© А.Ю. Прокопов, С.А. Пшеничнов, А.Н. Новиков, 2007

УДК 622.258.3

А.Ю. Прокопов, С.А. Пшеничнов, А.Н. Новиков

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ СХЕМ И КОНСТРУКЦИЙ ЖЕСТКОЙ АРМИРОВКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Семинар № 14

В настоящее время при строительстве вертикальных стволов наибольшее распространение получила жесткая многорасстрельная армировка, которая в ряде случаев не соответствуют современному уровню технологии строительства и эксплуатации шахт, поскольку обладает рядом существенных недостатков, к основным из которых относятся:

– большая трудоемкость изготовления, монтажа и антикоррозионной защиты;

– высокая металлоемкость (50-200 т на 100 м ствола);

– многодетальность (более 20 позиций монтажных элементов в одном ярусе);

– большое аэродинамическое сопротивление (30-50 % сопротивления всей сети горных выработок приходится на стволы);

– переменная податливость элементов по глубине.

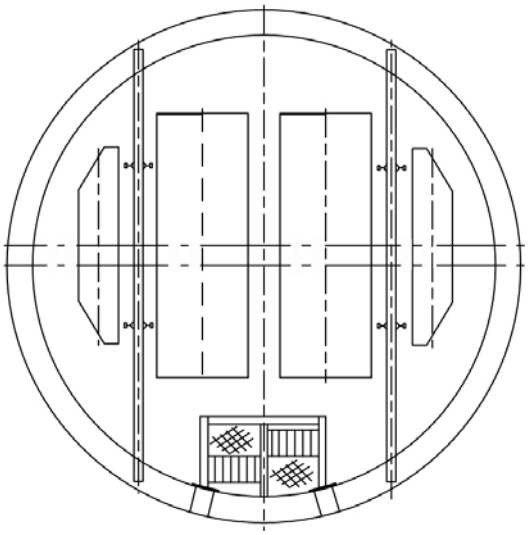
Это приводит к тому, что при трудоемкости армирования в 6-10 раз меньшей, чем остальное сооружение ствола, затраты времени на армирование занимают иногда до 20 % от продолжительности строительства [1].

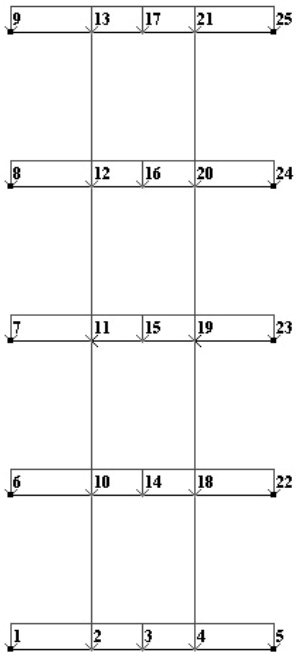
Одним из направлений усовершенствования схем и конструкций армировки с целью устранения указанных недостатков является создание безрасстрельных схем, отличающихся более высокими технико-экономическими показателями. Применение в этих схемах консольных, консольно-распорных или блочных расстрелов позволяет увеличить жесткость армировки, сократить расход металла и трудоемкость работ, снизить аэродинамическое сопротивление ствола, а также создает возможность для спуска крупногабаритных грузов и ведения армирования в процессе проходки ствола [2].

Для анализа эффективности применения существующих схем была построена и исследована конечно-элементная модель типовой армировки. В качестве исходной была принята схема К-2 из типового ряда сечений вертикальных стволов, разработанного Южгипрошахтом [3] (рис. 1, *а*).

На модели (рис. 1, *б*), включающей 5 связанных между собой ярусов армировки, рассматривается нагружение среднего (третьего) яруса в момент передачи на него силовых воздействий от движущегося подъемного сосуда, кроме того, к модели приложена нагрузка от собственного веса армировки.

