



ҚҰРЫЛЫС. СӘУЛЕТ  
СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА  
CONSTRUCTION. ARCHITECTURE

DOI 10.51885/1561-4212\_2021\_1\_34  
MPHTI 67.15.63

**В.Ф. Демин<sup>1</sup>, М.О. Иманов<sup>2</sup>, Н.Г. Кожанов<sup>3</sup>**

Карагандинский технический университет, г. Караганда, Казахстан

<sup>1</sup>E-mail: [vladfdemin@mail.ru](mailto:vladfdemin@mail.ru)

<sup>2</sup>E-mail: [alivек@mail.ru](mailto:alivек@mail.ru)

<sup>3</sup>E-mail: [spark.2011@mail.ru](mailto:spark.2011@mail.ru)\*

**УПРОЧНЕНИЕ ОСЛАБЛЕННЫХ ГОРНЫХ МАССИВОВ С УЧЕТОМ ИХ СОСТОЯНИЯ  
ӘЛСІРЕГЕН ТАУ СІЛЕМДЕРІН ОЛАРДЫҢ ЖАЙ-КҮЙІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП НЫҒАЙТУ  
STRENGTHENING OF WEAKEN MOUNTAIN MASSIVES TAKING INTO ACCOUNT THEIR  
CONDITION**

**Аннотация.** Отдельные участки горных выработок пересекают зоны перемятых пород и угля, в которых необходимо применять комбинированную крепь совместно с рамной либо полностью переходить на крепление последней, для закрепления за сводом естественного равновесия пород, со сшивкой переслаивающихся пород кровли. Также при отработке лав на мощных пластах для укрепления обрушившихся пород в верхнем слое, при нарушенных кровлях угольных пластов и переходе выработок необходимо упрочнение околоконтурных пород.

**Ключевые слова:** сооружение искусственных полостей в земной коре, угольные шахты, деформации, дефектность, средства и способы упрочнения; смолы; горнотехнологические условия разработки.

**Аңдатпа.** Тау-кен қазбаларының жекелеген учаскелері мыжылған тау жыныстары мен көмір зоналарын қиып өтеді, онда тірек тіреуішпен бірге тірек тіреуішті пайдалану керек немесе соңғысын бекітуге толық ауысу керек, доғаның артындағы жыныстардың табиғи тепе-теңдігін қамтамасыз ету керек төселген шатыр жыныстары. Сондай-ақ, көмір қабаттарының шатыры сынған және жұмыс қабаттарының ауысуы бар жоғарғы қабаттағы құлаған жыныстарды нығайту үшін қалың қабаттарда ұзын қабырғалармен жұмыс істеу кезінде контурға жақын жыныстарды нығайту қажет.

**Түйін сөздер:** жер қыртысында жасанды қуыстар салу, көмір шахталары, деформациялар, ақаулар, нығайту құралдары мен әдістері; шайырлар; тау-кен технологиясының даму шарттары.

**Abstract.** Separate sections of mine workings intersect zones of crumpled rocks and coal, in which it is necessary to use a combined support together with a frame support or completely switch to fastening the latter, to secure the natural balance of rocks behind the arch and with stitching of interbedded roof rocks. Also, when working longwalls on thick seams to strengthen the collapsed rocks in the upper layer, with broken roofs of coal seams and the transition of workings, it is necessary to strengthen the near-contour rocks.

**Keywords:** construction of artificial cavities in the earth's crust, coal mines, deformations, defectiveness, means and methods of strengthening; resins; mining technology development conditions.

**Введение.** Решение этой задачи значительно облегчается с применением технологий укрепления трещиноватых пород и углей твердеющими химическими составами на основе

