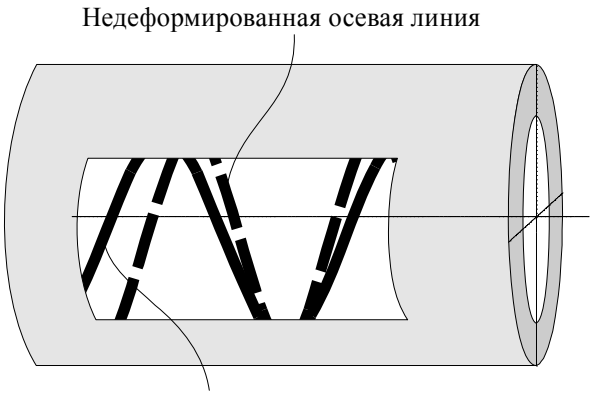
в которой ν – коэффициент Пуассона горных пород массива, δ_{mt}, δ_{qt}, δ_{qm} – символы Кронекера; x_q, x_m, x_t – координаты точки M_0 относительно точки Q_0; индексы q, m, t = 1, 2, 3 означают номера координатных осей; r – расстояние между точками Q_0 и M_0;

Если выработка сооружается в слабых породах или в породах средней прочности, но на большой глубине, то размеры зон нарушения сплошности могут быть достаточно большими и выработка теряет устойчивость, вследствие чего происходит обрушение пород. По данным многочисленных исследований выработки, сооружаемые на глубине более 400 м на угольных шахтах Кузбасса, как правило, неустойчивы, а основным мероприятием по обеспечению их устойчивости является крепление. К наиболее распространенным типам крепей относятся деревянные, металлические, монолитные бетонные и железобетонные, тюбинговые и блочные. Как правило, на процесс формирования ЗНС они не влияют, поскольку не создают реактивного отпора. В этом смысле они являются «пассивными» конструкциями.

Дополнительно к существующим техническим решениям крепления горных выработок в России в конце прошлого века появилась идея использования винтовых крепей (спиральных, пружинных и т.д.) [3–7]. В отличие от традиционных типов крепей винтовая крепь, представляющая собой цилиндрическую пружину (рис. 1), обладает естественной податливостью, которая является ее



Ðèñ. 2. Âîçäåéñòâèå ìàññèâà íà âèíòîâóþ êðåïü â ðåæèìå çàäàííé íàãðóçêè



Ðèñ. 3. Âîçäåéñòâèå ìàññèâà íà ïðåäâàðèòåëüíî íàæàòóþ âèíòîâóþ êðåïü

внутренним качеством без каких-либо конструктивных мероприятий.

Ïîýòîìó âèíòîâóþ êðåïü ìîæíî óñòàíàâëèâàòü â âûðàáîòêó êàê â åñòåñòâåííîì ñîñòîÿíèè, òàê è ïðåäâàðèòåëüíî íàæàòîé ïî áîêîâîé ïî-âåðõíîñòè. Â ïåðâîì ñëó÷àå âîç-äåéñòâèå ìàññèâà íà âèíòîâóþ êðåïü îáóñ-ëîâëåíî âåñîì ïîðîä â ÇÍÑ (ðèñ. 2). Òàêîé ðåæèì âîçäåéñòâèÿ ìàññèâà õàðàêòåðåí äëÿ áîëüøèíñ-òâà òðàäèöèîííûõ òèïîâ êðåïåé è íàçûâàåòñÿ ðåæèìîì çàäàííîé íàãðóçêè [1].

Âî âòîðîì ñëó÷àå âîçäåéñòâèå ìàññèâà ïðîÿâëÿåòñÿ â òîì, ÷òîáû óäåðæàòü ïðåäâàðèòåëüíî íàæàòóþ êðåïü â ðàâíî-âåñíèè (ðèñ. 3).