В результате моделирования с помощью программно-вычислительного комплекса «Лира-Windows 9.0», реализующего метод конечных элементов, был произведен расчет смещений узлов, силовых факторов и напряжений в элементах и опорных реакций,





а) *б*)

Рис. 1. Типовая схема армировки К-2: *а* – поперечное сечение ствола; *б* – конечно-элементная модель

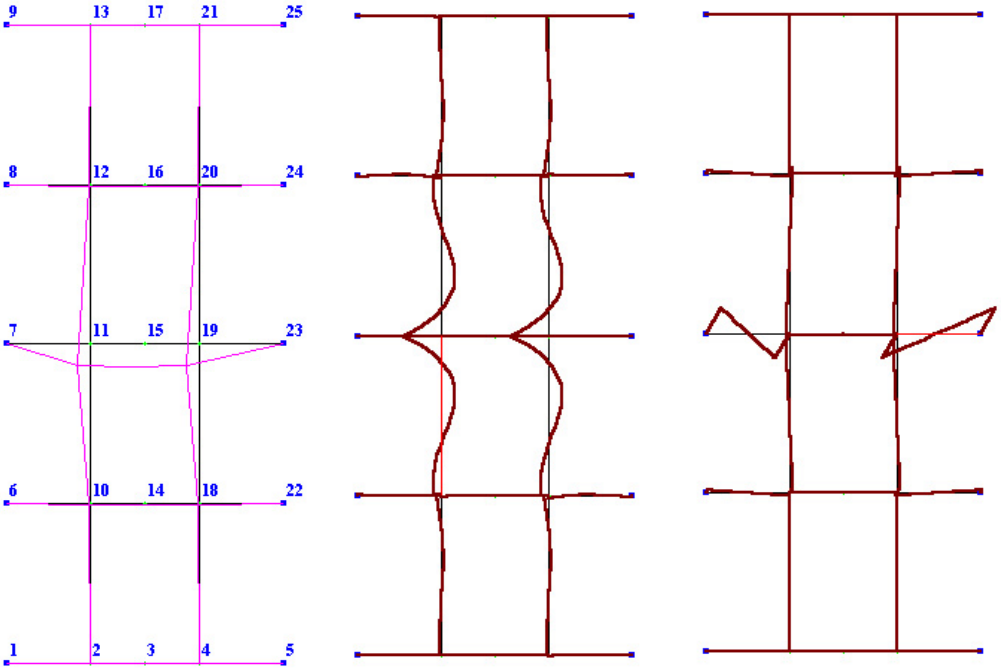


Рис. 2. Результаты моделирования типовой схемы армировки: а – совмещенные исходная и деформированная схемы; б – эпюра моментов M_y; в – эпюра моментов M_z

возникающих под воздействием реальных нагрузок на армировку. На рис. 2 показаны совмещенные исходная и деформированная схема (рис. 2, *а*), эпюры моментов M_y (рис. 2, *б*) и моментов M_z (рис. 2, *в*), возникающих в элементах армировки.

Для сравнения с типовой схемой и оценки жесткости безрасстрельных армировок и исследования возникающих под действием внешних нагрузок напряжений и деформаций элементов армировки были разработаны прос-транственные конечно-элементные модели консольной (рис. 3), консольно-распорной (рис. 4) и блочной П-образной армировки (рис. 5).

Расчеты параметров консольных армировок с расположением на консоли двух проводников свидетельствуют о том, что смещения отдельных узлов значительно превышают допустимые для рельсовых проводников (15 мм) даже при минимально возможной длине консоли, поэтому проектирование такой армировки нецелесообразно. Расположение на конце консоли одного проводника обеспечивает нормальную работоспособность конструкции при ограниченной длине консоли, которая составляет 800–2200 мм (в зависимости от шага армировки) при невысокой интенсивности подъема (до $1{,}5 \cdot 10^6$ Дж) и 400-600 мм – при ин-тенсивности до $5 \cdot 10^6$ Дж.

