

УДК. 622.258.3.

С.Г. Странченко, М.С. Плешко

**ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК,
ПЕРЕДАВАЕМЫХ ЖЕСТКОЙ АРМИРОВКОЙ,
НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ
БЕТОННОЙ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТВОЛА**

Выполнено исследование напряженно-деформированного состояния бетонной крепи в зоне контакта с армировкой при совместном действии постоянных и кратковременных нагрузок. Установлено, что при проектировании крепи стволов с высокой интенсивностью подъема необходим учет динамических воздействий, передаваемых армировкой, для более точного проектирования параметров крепи.

Ключевые слова: армировка, анкерный способ крепления, вертикальный ствол, напряжение крепи.

Семинар № 4

S.G. Stradanchenko, M.S. Pleshko
**THE INFLUENCE OF THE
DYNAMICAL STRESS CAUSED BY
THE FIRM ARMOUR ON THE
STRAIN-STRESS STATE OF THE
CONCRETE SUPPORT OF THE
VERTICAL SHAFT**

The study on strain-stress state of the concrete supporting the zone of the armour contact during the combined action of permanent and short-termed stresses is conducted. The studies have shown that the dynamic stresses should be considered in the first place when designing shift casing with the high rate of rise; this will allow to define the shaft parameters more precisely.

Key words: armour, anchoring, vertical shift, shaft stress.

Глубина разработки месторождений полезных ископаемых в России перешагнула 1500 м отметку, а за рубежом в настоящее время достигает 2500 - 3000 м и продолжают увеличиваться. Их вскрытие осуществляется вертикальнымистволами, оборудованными подъемными сосудами различного назначения.

Основными характеристиками подъема вертикального ствола является мас-

са груженого подъемного сосуда, т и скорость его движения, V, определяющие интенсивность подъема ($m \cdot V^2$).

Действующими нормативными документами скорость движения клетей в нашей стране ограничивается величиной 12 м/с, скипов – 16 м/с. Уже при таких скоростях интенсивность подъема может составлять 10 мДж и более. С увеличением глубины стволов следует ожидать дальнейшего повышения интенсивности подъема, о чем свидетельствует в частности опыт ЮАР, где скорость движения подъемных сосудов уже достигла 20 м/с. [1].

Для обеспечения направленного безопасного движения подъемных судов при заданных режимах работы подъемных установок предназначена армировка, представляющая собой пространственную конструкцию, размещенную по всей глубине ствола.

В нашей стране наибольшее применение нашла жесткая металлическая армировка, несущие элементы которой (расстрелы, консоли, кронштейны и др.) непосредственно закреплены в стенках ствола, при этом в последнее время

Рис. 1. Фрагмент численной модели участка ствола с несущим элементом армировки

все более широко используется анкерный способ крепления.

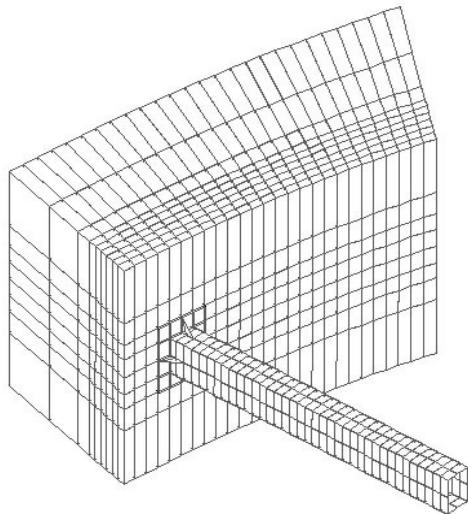
В результате движения по стволу подъемных сосудов несущие элементы армировки передают на крепь ствола в месте контакта комплекс воздействий, который при проектировании параметров крепи не учитывается. Данное обстоятельство, в силу отмеченного выше постоянного роста интенсивности подъема, может привести к ошибкам в проектировании.