Îòìåòèì, ÷òî âîçäåéñ-òâèå ìàññèâà íà ïðåäâàðè-òåëüíî íàæàòóþ êðåïü ïðåäñ-òàâëÿåòñÿ êà÷åñòâåííî èíûì ïî ñðàâíåíèþ ñ âîçäåéñ-òâèåì ìàññèâà íà êðåïü â ðåæèìå çàäàííîé íàãðóçêè. Âî-ïåðâûõ, ïðåäâàðèòåëü-íî íàæàòàÿ âèíòîâàÿ êðåïü îñòàåòñÿ âèíòîâîé, à â ðå-çóëüòàòå äéñòâèÿ çàäàííîé íàãðóçêè åå îñåâàÿ ëèíèÿ ìîæåò áûòü îòëè÷íîé îò âèíòîâîé. Âî-âòîðûõ, â ðå-æèìå çàäàííîé íàãðóçêè êðåïü íå ñîçäàåò îòòîðà íà îêðóæàþùèé ìàññèâ ($\overset{p}{F}_{(Q_0)=0}$), à ïðåäâàðèòåëüíî íàæàòàÿ âèíòîâàÿ êðåïü, ñòðåìÿñü âîññòàíîâèòü ñâîè ïåðâîíà÷àëüíûå ðàçìåðû, ñîçäàåò íà îêðóæàþùèé ìàññèâ ðåàêòèâíûé îòïîð, âåëè÷èíà êîòîðîãî çàâèñèò îò âåëè÷èíû íàæàòèÿ êðåïè, äèàìåòðà åå ïîïåðå÷íîãî ñå÷åíèÿ è óãëà ïîäúåìà âèòêîâ êðåïè.

Äëÿ óñòàíîâëåíèÿ çàêîíîìåðíîñ-òåé âîçäåéñòâèÿ ìàññèâà íà ïðåäâà-ðèòåëüíî íàæàòóþ âèíòîâóþ êðåïü ñôîðìóëèðóåì ñëåäóþùóþ çàäà÷ó. Ïóñòü âèíòîâàÿ êðåïü ðàäèóñà *R* ðàâ-íîìåðíî íàæàòà íà âåëè÷èíó u_2 = *const* è çàòåì óñòàíîâëåíà â âûðà-íîèêó ñðàçó ïîñëå åå ïðîâåäåíèÿ. Òðåáóåòñÿ óñòàíîâèòü çàêîíîìåðíîñòè ðàñïðåäåëåíèÿ êîìïîíåíòîâ íàïðÿ-æåíîí- äåôîìèðîâàííîãî ñîñòîÿíèÿ â êðåïè ïðè óñëîâèè, ÷òî ìàòåðèàë êðåïè ñëåäóåò çàêîíó Ãóêà è ïîýòîìó ñïðàâåäëèâû ôîðìóëû

$M_1 = A_{11}(\kappa_1 - \kappa_{10}), M_2 = A_{22}(\kappa_2 - \kappa_{20}),$
$M_3 = A_{33}(\kappa_3 - \kappa_{30}),$

â êîòîðûõ M_1, M_2 è M_3 – ñîîò-âåòñòâåííî êðóòÿùèé è èçãèáàþùèå ìîìåíòû â ïðîèçâîëüíîì ïîïåðå÷íîì ñå÷åíèè ñòåðæíÿ, A_{11}, A_{22}, A_{33} – åãî êðóòèëüíàÿ è èçãèáíûå æåñòêîñòè. Êîìïîíåíòû êðó÷åíèÿ κ_1 è êðèâèçíû κ_3 äåôîðìèðîâàííîé ïðóæèíû ìîæíî îïðåäåëèòü ïî ôîðìóëàì [8]

$$\kappa_1 = \frac{\sin\alpha_1 \cos\alpha_1}{R_1}, \kappa_3 = \frac{\cos^2 \alpha_1}{R_1},$$

