

В общем, предложенная технология может быть использована и при креплении сталебетонной крепью. Главным отличием будет необходимость навески дополнительного оборудования и снабжения подвешенного проходческого полка подвижным этажным перекрытием, позволяющим качественно выполнять сварочные работы.

Применение данной технологии позволит:

- обеспечить качественное ведение сварочных работ;
- снизить трудоемкость укладки бетона;
- монтировать крупноразмерные секции стальной обечайки параллельно с ведением проходческих процессов на забое и в благоприятных условиях.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Масленников С.А.* Перспективы совершенствования двухслойной чугуно-бетонной крепи вертикальных стволов / Тезисы докладов 2-й междунар. научн.-пр. конф. "Перспективы освоения подземного пространства". - Д.: Национальный горный университет, 2008. - С. 37-40.
2. *Масленников С.А.* Методика определения рационального модуля деформации бетона в комбинированной чугуно-бетонной крепи / Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, 2009. - №4 – С. 205-210.
3. *Масленников С.А.* Обоснование рациональных параметров комбинированной чугуно-бетонной крепи вертикальных стволов / Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, 2009. - №4 – С. 210-214.
4. Состояние и перспективы строительства вертикальных стволов в Российской Федерации / Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. / Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2008. – Ч. 1. – С. 174 – 191.
5. Пат. 2433269 РФ, МПК E21 D Конструкция крепи вертикальных стволов с регулируемым режимом работы / Страданченко С.Г., Масленников С.А., Шинкарь Д.И. – Опубл. 10.11.2011.

УДК 622.28

*Масленников С.А., доц., к.т.н., Шинкарь Д.И., асп., Шахтинский институт (филиал) ЮРГТУ(НПИ), г. Шахты, Россия*

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ С РЕГУЛИРУЕМЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ

В работе [1] авторами было показано, что в настоящее время в России шахтное строительство в условиях роста глубины отработки полезных ископаемых и усложнения гидрогеологической обстановки на реконструируемых и строящихся горных предприятиях столкнулось с отсутствием эффективных способов поддержания основных вскрывающих выработок. Одним из возможных вариантов решения возникшей проблемы является применение разработанной и запатентованной авторами [2] конструкции трёхслойной сталебетонной крепи, включающей (см. рис. 1) внутреннюю металлическую обечайку (3), слой высокопрочного фибро-бетона (2) с искусственно улучшенными водопроводящими свойствами, внешний слой из полимербетона повышенной плотности (1), контрольно-регулирующие элементы (4), а также систему отвода воды.

По сравнению с трехслойной сталебетонной крепью, преимуществом предлагаемой конструкции является существенное снижение стоимости за счёт исключения внешней стальной оболочки, упрощение технологии работ по возведению крепи, снижение рисков, связанных с возможностью нарушения сплошности внешнего стального слоя и восприятия внутренним полным гидростатического давления.

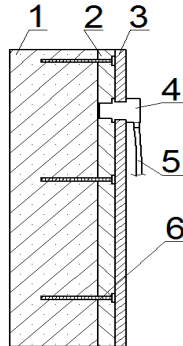


Рисунок 1 – Конструкция гидроизолирующей сталебетонной крепи вертикальных стволов с регулируемым режимом работы

Для расчета напряжений, возникающих в трехслойной крепи с регулируемым режимом работы под воздействием давления подземных вод, воспользуемся формулой приводимой в [3], представив ее в следующем виде [4]:

$$P_{\Gamma} = \left( n \times H_e \times \gamma_b \times \lg \frac{r_1}{r_0} \right) / \left( \lg \frac{r_1}{r_0} + \frac{k_{\phi}^{кр}}{k_{\phi}^T} \times \lg \frac{r_{\Gamma}}{r_1} + \frac{k_{\phi}^{кр}}{k_{\phi}^n} \times \lg \frac{R(t)}{r_{\Gamma}} \right) \quad (1)$$

где  $n$  - коэффициент перегрузки;  $H_e$  - напор в данном горизонте, м;  $k_{\phi}^{ед}$  - коэффициент фильтрации крепи;  $k_{\phi}^T, k_{\phi}^n$  - соответственно коэффициенты фильтрации породы и затампированной зоны, м/сут.;  $r_0, r_1, r_{\Gamma}$  - соответственно внешний, внутренний радиус крепи и радиус затампированной зоны, м;  $R(t)$  - радиус влияния дренажа выработки, м;  $\gamma_b$  - удельный вес воды, кН/м<sup>3</sup>.