Рассмотрение совместной работы крепи и армировки как взаимовлияющей системы с помощью аналитических методов не представляется возможным. В связи с этим прибегнем к численным математическим методам. В настоящее время при решении задач геомеханики наибольшее распространение получил метод конечных элементов.

Авторами с помощью программного комплекса Лира 9.0 разработана и исследована численная модель, представляющая объемный участок породного массива с пройденным и закрепленным монолитной бетонной крепью стволом и установленным несущим элементом армировки (рис. 1).

Крепь и породный массив разбивались на объемные конечные элементы (КЭ) в виде универсального пространственного изопараметрического восьмиузлового КЭ, предназначенного для определения напряженно-деформированного состояния континуальных объектов и массивных пространственных конструкций.

Несущие элементы армировки разбивались на КЭ типа изгибаемых пластин, анкера крепления несущего элемента моделировались в виде



стержневых КЭ, жестко связанных с КЭ крепи ствола.

Для проведения расчетов была сформирована таблица расчетных сочетаний усилий (РСУ), позволяющая исследовать комплексное влияние нагрузок на крепь и армировку. Все нагрузки были разделены на постоянные и кратковременные. К постоянным нагрузкам отнесены собственный вес элементов и нагрузка на крепь со стороны породного массива, определенная по методике [2].

К кратковременным нагрузкам отнесены динамические воздействия со стороны подъемного сосуда, которые разбивались на боковую и лобовую составляющую и определялись согласно [3] по формуле

$$P^{n(6)} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot \delta_n \cdot \kappa_p^2 \cdot (m \cdot V^2)}{h^2} \cdot n^{n(6)},$$

где δ_n – зазор на сторону между рабочими или предохранительными направляющими скольжения и проводником; κ_p – коэффициент влияния типа рабочих направляющих подъемного сосуда; h – шаг армировки, м; $n^{n(6)}$ – коэффициент, учитывающий эксцентриситет центра масс груженого

го сосуда, относительного искривления проводников, и др.

Суммарные усилия от динамических воздействий определялись из выражения

$$N = \sqrt{\sum_{i=1}^{kf} N_i^2},$$

где N_i – обобщенное усилие от i -той формы колебаний; kf – учитываемое количество форм колебаний.

В результате выполнения расчетов определялись все компоненты тензора напряжений, по которым вычислялись главные напряжения, а также эквивалентные напряжения в бетонной крепи в соответствии с теорией прочности О. Мора:

$$\sigma_3 = \sigma_1 - \chi \cdot \sigma_3; \sigma_s = \lambda \cdot \sigma_1 - \sigma_3,$$

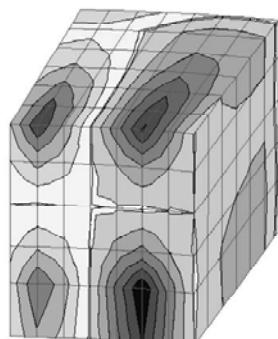
$$\text{где } \chi = \sigma_0^+ / \sigma_0^-; \lambda = 1 / \sigma_0^-,$$

здесь σ_0^+ – предельное напряжение при одноосном растяжении; σ_0^- – то же, при сжатии.

При определении эквивалентных напряжений в бетонной крепи значения σ_0^+ и σ_0^- принимались равными соответствующим расчетным характеристикам бетона R_{bt} и R_b .

Также определялся параметр Лоде-Надаи, характеризующий вид НДС

$$\mu = 2 \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} - 1.$$



Главные и эквивалентные напряжения в крепи определились при действии на крепь только постоянных нагрузок (собственный вес и горное давление), σ_n , а также при совместном действии постоянных и кратковременных нагрузок, передаваемых движущимся подъемным сосудом, $\sigma_{n,kp}$.

Проведенные исследования показали, что нагрузки, передаваемые армировкой, существенно изменяют НДС крепи ствола в зоне контакта с анкерами узла крепления в рассматриваемый момент времени. В результате их действия в бетоне крепи вокруг анкеров возникают контактирующие друг с другом зоны объемного растяжения и сжатия (рис. 2) в соответствии с полученными значениями параметра Лоде-Надаи. При этом в зависимости от формы колебаний подъемного сосуда, обуславливающей направление динамических нагрузок, участки растяжения и сжатия могут сменять друг друга. Из опыта эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций известно о негативном влиянии таких воздействий на долговечность конструкции.