Расчеты показали, что при проектировании консольно-распорных армиировок соответствующим выбором профилей консолей и проводников можно добиться необходимых жесткостных параметров, позволяющих обеспечить требуемый режим работы армировки даже при высокой интен-сивности клетевого подъема ($5 \div 6 \cdot 10^6$ Дж), при этом на каждую консоль с распором может крепиться один или два проводника.

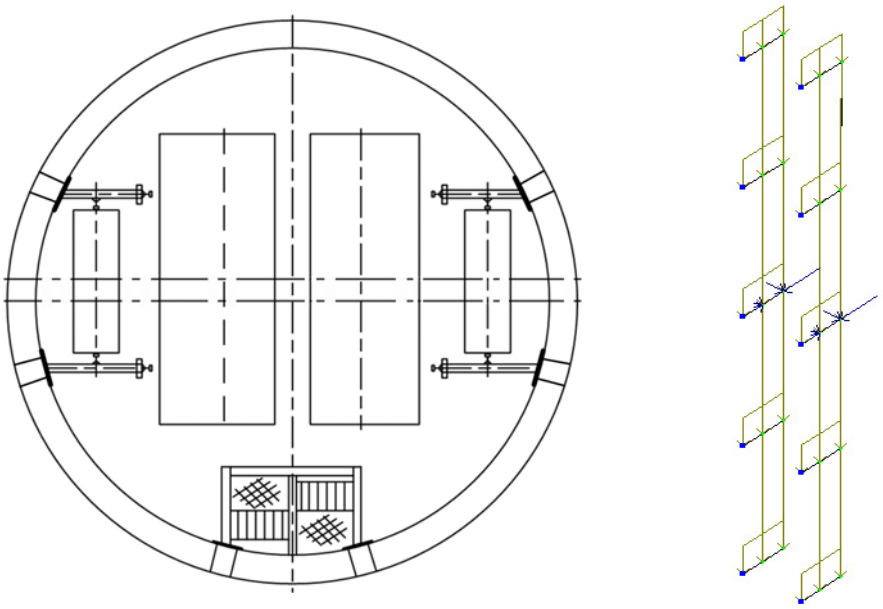
Для консольных армировок были определены максимально возможные длины консолей в зависимости от интенсивности подъема, типа проводников и шага армировки (табл. 1 и 2). При необходимости превышения найденных значений длин одинарных консолей целесообразно проектировать консольно-распорные армировки, обеспечивающие безопасность клетевого подъема с высокой интенсивностью.

Для подъемов клетевых и скиповых стволов с интенсивностью более 5·106 Дж при использовании рельсовых проводников и более 1·107 при использовании коробчатых проводников целесообразно применение консольно-распорных армировок.

В настоящее время наметилась тенденция к увеличению массы и скоростей подъемных сосудов. В связи с этим увеличиваются интенсивность подъема и действующие на армировку боковые и лобовые нагрузки [4]. Кроме того, при больших скоростях движения сосудов в результате отклонения проводников от вертикального положения и неточности стыков проводников увеличивается вертикальная составляющая нагрузки на армировку, которая при малой и средней интенсивностях подъема не учитывается. Это приводит к необходимости проектирования армировок с распором не только в горизонтальной, но и вертикальной плоскости. Это требование обеспечивается применением блочных армировок П-образной или других форм.