Анализируя формулу, приходим к выводу:

1. Давление подземных вод при их фильтрации через многослойное кольцо распределяется между каждым из составляющих слоев пропорционально его геометрическим и фильтрационным характеристикам. Т.е. при двухслойном кольце  $P_{\Gamma_{общ}} = P_{\Gamma_1} + P_{\Gamma_2}$ , при трехслойном кольце  $P_{\Gamma_{общ}} = P_{\Gamma_1} + P_{\Gamma_2} + P_{\Gamma_3}$ , где  $P_{\Gamma_1}, P_{\Gamma_2}, P_{\Gamma_3}$  - давление, воспринимаемое 1-3-м слоем.

$$2. P_{\Gamma} = f(k_{\phi}^{кр}, k_{\phi}^T, k_{\phi}^n, r_1/r_0, r_{\Gamma}/r_1, R(t)/r_{\Gamma}).$$

Из положения 2 заключаем, что, если рассмотреть трехслойное кольцо, с характеристиками  $k_{\phi_1}^{кр}, k_{\phi_1}^T, k_{\phi_1}^n, r_{01}, r_{11}, r_{\Gamma_1}, R(t)_1$  и двухслойное, с характеристиками  $k_{\phi_2}^{кр}, k_{\phi_2}^n, r_{02}, r'_{12}, R(t)_2$ , в которых фильтрационные характеристики слоев 1 и 1', 3 и 3' идентичны

( $k_{\phi_1}^{кр} = k_{\phi_2}^{кр} = k_{\phi}^{кр}, k_{\phi_1}^n = k_{\phi_2}^n = k_{\phi}^n$ ), а также выполняется условие  $\frac{\lg \frac{r_1}{r_0}}{\lg \frac{r_3}{r_2}} = \frac{\lg \frac{r'_1}{r_0}}{\lg \frac{r'_3}{r'_1}}$ , то нагрузка, вос-

принимаемая слоем 2 в трехслойном кольце, перераспределяется в двухслойном между слоями 1' и 3', и при этом сохраняется пропорция  $\frac{P_{\Gamma_1}}{P_{\Gamma_3}} = \frac{P'_{\Gamma_1}}{P'_{\Gamma_3}}$

Составим систему уравнений, связывающую показатели обоих случаев:

$$\begin{cases} P_{\Gamma} = P'_{\Gamma_1} + P'_{\Gamma_3} \\ P_{\Gamma} = P_{\Gamma_1} + P_{\Gamma_2} + P_{\Gamma_3} \\ \frac{P_{\Gamma_1}}{P_{\Gamma_3}} = \frac{P'_{\Gamma_1}}{P'_{\Gamma_3}} \end{cases} \quad (2)$$

зная величину  $H_e \cdot \gamma_a$  и имея возможность определить  $P'_{\Gamma_1}, P_{\Gamma_1}$  по формуле (1) найдем  $P_{\Gamma_2}$ :

$$P_{\Gamma_2} = P_{\Gamma} - (P_{\Gamma_1} \times P_{\Gamma} / P'_{\Gamma_1}) \quad (3)$$

Находя частное от деления обеих частей формулы (3) на  $P_{\Gamma_1}$  получаем:

$$\frac{P_{\Gamma_2}}{P_{\Gamma_1}} = \frac{P_{\Gamma}}{P_{\Gamma_1}} - \frac{P_{\Gamma_1} \times P_{\Gamma}}{P'_{\Gamma_1} \times P_{\Gamma_1}} = P_{\Gamma} \times \frac{P'_{\Gamma_1} - P_{\Gamma_1}}{P_{\Gamma_1} \times P'_{\Gamma_1}}$$

подставляя соответствующие значения и выражая  $D_{A2}$  получаем:

$$P_{\Gamma_2} = \left( P_{\Gamma_1} \times k_{\phi}^{kp} \times \lg \frac{r_2}{r_1} \right) / \left( n \times k_{\phi}^T \times \lg \frac{r_1}{r_0} \right) \quad (4)$$

Аналогичным образом из системы уравнений (2) получаем:

$$P_{\Gamma_3} = \left( P_{\Gamma_2} \times k_{\phi}^T \times \lg \frac{r_3}{r_2} \right) / \left( n \times k_{\phi}^T \times \lg \frac{r_2}{r_1} \right) \quad (5)$$

Отметим, что при  $n = 1$  значение, рассчитанное по формуле (4) совпадает с результатом, полученным по формуле 5.46, приводимой проф. Булычевым Н.С. [4].