Для оценки комплексного влияния динамических нагрузок, передаваемых армировкой, на крепь ствола был определен параметр K_{otn} при различной интенсивности подъема

$$K_{otn} = \frac{\sigma_{n,kp}}{\sigma_n}.$$

На рис. 4 представлены значения параметра K_{otn} в монолитной бетонной крепи ствола в точке крепления узла консольно-распорной армировки на глубине 500 м.

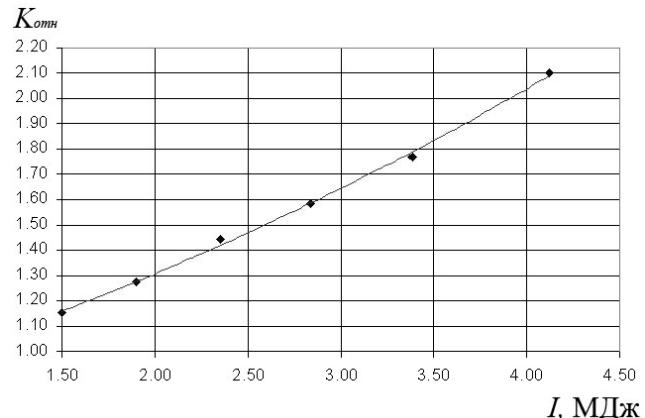
Рис. 2. Изополя нормальных радиальных напряжений в крепи в месте крепления несущего элемента армировки

Рис. 4. Зависимость $K_{отн}$ от интенсивности подъемного сосуда

Толщина крепи 300 мм, класс бетона В20. Вмещающие породы – песчаники, модуль упругости $E=15 \cdot 10^3$ МПа, коэффициент Пуассона $v=0,3$. Полученные данные аппроксимируются приведенной ниже зависимостью, с величиной достоверности аппроксимации $R^2=0,998$

$$K_{отн}=0,0276(mV)^2 + 0,2I + 0,7963.$$

Аналогичные данные были получены при исследовании других конструкций армировки и варьировании физико-механических свойств крепи и пород, на основании анализа которых установлено, что величина напряжений в крепи ствола, вызванных влиянием армировки, является функцией интенсивности подъема и при ее увеличении возрастает по параболической зависимости. При этом степень влияния армировки на крепь, характеризуемое параметром $K_{отн}$, зависит от соотношения между величиной кратковременных нагрузок, передаваемых подъемным сосудом, и величиной горного давления на



крепь. Наиболее сильно влияние армировки на НДС крепи ствола проявляется при консольной конструкции яруса и небольших значениях горного давления. В этом случае величина параметра $K_{отн}$ может достигать значений $K_{отн}=2,4 - 2,7$ и более.

В целом, проведенные исследования показали, что крепь в зоне контакта с армировкой эксплуатируется в значительно более сложных условиях, чем на обычных участках ствола, и при высокой интенсивности подъема необходим учет кратковременных динамических воздействий. Это позволит более точно определять параметры крепи в местах контакта с армировкой и повысит долговечность совместной работы конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сыркин П.С., Ягодкин Ф.И., Мартыненко И.А., Нечаенко В.И. Технология строительства вертикальных стволов. – М.: Недра, 1997. – 456 с.

2. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. Учеб. для вузов. – М.: Недра. – 1994. – 382 с.

Инструкция по проектированию и монтажу армировки вертикальных стволов шахт с креплением элементов армировки на анкерах РД. 12.18.089 – 90 / Харьков: ВНИИОМШС, 1990. – 83 с.

ГИАБ

Коротко об авторах

Страданченко С.Г. – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, директор,
Плешко М.С. – кандидат технических наук, доцент,
Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института), siurgtu@siurgtu.ru