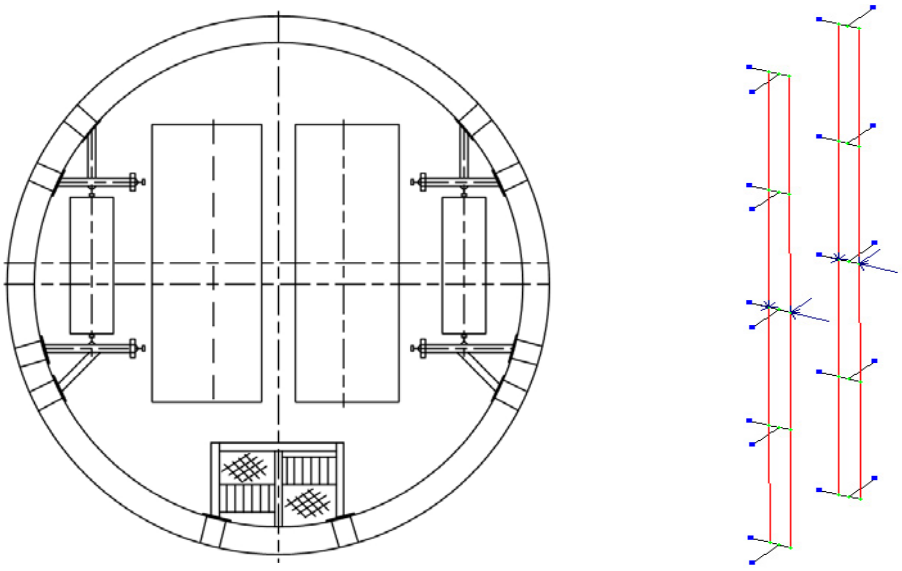
Графическая интерпретация результатов расчета П-образной армировки приведена на рис. 6.

Исследование таких армировок на конечно-элементных моделях доказывает их высокую несущую способность и возможность применения в



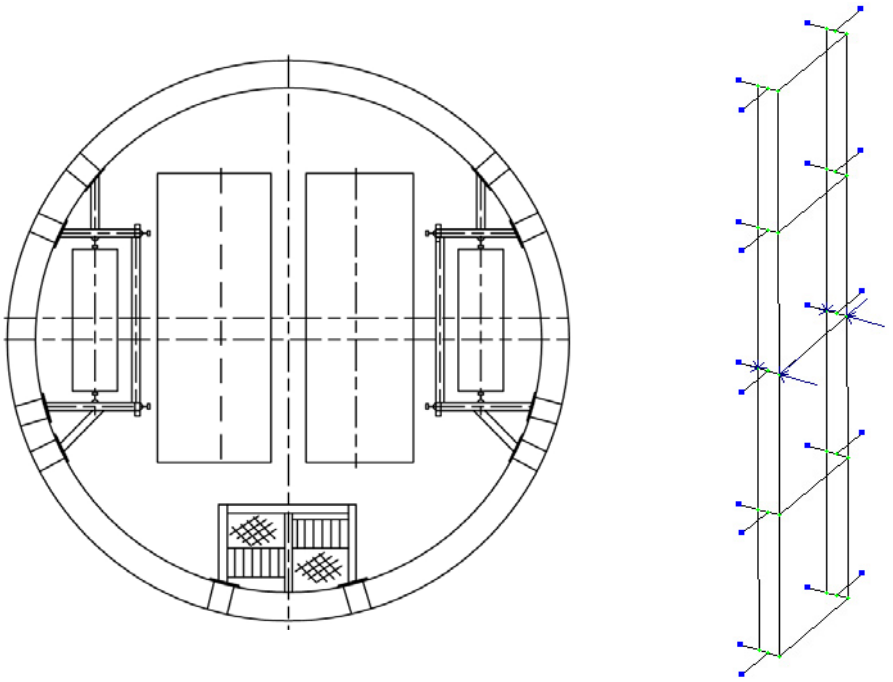
***а*)** ***б*)**

Рис. 3. Консольная армировка: *а* – поперечное сечение ствола; *б* – конечно-элементная модель



а) *б*)

Рис. 4. Консольно-распорная армировка: *а* – поперечное сечение ствола; *б* – конечно-элементная модель (нагрузка от собственного веса условно не показана)



а) *б*)

Рис. 5. П-образная блочная армировка: *а* – поперечное сечение ствола; *б* – конечно-элементная модель

скиповых стволах с интенсивностью подъема до $4 \cdot 10^7$ Дж.