ãäå α_1 è $R_1 = R - u_2$ – ñîîòâåòñòâåííî óãîë ïîâóåìà âèòêîâ êðåïè è åå ðàäèóñ ïîñëå îáæàòèÿ. Â ðàáîòàõ [4, 5] ïîêàçàíî, ÷òî óãîë α_1 ïðåäñòàâëÿåò ñîáîé àëãåáðàè÷åñêóþ ñóììó óãëà α è óãëà ïîâîðîòà ϑ_2 îòíîñèòåëüíî ãëàâ-íîé íîðìàëè. Ïðè ýòîì ϑ_2 îïðåäå-ëÿåòñÿ èç ñëåäóþùåãî óðàâíåíèÿ [4, 5]

$$\mathrm{tg}^2\vartheta_2 - a\,\mathrm{tg}\,\vartheta_2 + b = 0, \qquad (4)$$

â êîòîðîì

$$a = \frac{2\,\mathrm{tg}\alpha}{(1-\bar{u}_2)^2 - \mathrm{tg}^2\alpha}, b = \frac{(1-\bar{u}_2)^2 - 1}{(1-\bar{u}_2)^2 - \mathrm{tg}^2\alpha},$$

α – óãîë ïîâóåìà âèòêîâ êðåïè â åñòåñòâåííîì ñîñòîÿíèè. Óðàâíåíèå (4) èìåòó äâà êîðíÿ. Îäèí êîðåíü (îò-ðèöàòåëüíûé) ñîîòâåòñòâóåò ïðàâîé íàâèâêå êðåïè, äóóãîé êîðåíü îòåå-÷àåò ëåâîé íàâèâêå. Â äàëüíåéøåì ðàññìàòðèâàåòñÿ ïðóæèíà ñ ïðàâîé íàâèâêîé.

Çíàÿ âåëè÷èíó îæàòèÿ u_2 è óãîë ϑ_2 îïðåäåëèòü áåçðàçìåðíûå âíóòðåííèå ìîìåíòû è óñèëèÿ, âîç-íèêàþùèå â êðåïè ïðè åå îæàòèè [4, 5]

$$\overline{M}_1 = \frac{M_1 R}{A_{11}} = \bar{\kappa}_{10}\cos\vartheta_2 - \bar{\kappa}_{30}\sin\vartheta_2 - \bar{\kappa}_{10},$$

$$\overline{M}_2 = 0, \overline{M}_3 = \frac{M_1 R}{A_{11}} = \bar{\kappa}_{10}\sin\vartheta_2 +$$

$$+\bar{\kappa}_{30}\cos\vartheta_2 - \bar{\kappa}_{30},$$

$$\overline{Q}_1 = \frac{Q_1 R^2}{A_{11}} = \frac{\beta}{k}\left(1 - e^{-k(s-0,5l)}\right),$$

$$Q_2 = 0, \overline{Q}_3 = \frac{Q_3 R^2}{A_{11}} = \qquad .$$

$$= \bar{\kappa}_{30}\overline{M}_1 - m\bar{\kappa}_{10}\overline{M}_3 + \overline{M}_1\overline{M}_3(1-m). \qquad (5)$$

Â ôîðìóëàõ (5) ïðèíÿòû ñëåäóþ-ùèå îáîçíà÷åíèÿ: $\bar{\kappa}_{10} = \sin\alpha\cos\alpha$, $\bar{\kappa}_{30} = \cos^2\alpha$ – áåçðàçìåðíûå êðó÷åíèå è êðèâèçíà ïñåâî ëèíèè êðåïè â åñòåñòâåííîì ñîñòîÿíèè; $m = =A_{33}/A_{11}$; $\bar{s} = \frac{s\bar{\lambda}}{R}$ – áåçðàçìåðíàÿ êîîðäèíàòà, îòñ÷èòûâàåìàÿ îò ñðå-äèííîé òî÷êè êðåïè âäîëü åå îñè, à êîýôôèöèåíòû k è β îïðåäåëÿþòñÿ êàê [4, 5]

$$k = \frac{f}{\bar{\lambda}}(\bar{\kappa}_{30} + \overline{M}_3), \beta = \frac{f}{\bar{\lambda}}(\bar{\kappa}_{10} + \overline{M}_1)\overline{Q}_3,$$

ãäå f – êîýôôèöèåíò òðåíèÿ êðåïè î ìàññèâ (â äàëüíåéøåì $f = 0{,}55$), à $\bar{\lambda} = \cos\alpha$.

