

щем случае, так как при испытании крепи с забутовкой породной мелочью $\lambda = 0,66$. В отличие от модели крепи с забутовкой закрепного пространства породой в данном случае разрушение крепи не наблюдалось даже при приложении к ней нагрузки со стороны массива, превышающей прежнюю на 34 % (максимальные напряжения на контуре выработки в боках составили $3 \cdot 10^5$ Па) без образования зоны неупругих деформаций. Измерение напряжений в крепи показывает, что тампонаж закрепного пространства обеспечивает более равномерное распределение нагрузок по периметру крепи, чем при креплении выработок с забутов-

Результаты измерений нагрузок на крепь

Место проведения измерений	Средняя нагрузка крепь (10) Па, при которой выработка теряет устойчивость		P_m/P_3
	С тампонажем закрепного пространства P_m	С забутовкой породной мелочью P_3	
в кровле	1,66	0,68	2,44
в боках	2,65	1,51	1,77
в почве	1,96	1,09	1,83
по периметру			2,13

кой мелкой породой. Графики распределения напряжений в массиве приведены на рис. 1.

Результаты измерений нагрузок на крепь в модели приведены в таблице.

Согласно данным, таблицы, выработка, закрепленная кре-

пью ГТК с забутовкой мелкой породой, теряет устойчивость при нагрузках на крепь в среднем в 2,13 раза меньших, чем при креплении крепью ГТК в сочетании с тампонажом закрепного пространства

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, Г. Н. Моделирование проявлений горного давления. – М. : – Недра, 1978.
2. Катков, Г. А. Исследование горного давления с применением фотоупругих элементов. – М. : – Недра, 1978. – 131 с.
3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации: Прибор для испытания грунтов на сдвиг П10С. – М. : Внешторгиздат, 25489/75 (4953).

□ Автор статьи:

Росстальной
Евгений Борисович
– соискатель кафедры теоретической
и геотехнической механики

УДК 622.33: 550.372

Е. Б. Росстальной

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОГО КРЕПЛЕНИЯ ВЫРАБОТОК С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАЛЕБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Инъекционное укрепление приконтурного слоя пород приводит к формированию несущего слоя, способного обеспечивать устойчивость выработки. Применение инъекционного упрочнения в сочетании с традиционными видами крепи (бетонной, арочной металлической, анкерной и др.) в целом ряде случаев способствует оптимизации затрат на поддержание выработок в устойчивом состоянии [1].

Технология управляемого

инъектирования горных пород и создания тем самым вокруг выработки несущей оболочки из зацементированного массива включает бурение скважин, определение распределения по скважине поглощающей способности пород, искусственное изменение гидродинамического сопротивления пород пропорционально поглощающей способности и нагнетание цементного раствора в скважины. Данная технология позволяет обеспечить равномерное распро-

странение раствора от нагнетательной скважины в породном массиве с неоднородной трещиноватостью, что способствует повышению качества инъектирования. Данный метод управления состоянием массива трудоемок, поскольку требует большого объема буровых работ, измерений поглощающей способности пород и изменения их гидродинамического сопротивления. При этом тампонирование пород, как правило, ведут параллельно с установкой обыч-

ной крепи капитальных выработок (бетонной, арочной металлической с затяжкой). Поэтому данная технология приводит к нерациональному расходу цемента в случаях, когда для обеспечения устойчивости выработки не требуется цементировать массив на всю глубину зоны нарушенных пород.

Одним из перспективных технологических решений является крепление горных выработок породобетонной крепью, сочетающее цементацию пород с облегченными конструкциями крепи, включающее установку рамной металлической крепи с затяжкой вслед за подвиганием забоя, монтаж опалубки с нагнетательными патрубками, приготовление смеси на основе цемента, нагнетание смеси в заопалубочное пространство и образование тем самым облицовочно-несущей оболочки путем омоноличивания рам крепи между собой и с горной породой [2].