полиуретановых, фенольных и органоминеральных смол. Способ упрочнения пород химическими составами заключается в нагнетании компонентов в трещиноватый массив. В результате нагнетания образуется вспененная отвержденная масса, а возникающий при этом распорный эффект, и высокая адгезия состава к породе и углю обеспечивают устойчивость массива. Пластичные свойства нагнетаемых смол препятствуют разрушению адгезионных связей при смещениях частей массива и приложенных к нему динамических нагрузок. По истечении 10-15 мин. химический состав обретает рабочую прочность, при которой можно приступать к ведению подготовительных работ, а по истечении 1-3 час. (в зависимости от вида используемых смол) нагнетанный химический состав приобретает свои окончательные свойства и в зоне нагнетания можно производить выемку угля. В последнее время при ведении горных работ в угольных пластах, ослабленных трещиноватостью, и в зонах геологических нарушений все большее распространение получает способ повышения их устойчивости нагнетанием укрепляющих растворов на основе синтетических смол. Это ведет к увеличению эффективности и безопасности ведения горных и снижению потерь угля в недрах. Затвердевшая смола обладает остаточной пластичностью, что дает возможность упрочняемому массиву деформироваться без разрушения и выдерживать нагрузки горного давления. Вспениваясь, смола создает дополнительный распорный эффект, что повышает связи между блоками массива и улучшает его прочностные свойства [1-4].

*Материалы и методы исследования.* В основу фильтрационных методов расчета параметров нагнетания положено представление о распространении укрепляющих растворов на основе синтетических смол в угольном массиве, как трещиновато-пористой среде. Для применения стабилизирующего воздействия смолами необходимо определение области эффективного применения укрепления угольного массива растворами на основе синтетических смол, определение толщины укрепляемой зоны, давления нагнетания, гидравлических параметров угольного массива, технологических параметров укрепления [4 - 7]. Ниже изложены основные подходы для определения параметров эксплуатации комплексов для нагнетания смолоукрепляющих смесей.

*Область эффективного применения укрепления угольного массива растворами на основе синтетических смол.* В настоящее время укрепление угольного массива синтетическими смолами применяется при вскрытии выбросоопасных пластов, проходке пластовых горных выработок и отработке пластов в зонах геологических нарушений. Кроме этого, синтетические смолы инъецируют в угольные пласты с целью блокировки газов пылеподавления. Прочность укрепленного угольного массива определяется его начальной прочностью, прочностью отвержденного инъецируемого раствора и его количеством в единице объема массива. Верхнюю техническую границу применения этого способа определяют из условия обеспечения устойчивости укрепленного угольного массива вокруг выработки. Целесообразность применения укрепления определяют в каждом конкретном случае технико-экономическим сравнением с другими способами или видами крепи и методами повышения устойчивости.

*Определение толщины укрепляемой зоны.* Толщину минимальной зоны укрепления определяют в зависимости от ширины зоны неупругих деформаций, формы и размеров поперечного сечения горной выработки, физико-механических свойств укрепленного угольного массива, проявлений горного давления.

*Определение давления нагнетания.* Определяется максимальное и активное давления нагнетания. Расчет дополнительных потерь давления, возникающих при удалении насосной установки от нагнетательной скважины и из-за наличия резких перепадов сечений и

изгибов, подводящих трубопроводов и шлангов, осуществляют согласно законам гидравлики.

*Определение гидравлических параметров угольного массива* осуществляют перед производством работ на основе результатов опытного нагнетания на участке, подлежащем укреплению. Нагнетание производят через скважину с диаметром и длиной более 5,0 м. В опытную скважину, нагнетают укрепляющий раствор при проектных значениях концентрации, времени схватывания и давления. Нагнетание производят до момента снижения относительного темпа нагнетания на 15-20 %. Определяется количество раствора, нагнетаемое в скважину и производят отбор проб укрепленного угля на расстоянии 0,05-0,2 м от нагнетательной скважины и неукрепленного угля. В результате определения плотности и зольности укрепленного угля и зольности чистого угля рассчитывают максимальный удельный расход с установлением приведенных радиуса скважины, расхода, времени нагнетания (радиальный поток).

*Определение технологических параметров укрепления.* При проектировании и производстве работ по укреплению угольного массива приходится решать следующие основные задачи: при заданном (исходя из горно-технических условий) расстоянии между скважинами или размерами зон эффективного укрепления, которые необходимо получить, определяют количество необходимого раствора, времени нагнетания, зону укрепления и количество необходимого раствора. При укреплении слабонарушенных мощных угольных пластов необходимо учитывать их анизотропию. С учетом анизотропных свойств зона распространения раствора будет иметь форму эллипса. Основными технологическими параметрами при укреплении угле-породного массива химическими растворами являются длина и расстояние между скважинами (шпурами), давление и время нагнетания и т. д. При разработке угольных месторождений в окружающих очистной забой породах и угле происходит перераспределение напряжений с концентрацией их в отдельных зонах. Для обеспечения устойчивости обнажений должно быть соблюдено неравенство (1).

$$R_{szh} \geq \gamma * H * K, \quad (1)$$

где  $R_{szh}$  – предел прочности пород непосредственной кровли при одноосном сжатии МПа;  $\gamma$  – объемный вес пород непосредственной кровли т/м<sup>3</sup>;  $H$  – глубина разработки, м;  $K$  – коэффициент концентрации напряжений.