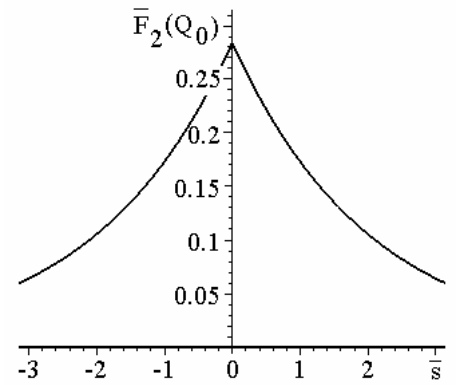
Äàëåå ìîæíî îïðåäåëèòü êîìïî-íåíòû âíåøíåé ðàñïðåäåëåííîé íàã-ðóçêè, äåéñòâóþùèå íà âèíòîâóþ êðåïü ñî ñòîðîíû ìàññèâà [4, 5]

$$\bar{q}_1 = \frac{q_1 R^3}{A_{11}} = \bar{\lambda}\beta\, e^{-k(\bar{s}-0.5\bar{l})},$$

$$\bar{q}_2 = \frac{q_2 R^3}{A_{11}} = (\bar{\kappa}_{10} + \overline{M}_1)\overline{Q}_3 - . \qquad (6)$$

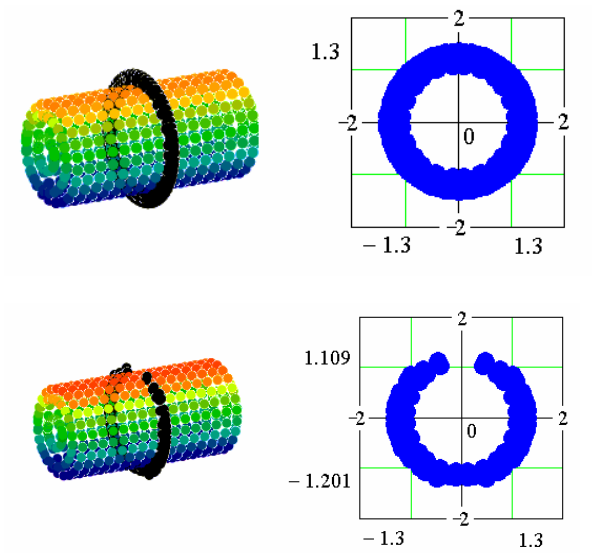
$$-(\bar{\kappa}_{30} + \overline{M}_3)\overline{Q}_1, \bar{q}_3 = 0.$$

Ðåàêòèâíûé ïîâåðõíîñòíûé îòïîð, ñîçäàâàåìûé ïðåäâàðèòåëüíî îæàòîé âèíòîâîé êðåïüþ íà îêðóæàþùèé ìàññèâ èìåòó äåâ ñîñòàâëÿþùèõ, îï-ðåäåëÿåìûõ ïî ôîðìóëàì [5]



$$\bar{F}_2(Q_0) = \frac{\bar{q}_2 0{,}1 \bar{d}^4 G}{2\pi \operatorname{tg}\alpha\, \gamma H}, \; \bar{F}_1(Q_0) = f\, \bar{F}_2(Q_0), \qquad (7)$$

ãäå $\bar{d} = \dfrac{d}{R}$ - áåçðàçìåðíûé äèàìåòð ïîïåðå÷íîãî ñå÷åíèÿ êðåïè, G – ìî-äóëü ñäâèãà ìàòåðèàëà êðåïè. Ãðàôèê ñîñòàâëÿþùåé îòïîðà $\bar{F}_2(Q_0)$ êàê ôóíêöèè êîîðäèíàòû îñåâîé ëèíèè êðåïè ïîêàçàí íà ðèñ. 4.