Сравнение рассмотренных типовых и безрасстрельных схем армировки позволяет сделать следующие выводы:

– типовые многорасстрельные армировки с центральными или хордальными расстрелами имеют неоправданно завышенную металлоемкость, которая не всегда обеспечивает требуемую жесткость и несущую способность вследствие большой длины балок и возникающих вследствие этого высоких изгибающих моментов;

Таблица 1

Допустимые длины консолей при проектировании чисто консольных армировок (для рельсовых проводников)

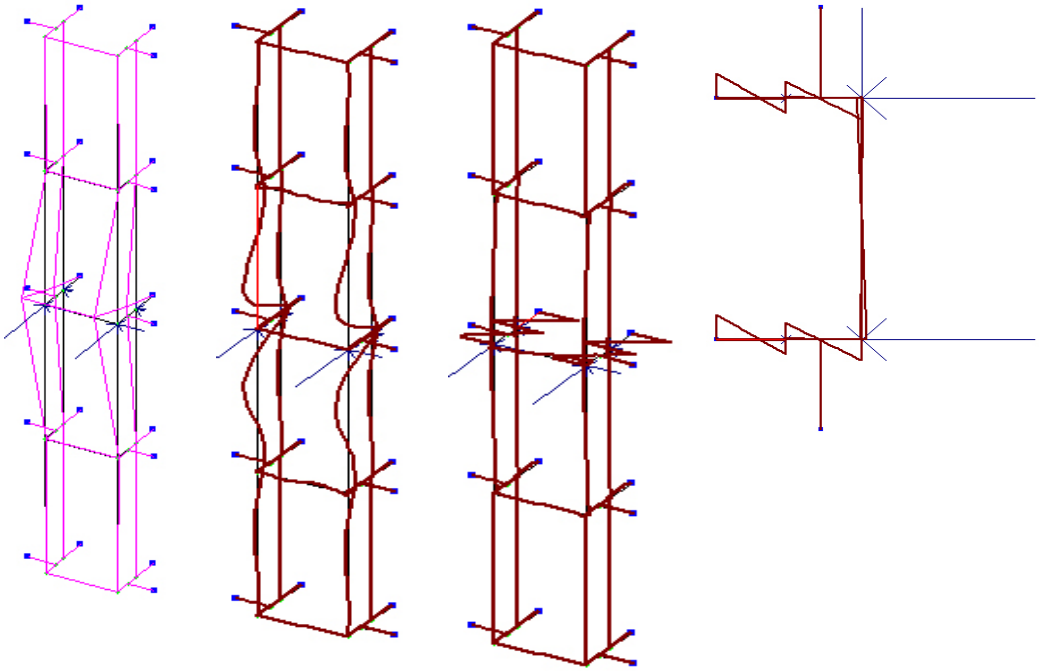
Интенсивность подъема, Дж	**Максимально допустимая длина консоли, мм при шаге армировки, м**			
	2 - 3	**3 - 4**	**4 - 5**	**> 5**
$\leq 1 \cdot 10^6$	400	440	500	600
$1 \cdot 10^6 \div 1{,}44 \cdot 10^6$	**консольно - распорная армировка**	350	400	490
$1{,}45 \cdot 10^6 \div 1{,}73 \cdot 10^6$			350	440
$1{,}74 \cdot 10^6 \div 2{,}16 \cdot 10^6$				380
$2{,}16 \cdot – 5 \cdot 10^6$				

Таблица 2

Допустимые длины консолей при проектировании чисто консольных армировок (для коробчатых проводников)