Данная технология не требует специального бурения скважин и нагнетания в них скрепляющих растворов, кроме участков со сложными горно-геологическими условиями. Тампонажный цементно-песчаный раствор нагнетают в заопалубочное пространство при минимальном давлении, не превышающем 0,1 МПа. При этом раствор, заполняя пространство между опалубкой и контуром выработки, частично распространяется по трещинам в глубь породного массива. Возвведенная таким образом крепь включает следующие основные несущие слои: металлический контур рамной крепи; железобетонная оболочка; зацементированная порода. Данная технология менее трудоемка, а также дает возможность более рационально расходовать строительные материалы (металл и цемент) [3].

Экспериментальные геофизические исследования, проведенные на опытном участке возведения сталебетонной кре-

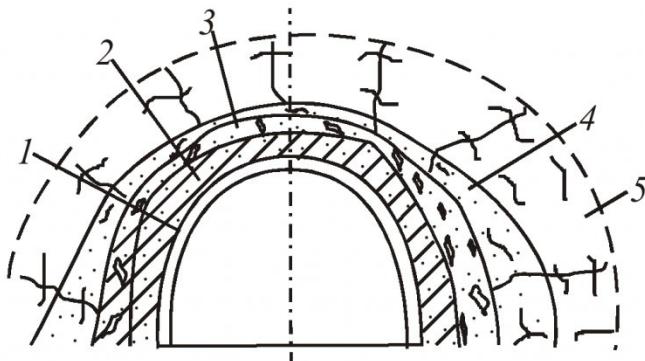


Рис. 1. Структура массива, прилегающего к сталебетонной крепи: 1 – рамная металлическая крепь; 2 – бетонная оболочка; 3 – слой обломков породы с частично зацементированными пустотами; 4 – зацементированная трещиноватая порода; 5 – незацементированная зона технологической трещиноватости

пи на ш. "Юбилейная" позволили установить особенности структуры техногенного массива (рис. 1).

Несущая способность возведенной крепи в значительной степени зависит от толщины слоя зацементированной породы. В реальных условиях толщина этого слоя изменяется в диапазоне от 0,1 до 1,5 м в зависимости от типа породы и ее естественной нарушенности, технологии проходки выработки, геомеханического влияния соседних выработок, состава смеси, давления и других факторов. Глубина проникновения цементного раствора определяется трещинной проницаемостью пород. Существующая технология не позволяет учесть неоднородность горных пород в приконтурной зоне выработки, что приводит в результате к неравнопрочности облицовочно-несущей оболочки и фактическому перерасходу материалов (металла и раствора).

Снижение расхода материалов при сохранении равнопрочности облицовочно-несущей оболочки крепи можно обеспечить за счет учета частичного упрочнения пород при тампонаже заопалубочного пространства. До установки крепи и монтажа опалубки дополнительно измеряют распределение проницаемости трещин породы по нормали к поверхности выработки по всей длине участка

крепления, расчетную нагрузку на облицовочно-несущую оболочку крепи уменьшают пропорционально проницаемости пород, а параметры крепи изменяют в соответствии с уменьшенной нагрузкой.

Разработаны схемы измерения физических параметров приконтурной зоны массива без применения и с применением шпуров (рис. 2).

При бесшпуровой схеме геоконтроля (рис. 2, а) вслед за подвиганием забоя выработки 6 в незакрепленном пространстве измеряют эффективное удельное электросопротивление (УЭС) пород ρ_k путем установки на поверхность выработки электродов AMNB параллельно забою 7, подключения их соединительными проводами 4 к прибору 5 и снятия замеров. При указанном расположении электродов AMNB радиальные трещины 1 в зоне нарушения пород, ориентированные по нормали к контуру выработки, перпендикулярны к линиям тока, и величина ρ_k пропорциональна коэффициенту трещинной пустотности m (в Ом·м):

$$\rho = K_B \rho_{II} \frac{m}{\xi}, \quad (1)$$

где ρ_{II} – УЭС породы без трещин, Ом·м; K_B – поправочный коэффициент, учитывающий влияние поверхности выработки; ξ – средняя относительная