Ðèñ. 4. Çàâèñèìîñòü ñîñòàâëÿþùåé îòïîðà $\bar{F}_2(Q_0)$ îò êîîðäèíàòû $\bar{s}$

Íà ðèñ. 5 ïîêàçàíû ÇÍÑ (â âèäå çàòåìíåííûõ íáèàñòåé) âîêðóã íåçà-êðåïëåíîé, à íà ðèñ. 6 – âîêðóã âû-ðàáîòêè, çàêðåïëåíîé ïðåäâàðèòåëüíî îáæàòîé íà $u_2 = 0{,}1$ âèíòîâîé êðåïüþ, äèàìåòð ïîïåðå÷íîãî ñå÷åíèÿ êîòî-ðîé $\bar{d} = 0{,}1$, à óãîë ïîâóàìà âèòêîâ α = 50. Â îáîèõ ñëó÷àÿõ âûðàáîòêè ïðîéäåíû íà ãëóáèíå H = 400 ì â èçîòðîïíîì ìàññèâå, êîýôôèöèåíò ñöåïëåíèÿ ïîðîä êîòîðîãî ðàâåí K = 0,25γH, à óãîë âíóòðåííåãî òðåíèÿ φ = 200. Öèôðû íà ðèñóíêå îçíà÷àþò âåðòè-êàëüíûå è ãîðèçîíòàëüíûå ðàçìåðû çîíû.

Èç ðèñ. 5 âèäíî, ÷òî ÇÍÑ âîêðóã íåçàêðåïëåíîé âûðàáîòêè ïðåäñòàâ-ëÿåò ñîâîé ñèììåòðè÷íóþ ôèãóðó, îãðàíè÷åííóþ âíåøíèì êðóãîâûì êîíóðîì è êîíóðîì âûðàáîòêè.

Ðèñ. 6 ïîêàçûâàåò, ÷òî ïðåäâàðèòåëüíî îáæàòàÿ âèíòîâàÿ êðåïü íå òîëüêî óìåíüøàåò ðàçìåð çîíû íà-ðóøåíèÿ ñïëîøíîñòè, íî èçìåíÿåò òàêæå åå ôîðìó, èìåþùåé âèä ïîäêîâû, ñèììåòðè÷íîé îòíîñèòåëü-íî âåðòèêàëè, ðàçìîêóòûå êîíöû êîòîðîé ðàñïîëîæåíû â ñâîäå âûðàáîòêè, ãäå è âîçíèêàåò íàèáîëü-øèé îòïîð êðåïè.

Èçìåíÿÿ ïàðàìåòðû âèíòîâîé êðåïè îæíî èçìåíÿòü âåëè÷èíó åå ðåàêòèâíîãî îòïîðà, à ñëåäîâàòåëüíî, è ðàçìåðû ÇÍÑ. Òàêèì îáðàçîì, ïðåäâàðèòåëüíî îáæàòàÿ âèíòîâàÿ êðåïü