Давление воды на внутренний слой (стальную обечайку) в сталебетонной крепи с регулируемым режимом работы может быть меньшим либо равным давлению сброса ( $P_{сб}$ ). В первом случае крепь функционирует как обычная водонепроницаемая, во втором, как крепь с управляемым режимом работы. Учитывая, что  $P_{\Gamma_1} = P_{сб}$  найдем мнимый коэффициент фильтрации стальной обечайки  $k_{\phi}^1$ :

$$k_{\phi}^1 = \left( \lg \frac{r_1}{r_0} \times \left( \frac{n \times H_e \times \gamma_b - 1}{P_{сб}} \right) \right) / \left( \frac{1}{k_{\phi}^2} \times \lg \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{k_{\phi}^3} \times \lg \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{k_{\phi}^4} \times \lg \frac{r_4}{r_3} \right) \quad (6)$$

Примем, что давление сброса должно быть не выше критического  $P_{cr} {}^3P_{сб}$ , которое может быть найдено по методике Е. Амштутца, подробно изложенной в [4]. В этом случае  $P_{сб}$  является функцией 21 переменной, подбор рациональных значений которых, на начальном этапе проектирования крепи, требует рассмотрения более 2 млн ( $2^{21}$ ) вариантов уже при двух уровнях варьирования.

Для сокращения количества факторов используемых при определении  $P_{сб}$  воспользуемся методами планирования эксперимента. С этой целью зададимся условием  $P_{cr} {}^3P_{сб} {}^3D$ , где  $D \rightarrow P_{cr}$  при количестве влияющих факторов для  $D$  стремящихся к минимуму, определяемому необходимой точностью вычислений. С учетом количества факторов, характера зависимости от них целевой функции используем план Плакетта-Бермана для отсеивающего эксперимента [5]. Анализируя литературные источники, выделим из 21 влияющего фактора ос-

новные 13, варьирующие свои величины в наибольшем диапазоне значений и существенно влияющих на результат см. табл. 1. Отброшенные 8 факторов выставим в качестве границ области применения результатов проводимого исследования.

Таблица 1

Основные факторы, влияющие на величину критического давления

	Факторы	Значения		Выявленный эффект
		min	max	
	1	2	3	4
1.	Радиус ствола в свету $r_1$ , м	2	4,5	-9,6281183
2.	Толщина слоя стали $t_2$ , м	0,008	0,16	15,70291
3.	Толщина слоя бетона $t_4$ , м	0,35	0,5	-0,17131
4.	Удельный вес пород $\gamma_i$ , МН/м <sup>3</sup>	0,015	0,035	-0,11405
5.	Коэффициент Пуассона $\nu_1$ бетона (поз. 2 рис.1)	0,14	0,22	0,08292
6.	Коэффициент Пуассона $\nu_2$ бетона	0,13	0,22	0,133972
7.	Коэффициент Пуассона $\nu_3$ пород	0,13	0,36	0,061196
8.	Модуль упругости $E_1$ бетона (поз. 2 рис.1), МПа	15000	23500	-0,11444
9.	Модуль упругости $E_2$ бетона, МПа	23000	40000	0,070444
10.	Модуль упругости $E_3$ пород, МПа	1000	25000	-0,08267
11.	Предел текучести стали $\sigma_y$ , МПа	225	390	9,513008
12.	Глубина рассматриваемого участка, м	20	2000	0,137065
13.	Расстояние от забоя до введения крепи в работу,	0,5	4,5	-0,07433

Применяя 15-ти факторный отсеивающий план с  $N=16$  экспериментами, и обрабатывая результаты по методике, описанной в [5] видим, что при уровне значимости 95% ( $\alpha=0,05$ ) существенными являются факторы: радиус ствола в свету  $r_1$ , толщина слоя стали  $t_2$ , предел текучести стали  $\sigma_y$ . Полученные результаты представлены на рис. 2 в виде нормального вероятностного графика.