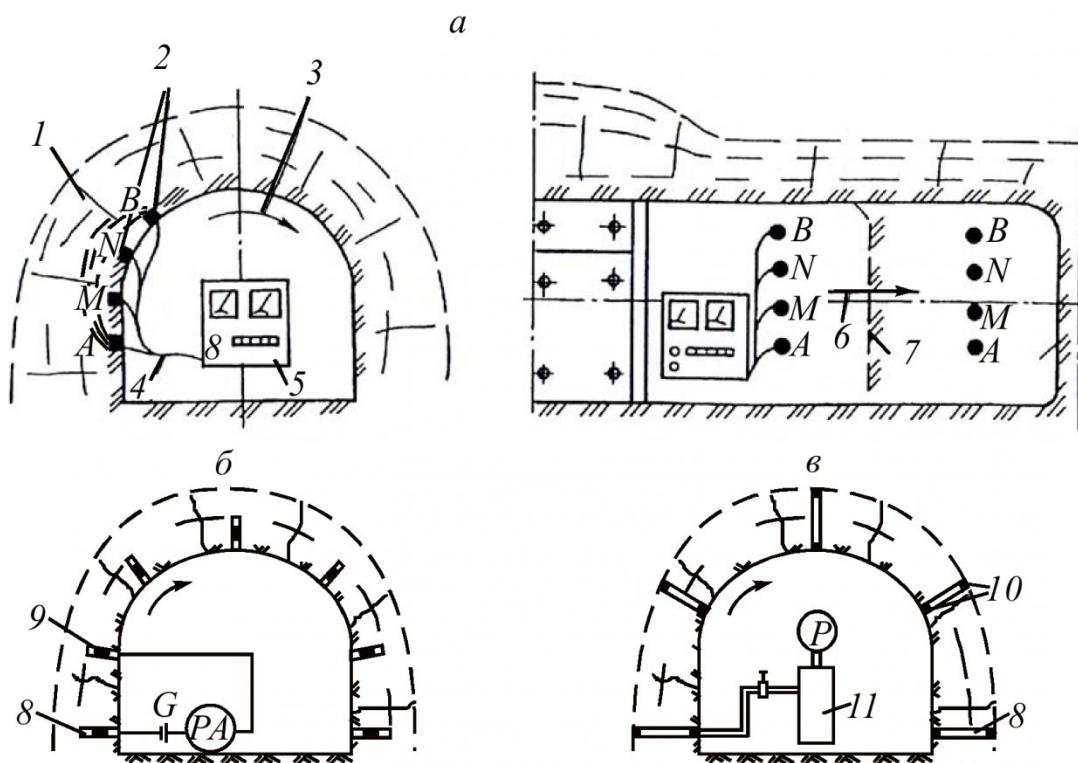


Рис.2. Схемы измерения физических параметров приконтурного массива четырехэлектродным бесшупровым электрометрическим (а), двухэлектродным шупровым (б) и реометрическим (в) методами: 1 – радиальные трещины; 2 – накладные электроды; 3 – направление перемещения электродов в поперечном сечении; 4 – соединительные провода; 5 – измерительная установка; 6 – направление перемещения электродов по оси скважины; 7 – забой выработки; 8 – шпур; 9 – шупровой электрод; 10 – изолирующее устройство (пакер); 11 – нагнетательная установка

площадь скального контакта между берегами трещин, относенная к единице площади их поверхности.

Определяют средние значения $\bar{\rho}_k$, \bar{m} результатов измерений по профилю в бортах и кровле выработки, вычисляют средний по сечению (профилю) коэффициент трещинной проницаемости по нормали к поверхности выработки по формуле (в м²)

$$k_{np} = 0,043 \bar{m}^{2,1} \cdot \delta^2, \quad (2)$$

где δ – среднее раскрытие трещин, принимаемое равным 10⁻³

При применении шупрового электрофизического метода (рис. 2, б) по контуру выработки бурят 5–10 шпуров 8 глубиной до 0,5 м, в которые устанавливают пружинные или щеточные электроды 9. Измерения УЭС приконтурной зоны массива

производят по двухэлектродной схеме:

$$\rho_k = \frac{RS}{L} \approx \frac{\pi RL}{4} = \frac{\pi L}{4} \left(\frac{U}{I} - R_{cx} \right) \quad (3)$$

где R – электросопротивление участка цепи, Ом; L – расстояние между измерительными шпурами, м; S – площадь контролируемого сечения, м²; U – напряжение источника питания, В; I – ток зондирования, А; R_{cx} – электросопротивление элементов измерительной схемы, Ом.