В результате действия статических и динамических нагрузок (при осадке основной кровли) в непосредственной кровле образуется зона разрушенных пород впереди очистного забоя.

С увеличением глубины разработки увеличиваются размеры зоны нарушений. Поэтому условие устойчивости с учетом ослабления пород определяется неравенством (2).

$$\theta * R_{szh} \geq \gamma * H * K, \quad (2)$$

где  $\theta$  – коэффициент структурного ослабления (отношение прочности породы в массиве к прочности в куске при одноосном сжатии или растяжении).

Таким образом, повышение коэффициента структурного ослабления является одной из основных задач повышения устойчивости обнажений. В зонах нарушения породы кровли обладают, в сравнении с нетронутым массивом, повышенными фильтрационными характеристиками, обуславливающими их хорошую проницаемость. Нагнетанием химических растворов с высокой проникающей способностью в трещины ослабленной зоны можно склеить слои пород, что предотвратит их дальнейшее расслоение и повысит несущую способность непосредственной кровли.

Экспериментальные исследования при химическом укреплении пород, проведенные

на шахтах Карагандинского бассейна, позволили рекомендовать количественные зависимости для определения основных параметров при нагнетании укрепляющих растворов.

Длина шпуров –

Пример формулы 3:

$$L_{shp} = \frac{\ell_n}{\cos \alpha}, \quad (3)$$

где  $\ell_n$  – среднее значение зоны предельных состояний пласта для условий Карагандинского бассейна, на практике принимается равным 3 м;  $\alpha$  - угол наклона шпуров, на практике принимается равным 10 - 15 град.

Расстояние между шпурами зависит от радиуса распространения раствора, который определяется из эмпирической зависимости [1].

$$R = Kexp \left\{ X_1 \left[ -108 \cdot \left( \frac{\gamma \cdot H}{\sigma_{szh}} \right)^2 + 664 \cdot \left( \frac{\gamma \cdot H}{\sigma_{szh}} \right) - 4 \right] + 100 \cdot X_2 \right\}, \quad (4)$$

где  $Kexp$  – параметр функции – зона обработки 3-4 м;  $X_1$  – коэффициент, характеризующий изменение радиуса в зависимости от глубины разработки и прочности вмещающих пород (табл.1);  $X_2$  – коэффициент, характеризующий изменение радиуса в зависимости от давления нагнетания раствора с учетом соотношения глубины разработки и прочности вмещающих пород (табл. 2);  $\sigma_{szh}$  – прочность пород на одноосное сжатие 15-20 МПа.

*Результаты и их обсуждения.* Обработка результатов исследований методами математической статистики позволила получить усредненные численные значения коэффициентов для условий Карагандинского бассейна с распределением по характерным интервалам состояния устойчивости пород (табл. 1).

**Таблица 1.** Численные значения расчетных коэффициентов

$\gamma \cdot H / \sigma_{сж}$	$X_1$	$X_2$	$K, м$
До 0,3	0,016	0,0017	10
0,31-0,5	0,015	0,0035	10
Более 0,5	0,1	0,0055	10

С целью исключения гидроразрыва при химическом укреплении пород давление нагнетания раствора не должно превышать предела прочности пород на растяжение (5).

Пример формулы 5:

$$P_H \leq \sigma_{РАСТ}. \quad (5)$$

Предел прочности пород на растяжение (аргиллитов, алевролитов и песчаников) варьирует в пределах 3,7-7,8 МПа. Процент категории пород с прочностью на растяжение более 10 МПа незначителен. Поэтому нагнетание химических растворов в массив необходимо производить при давлении 2-7 МПа. Подставляя полученные значения коэффициентов и давления в уравнение (4), определяется радиус для различных типов пород (табл. 2).