Ðèñ. 5. Çîíà íàðóøåíèÿ ñïëîøíîñòè âîêðóã íåçàêðåïëåíîé âûðàáîòêè

Ðèñ. 6. Çîíà íàðóøåíèÿ ñïëîøíîñòè âîêðóã çàêðåïëåíîé âûðàáîòêè

ÿâëÿåòñÿ ñðåäñòâîì óïðàâëåíèÿ ïðîöåññîì ôîðìèðîâàíèÿ ÇÍÑ ìàñ-ñêâà âîêðóã âûðàáîòêè, ÷òî ïîçâîëÿ-åò, íà íàø âçãëÿä, îáåñïå÷èòü óñòîé-÷èâîñòü âûðàáîòîê, ñîîðóæàåìûõ áó-ðåíèåì è èñïîëüçóåìûõ äëÿ ïðîâåò-ðèâàíèÿ (íàïðèìåð, ñêëàäà ÂÂ è êàìåðû çàðÿäêè àêêóìóëÿòîðîâ), à òàêæå ïðåäîïàçíà÷åíîûõ äëÿ öåëåé áåçîïàñíîñòè (ãåçåíêè, çàïàñíûå âû-õîäû, ëàçû è ò.ä.)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Áàêëàøîâ È.Â., Êàðòîçèÿ Á.À.* Ìåõàíèêà ïîäçåìíûõ ñîîðóæåíèé è êîíñòðóêöèè êðåïåé. – Ì.: Íåäðà. – 1992. – 544 ñ.

2. *Ëóðüå À.È.* Òåîðèÿ óïðóãîñòè. – Ì.: Íàóêà. – 1970. – 940 ñ.

3. *×åðäàíöåâ Ñ.Â.* Öèêëèãðè÷åñêàÿ ïðóæèíà êàê âîçìîæíûé âàðèàíò êðåïè ãîðíûõ âûðàáîòîê. /Ñîâåðøåíñòâîâàíèå òåõíîëîãèè ñòðîèòåëüñòâà ãîðíûõ ïðåäïðèÿò-òèé. Êåìåðîâî: ÊóçÃÒÓ, 1997. – Ñ. 151 –155.

4. *×åðäàíöåâ Ñ.Â.* Îïðåäåëåíèå ïàðàìåòðîâ âèíòîâîé êðåïè â óñëîâèÿõ åå ñîâìåñòíîãî äåôîðìèðîâàíèÿ ñ ìàññèâîì ãîðíûõ ïîðîä //Âåñò. ÊóçÃÒÓ. – 2004. – № 5. – Ñ. 5 – 9.

5. *×åðäàíöåâ Ñ.Â.* Î âëèÿíèè предва-ðèòåëüíî îáæàòîé ïðóæèíû íà çîíó íàðóøå-íèÿ ñïîøíîñòè âîêðóã öèëèíäðè-÷åñêîé ïîëîñòè /Ñ.Â. ×åðäàíöåâ, Í.Â. ×åðäàíöåâ //ÏÌèÒÔ. – 2005. – № 3. – Ñ. 141– 148.

6. *Èãíàòîâ Å.Â.* Ðàçðàáîòêà òåõíîëî-ãè÷åñêèõ òðåáîâàíèé è êîíñòðóêöèè ìåõà-íèçìà ðó÷íîãî âîçâåäåíèÿ ïðóæèíîé êðåïè /Å.Â. Èãíàòîâ, È.Å. Èãíàòîâ //Âåñò. ÊóçÃÒÓ. – 2001. – № 1. – Ñ. 53 – 56.

7. *Èãíàòîâ Å.Â.* Ðàçðàáîòêà òåõíî-ëîãèè âîçâåäåíèÿ ïðóæèíîé êðåïè /Å.Â. Èãíàòîâ, È.Å. Èãíàòîâ //Âåñò. ÊóçÃÒÓ. – 2001. –№ 1. – Ñ. 56–57.

8. *Ðàøåâñêèé Ï.Ê.* Êóðñ äèôôåðåí-öèàëüíîé ãåîìåòðèè. – Ì.: Ãîñ. èçä.-âî òåõí.-òåîð. ëèòåðàòóðû. – 1956. – 420 ñ.

Коротко об авторах

×åðäàíöåâ Ñåðãåé Áàñèëüåâè÷ - êàíäèäàò òåõíè÷åñêèõ íàóê, äîöåíò êàôåäðû «Còðîèòåëüñòâо ïîäçåìíûõ ñîîðóæåíèé è øàõò», Êóçáàññêий ãîñóäàðñòâåííый òåõíè÷åñкий óíèâåðñèòåò.