Для тарировки электрофизического геоконтроля применяют прямые газодинамические измерения, включающие установку в шпуры изолирующих пакеров 9 и нагнетание в массив сжатого воздуха установкой 11 (рис. 2, в). Коэффициент трещинной пустотности определяют методом эквивалентных от-

верстий по формуле:

$$m = \frac{S_3}{S_{ckb}}, \quad (4)$$

где S_3 – площадь эквивалентного отверстия, определяемая по результатам лабораторных испытаний на специальном стенде по скорости падения давления P после перекрытия нагнетательного шланга (рис. 3); S_{ckb} – площадь поверхности изолированного участка скважины (шпура).

Результаты проведенного геоконтроля позволяют скорректировать параметры крепи с учетом фактической изменчивости проницаемости приконтурной зоны массива. Определяют уменьшение расчетной нагрузки на облицовочно-несущую оболочку за счет частичного упрочнения горных пород

$$\Delta P = \frac{\alpha P_H k_{np} \sigma_{\Pi}}{R_B}, \quad (5)$$

где α – гидродинамическая постоянная, $\text{м}/(\text{МПа}\cdot\text{м}^2)$; P_H – давление нагнетания цементно-песчаного раствора, МПа; $\sigma_{\text{ц}}$ – предел прочности при сжатии зацементированной породы, МПа; R_B – приведенный радиус выработки, м.

В соответствии с полученным значением ΔP изменяют параметры крепи на участке крепления выработки одним из следующих способов: увеличением расстояния A между рамами крепи; уменьшением среднего расстояния a между опалубкой и поверхностью выработки; снижением прочности $\sigma_{\text{сж}}$ (марки) бетона. Значения A , a (в метрах) и $\sigma_{\text{сж}}$ (в мегапаскалях) определяются по следующим формулам, разработанным ВНИИОМШС [4]:

$$A = \frac{N_S}{P - \Delta P}, \quad (6)$$

$$a = R_B \left[\sqrt{\frac{\sigma_B}{\sigma_B + 2(P - \Delta P)}} - 1 \right] \quad (7)$$

$$\sigma_B = (P - \Delta P) \left(2 + \frac{R_B}{a} \right), \quad (8)$$

где N_S – несущая способность рамы спецпрофиля, приведенная к 1 м выработки, $\text{МПа}\cdot\text{м}$; σ_B – прочность бетона оболочки крепи при одноосном сжатии, МПа; P – расчетная нагрузка на крепь, МПа.

Описанные выше экспериментальные исследования и расчеты проводят по интервал-

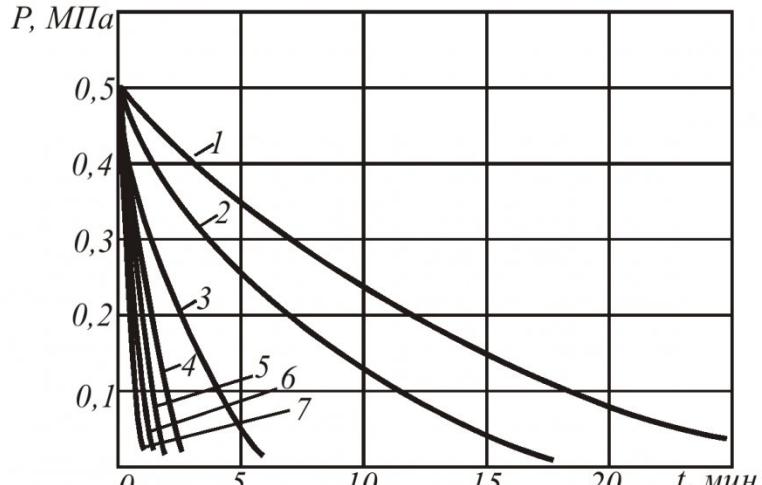


Рис. 3. Графики падения давления сжатого воздуха при различной величине эквивалентного отверстия:

1 – $S_3 = 0,071 \text{ мм}^2$; 2 – $0,282 \text{ мм}^2$; 3 – $0,785 \text{ мм}^2$; 4 – $1,77 \text{ мм}^2$; 5 – $3,14 \text{ мм}^2$; 6 – $4,9 \text{ мм}^2$; 7 – $7,070 \text{ мм}^2$

но по всему протяжению закрепляемой выработки. Общий вид графиков изменения измеренных и расчетных параметров ρ_k , k_{np} , ΔP , a , σ_B по длине выработки l приведены на рис. 4.

После проведенных операций на закрепленном участке выработки устанавливают рамную металлическую крепь, опалубку с нагнетательными патрубками, при этом параметры крепи принимают скорректированными. Нагнетательную установку подсоединяют к патрубкам и нагнетают приготовленный цементно-песчаный раствор в пространство между опалубкой и контуром выработки. Водоцементный раствор, проникая в трещины зоны нарушенных пород, формирует зону цементации, которая после

окончания нагнетания образует дополнительную несущую оболочку из зацементированной породы. Тем самым обеспечивается равнопрочность крепи при облегчении металлической и бетонной части крепи.

В качестве примера реализации рассмотренной выше методики ниже приведены результаты корректирования основных параметров крепи при строительстве главного квершлага гор. +180 м ш. "Нагорная". План расположения выработки, геологическая структура массива и расположение контрольных станций (геофизические исследования проведены ГУ КузГТУ и ОАО "КузНИИшахтострой" и описаны в работе [5]) представлены на рис. 5.

Согласно геологическим

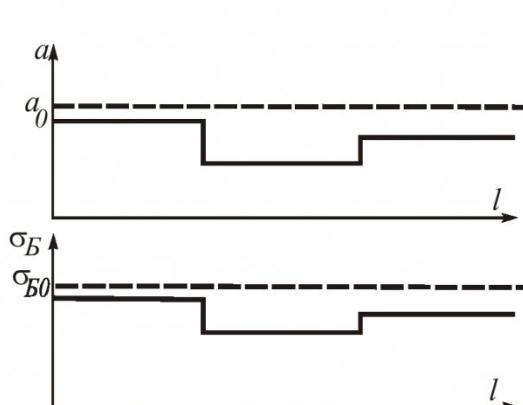
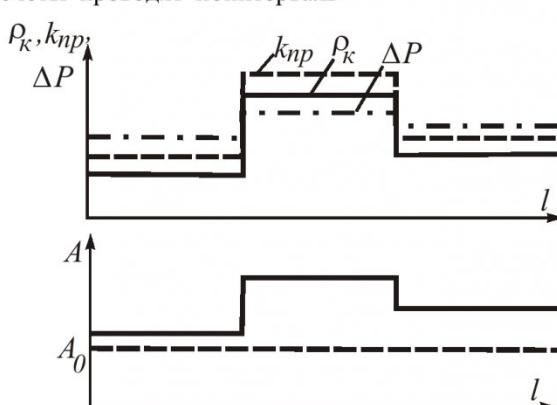


Рис. 4. Графики изменения измеренных и расчетных параметров по длине выработки l (A_0 , a_0 , σ_{B0} – проектные значения)