Интенсивность подъема, Дж	**Максимально допустимая длина консоли, мм при шаге армировки, м**			
	2 - 3	**3 - 4**	**4 - 5**	**> 5**
$\leq 1\cdot 10^6$	не ограничена	2200	1500	1100
$1\cdot10^6 \div 1{,}44\cdot 10^6$	1000	1200	1000	900
$1{,}45\cdot10^6 \div 1{,}73\cdot10^6$	600	800	750	750
$1{,}74\cdot10^6 \div 2{,}16\cdot10^6$	450	600	600	650
$2{,}17\cdot10^6 \div 2{,}88\cdot10^6$	350	500	500	550
$2{,}89\cdot10^6 \div 3{,}6\cdot 10^6$	**консольно -**	420	430	460
$3{,}61\cdot10^6 \div 4{,}32\cdot10^6$		350	370	410
$4{,}33\cdot10^6 \div 5{,}04\cdot10^6$		**распорная**		380
$5{,}04\cdot10^6 – 1\cdot10^7$		**армировка**		

– конструкции, используемые для безрасстрельных схем, позволяют снизить металлоемкость конструкции: для консольных схем – на 16 %, для консольно-распорных – на 5 % (применительно к схеме К-2), при этом увеличить



а *б* *в* *г*

Рис. 6. Графическая интерпретация результатов расчета П-образной блочной армировки: а – совмещенные исходная и деформированная схема; *б* – эпюра моментов M_y; *в* – эпюра моментов M_z (аксонометрия); *г* – эпюра моментов M_z (план)

жесткость армировки и снизить величину изгибающих моментов, а следовательно и напряжений в конструкции, для проводников – на 25 %, для расстрелов – на 32 %;

– для более металлоемких типовых схем (К-3, К-4, К-5 и др.) снижение металлоемкости в результате внедрения безрасстрельных схем будет более существенным и составит: для консольных схем 27-37 %, для консольно-распорных – 21-31 %, при сохранении или улучшении жесткостных характеристик армировки;

– применение консольных армировок ограничивается максимальной длиной консоли, которая может составлять 800–2200 мм (в зависимости от шага армировки) при невысокой интенсивности подъема (до 1,5·МДж) и 400-600 мм – при интенсивности до 5 МДж;

– консольно-распорные конструкции армировки, отличающиеся значительно большей жесткостью в горизонтальной плоскости, могут использоваться в клетевых стволах с высокой интенсивностью подъема (5-10 МДж);

– П-образные консольно-распорные и блочные армировки (с вертикальными распорами) имеют перспективу применения в скиповых стволах, которые будут оснащаться большегрузными скипами (массой свыше 50 т) и рассчитываться на скорость движения 16 м/с и выше), т.е. при интенсивности подъема 10-40 МДж.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Прокопов А.Ю., Страданченко С.Г., Плешко М.С.* Новые решения в проектировании жесткой армировки вертикальных стволов/ Под общ. ред. А.Ю. Прокопова. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2005. – 216 с.
2. *Ягодкин Ф.И., Прокопов А.Ю., Мирошниченко М.А.* Анализ развития конструктивных и технологических решений жесткой армировки вертикальных стволов// Горный информационно-аналитический бюллетень – М.: МГГУ, 2004. – №10. – С. 235-238.
3. *Типовые* материалы для проектирования 401-011-87-89. Сечения и армировка вертикальных стволов с жесткими проводниками. – Харьков: Южгипрошахт, 1989.
4. *Прокопов А.Ю.* Современные требования к проектированию и направления совершенствования армировок шахтных стволов// Материалы международной научно-практической конференции «Уголь – Mining Technologies 2003», посвященной 60-летию ГОАО «Луганскгипрошахт»/ Под ред. В.Н. Окалелова. – Алчевск: ДГМИ, 2003. – С. 140–148.

Коротко об авторах

Прокопов Альберт Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора Шахтинского института Южно-Российского государственного технического университета по образовательной и научной деятельности, г. Шахты,

Пшеничнов Сергей Анатольевич, Новиков Александр Николаевич – студенты 5-го курса кафедры «Подземное, промышленное, гражданское строительство и строительные материалы» Шахтинского института ЮРГТУ(НПИ) г. Шахты.