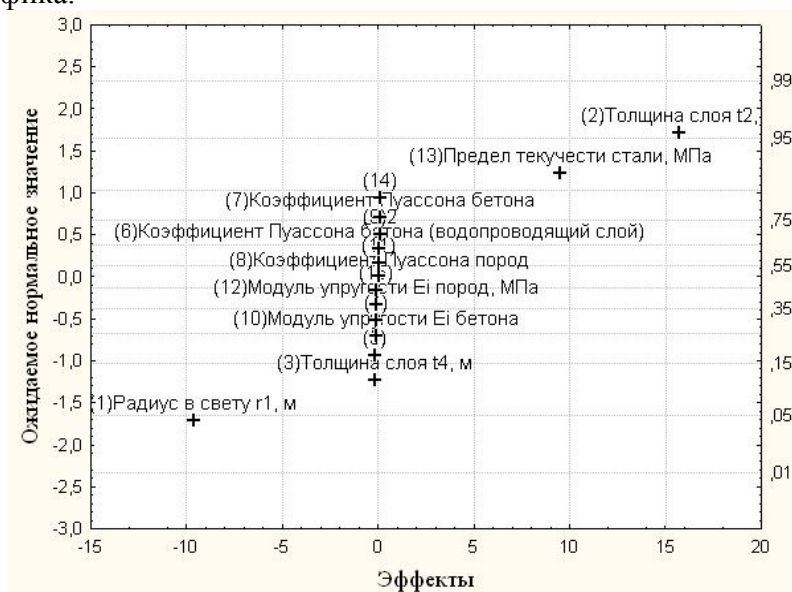


Рисунок 2 – Нормальный вероятностный график критического давления

Далее, с учетом выявленных эффектов (см. столбец 4 табл. 1), задаваясь значениями факторов 3-10, 12,13, минимизирующими величину  $P_{ст}$  находим значения давления сброса как функции основных влияющих факторов  $P_{сб} = f(t_2, r_1, \sigma_y)$ . Результат в виде графика, для диаметра ствола в свету 4 м и толщины слоя стали от 0,05 до 0,16, приведен на рис. 3.

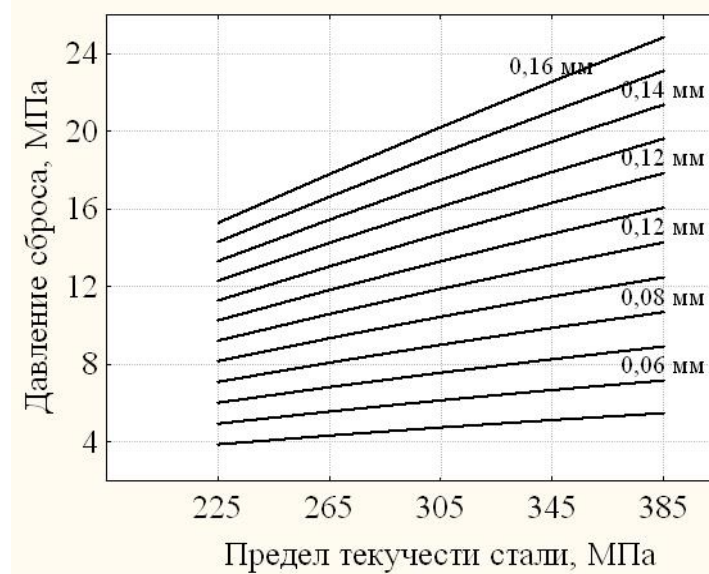


Рисунок 3 – Зависимость давления сброса  $P_{сб}$  от предела текучести стали и толщины стального листа

#### Выводы:

1. Напряжения, возникающие в трехслойной сталебетонной крепи с регулируемым режимом работы, могут быть рассчитаны по методике, используемой для фильтрующей крепи. При этом сброс воды через регулирующие элементы учитывается введением мнимого коэффициента фильтрации металлической обечайки, определяемого по формуле (6).

2. Давление сброса  $P_{сб}$ , используемое для расчета мнимого коэффициента фильтрации стальной обечайки, определяется как функция  $P_{сб} = f(t_2, r_1, \sigma_y)$  по разработанным графикам (см. рис. 3).

3. Величины давлений на 1-3-й слои предлагаемой конструкции крепи находятся по формулам (2), (4), (5).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Страданченко С.Г., Масленников С.А., Шинкарь Д.И. Конструкция гидроизолирующей сталебетонной крепи вертикальных стволов с регулируемым режимом работы // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – Екатеринбург, 2010 - №2, с. 29 – 32.
2. Пат. 2433269 РФ, МПК E21 D Конструкция крепи вертикальных стволов с регулируемым режимом работы / Страданченко С.Г., Масленников С.А., Шинкарь Д.И. – Оpubл. 10.11.2011.
3. СНиП 2.94-80. Подземные горные выработки/Государственный комитет СССР по делам строительства. – М.: Стройиздат. 1982. – 30 с.
4. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах: Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1989. - 270 с.
5. Хартман К., Лецкий Э., Шеффер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. М.: Мир. – 1977. – 552 с.