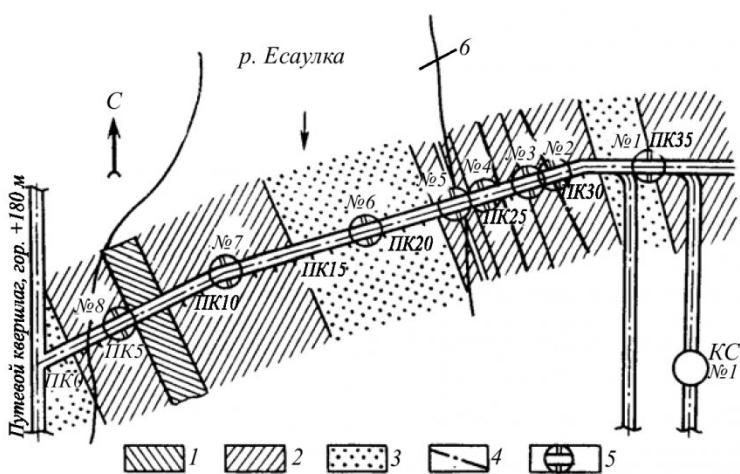


Рис. 5. Геологическая структура массива, схема расположения контрольных станций (план по кровле главного квершилага гор. + 180 м шахты "Нагорная"): 1 – уголь; 2 – алевролит; 3 – песчаник; 4 – нарушение; 5 – контрольная станция; 6 – зона под руслом реки

Результаты измерений и расчетов параметров $\bar{\rho}_K$, \bar{m} , k_{np} и ΔP (в расчетах принято $P_H = 0,1$ МПа; $\sigma_u = 20,0$ МПа; $R_B = 2,6$ м).

№ участка	1	2	3
$\bar{\rho}_K$, Ом·м	71,3	24,2	95,5
\bar{m}	0,062	0,021	0,083
k_{np} , м ²	$165 \cdot 10^{-12}$	$19 \cdot 10^{-12}$	$296 \cdot 10^{-12}$
ΔP , МПа	2,52	0,29	4,56
A , м	0,65	0,51	0,865

данным, вмещающие породы были представлены участком №

1 алевролита слаботрещиноватого средней крепости и устойчивости длиной 72 м, участком № 2 песчаника мелко-зернистого крепкого среднеустойчивого длиной 78 м, участком № 3 алевролита с прослойками угля, песчаника и углистого алевролита длиной 70 м.

В закрепляемой выработке сечением в проходке $22,4 \text{ м}^2$, в свету – $19,2 \text{ м}^2$, шириной 5,5 м по проекту по всей длине должна была применяться рамная металлическая крепь типа СВП-27 с шагом 0,5 м ($N_S = 330 \text{ кН/раму} = 5,4 \text{ МПа·м}$), что соответствует расчетной нагрузке на крепь $P = 10,8 \text{ МПа}$. Толщина бетонного облицовочного слоя составляла $a = 0,1 \text{ м}$. На основании проведенных измерений было принято решение увеличить расстояние между рамами крепи A .

Таким образом, увеличение шага установки рамной крепи за счет учета эффекта упрочнения приkontурной зоны массива при тампонаже закрепленного пространства обеспечивает экономию металла более чем на 21 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 1460290. МКИ Е21Д 1/16. Способ тампонирования горных пород / Хямяляйнен В. А. Макаров Е. Я. Сыркин П. С. – Заявл. 30.06.87; №4271661/23-03; Опубл.23.02.89; Бюл. №7.
2. Руководство по технологии крепления горных выработок с применением опалубки ОМП, основанной на использовании несущей способности упрочненных пород / Ю. В. Бурков, Е. Г. Дуда, Г. И. Комаров, В. А. Хямяляйнен и др. – Кемерово, 1990. – 78 с.
3. Разработки лаборатории проходки горных выработок специальными способами. – Кемерово : Кузнишахтострой, 1991. – 45 с.
4. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи / ВНИМИ, ВНИОМШС. – М. : Стройиздат, 1983. – 272 с.
5. Хямяляйнен, В. А. Геоэлектрический контроль разрушения и инъекционного упрочнения горных пород / В. А. Хямяляйнен, С. М. Простов, П. С. Сыркин. – М. : Недра, 1996. – 288 с.

□ Автор статьи:

Росстальной
Евгений Борисович
– соискатель кафедры теоретической
и геотехнической механики