**Таблица 2.** Радиус для различных типов пород

$\gamma \cdot H / \sigma_{сж}$	$R, м$
До 0,3	3,0
0,31-0,5	2,0

Более 0,5	1,0
-----------	-----

Расстояние между шпурами –

Пример формулы 6:

$$l_0 = 2R - c, \quad (6)$$

где  $c = 0,3$  – величина зоны перекрытия, м.

Установленные значения расстояния между шпурами уточняются в производственных условиях. Для этого бурятся три шпура на расстоянии, например, 2 м друг от друга. В крайние шпуры нагнетается раствор и устанавливается время появления его в центральной шпуре. Расстояние между шпурами [2] –

Пример формулы 7:

$$l = l_0 \sqrt{\frac{t_n}{t_{np}}}, \quad (7)$$

где  $l_0$  – расчетное расстояние между шпурами, м;

$t_n$  – время на бурение, промывку и герметизацию шпура, с;

$t_{np}$  – время появления раствора в центральной скважине, с.

Время нагнетания раствора –

Пример формулы 8:

$$t_H = \frac{R^2 \cdot K_{mp} \cdot \beta}{4,42 \cdot 10^{-7} \cdot e^{-0,32 \cdot X} \cdot \frac{\mu}{\mu_p} \cdot P_H}, \quad (8)$$

где  $K_{mp} = 0,23 - 0,7$  – коэффициент трещиноватости различных типов пород в условиях Карагандинского бассейна [3 - 5];  $\beta = 0,4 - 0,8$  – коэффициент заполнения трещин;  $X$  – расстояние до забоя в направлении подвигания лавы, м;  $\mu$  – вязкость воды, сП;  $\mu_p$  – вязкость раствора, сП.

Расход раствора на шпур (скважину) –

Пример формулы 9:

$$Q = 4,12 * \pi * K_{mp} * L_{SHP}. \quad (9)$$

Производительность насосной установки –

Пример формулы 10:

$$n = \frac{Q}{t_n}. \quad (10)$$

*Заключение.* 1. Одной из основных задач, которые необходимо решить при совершенствовании технологии инъецирования полимерных смол в нарушенный горный массив является повышение устойчивости и стабилизации горного массива при производстве технологических процессов, предлагается внедрение в производственную практику методики расчета, технологии и обоснование параметров упрочнения, связывания и стабилизации, нарушенных вмещающих угле-породных массивов с учетом их геомеханического техногенного состояния.

2. Упрочнение пород кровли пластовой выработки в процессе ее проведения определяется: длиной скважины под инъекционный анкер-репер; расстоянием между скважинами; установкой анкер-репера; изоляцией поверхности выработки; выбором концентрации раствора; упрочнением трещин, вскрытых скважиной, тонких трещин; определением конечного давления нагнетания; процессом смолянизации; оборудованием для нагнетания смол; определением параметров трещиноватости; контролем качества упрочнения породной кровли пластовой выработки; расчетом крепи пластовых выработок с упрочненной породной кровлей.

Список литературы

1. Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др. Экспериментальные исследования устойчивости повторно используемых выемочных выработок на пологих пластах Донбасса. – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2012. – 426 с.
2. Лушников В.Н., Еременко В.А., Сэнди М.П. и др. Крепление горных выработок в условиях деформируемых и удароопасных массивов горных пород // Горный журнал. – № 4, 2014. – С. 37-43.
3. Eremenko V.A. Louchnikov V.N. Sandy M.P. Mikin D.A. Milsin E.A. Gornyi Zhurnal – Mining Journal. – № 7, 2013. – Pp. 59-67.
4. Демин В.Ф., Немова Н.А., Демина Т.В., Зейтинова Ш.В. Управление геомеханическими процессами для повышения устойчивости углепородного массива // Научный вестник Национального горного университета. – Днепропетровск, Украина. – № 2, 2016. – С. 5-10.
5. Демин В.Ф., Немова Н.А., Демина Т.В., Каратаев А.Д. Деформирование вмещающих пород вокруг горных выработок в зависимости от влияющих факторов // Научный вестник Национального горного университета. – Днепропетровск, Украина. – № 4 (148), 2015. – С. 35-38.
6. Демин В.Ф., Бейсембаев К.М., Маусымбаева А.Д., Демина Т.В. и др. Технологические схемы крепления сопряжений выработок, лав с примыкающими выработками, выработок вспомогательного назначения // ООО «Редакция журнала «Уголь». – № 7, 2013. – С. 35-39.