

УДК 622.258.3

А.Ю. Прокопов, М.В. Прокопова

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРМИРОВКИ ГЛУБОКИХ
ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ НА ОСНОВЕ
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
СИСТЕМЫ «ПОДЪЕМНЫЙ СОСУД — АРМИРОВКА —
СТВОЛ»**

Выявлены закономерности функционирования системы «подъемный сосуд — армировка — ствол». Разработаны рекомендации по выбору конструктивных и технологических параметров армировки глубоких вертикальных стволов с учетом внешних воздействий среды.

Ключевые слова: армировка, горно-геологические условия, воздухоподающий ствол, вентиляционная скважина.

Энергетической стратегией Российской Федерации до 2020 г. предусмотрен рост добычи угля до 430 млн. т в год. Это невозможно без строительства новых и реконструкции действующих угольных шахт. Введение в эксплуатацию новых производственных мощностей связано с увеличением глубины разработки и ухудшением горно-геологических условий, что в свою очередь сказывается на технологии сооружения, способах поддержания вертикальных стволов, а также степени воздействия неблагоприятных факторов на крепь и жесткую армировку.

Армировка оказывает существенное влияние на определение диаметра ствола, его стоимости, сроков строительства, а также на производительность, надежность и экономичность работы подъемных установок. Еще большую актуальность приобретает задача выбора рациональных схем и конструкций армировки стволов, пройденных в сложных горно- и гидрогеологических условиях и до больших глубин. В этом случае крепь и армировка воспринимают значи-

тельные и изменяющиеся во времени климатические, физико-химические воздействия, а также нагрузки со стороны породного массива, что должно учитываться как при проектировании строительства, так и при эксплуатации ствола.

При увеличении глубины разработки для сохранения и повышения производственной мощности шахты необходимо увеличивать интенсивность подъема, т.е. повышать скорость движения и грузоподъемность скипов. В настоящее время в России эксплуатируются подъемы со скоростью движения скипов до 12—14 м/с и концевой нагрузкой до 60 т. Специалистами прогнозируется рост скоростей до 20 м/с и масс груженых скипов до 100 т, при этом интенсивность подъема увеличится до 40 МДж, т.е. в 3,5 — 4,5 раза. Это приведет к существенному увеличению как основных, так и ряда дополнительных нагрузок на жесткую армировку, что потребует новых подходов в принятии конструктивных и технологических решений по армированию стволов.

Проведенный анализ состояния вертикальных стволов шахт Российского и Украинского Донбасса свидетельствует о том, что более 70 % глубоких стволов, эксплуатируемых в сложных горно- и гидрогеологических условиях, имеют существенные нарушения крепи и жесткой армировки.

При эксплуатации высокоинтенсивных подъемов в сложных условиях и на больших глубинах затраты на ремонт и замену жесткой армировки составляют 30—40 % от стоимости сооружения ствола (без учета потерь от снижения производственной мощности шахты в этот период). Поэтому одним из направлений снижения затрат на строительство и эксплуатацию глубоких шахтных стволов является применение усовершенствованных конструкций или принципиально новых технических решений по армированию, принимаемых с учетом ряда дополнительных нагрузок и воздействий. Это позволит выбирать рациональные схемы армировки; предусматривать конструкции, максимально адаптированные к конкретным условиям эксплуатации и обеспечивающие при необходимости податливость или регулируемость положения расстрелов, антикоррозионную защиту армировки, защиту от экстремальных температурных нагрузок (сезонных перепадов температур); учитывать прогнозируемые технологические отклонения крепи от проектного положения, увеличивающиеся с глубиной, и др.

Для увеличения допустимых скоростей подъема и конечных нагрузок необходимо увеличить среднюю жесткость армировки и значительно снизить ее периодическое изменение. В этой связи возможны два направления в развитии схем конструкций жесткой армировки:

- увеличение жесткости применяемых профилей для проводников и

расстрелов при сохранении традиционных конструкций ярусом;

- разработка принципиально новых конструктивных решений.

Во второй половине минувшего столетия в горнодобывающей промышленности было реализовано первое направление: замена рельсовых проводников и двутавровых расстрелов коробчатыми профилями. Исследования и практика показала, что развитие этого направления при увеличении интенсивности работы подъема более 6 МДж нецелесообразно.

Второе направление включает в себя переход к новым схемам и конструкциям жесткой армировки: консольным и консольно-распорным, блочным, комбинированным, с переменным шагом армировки, с системой проводников с одинаковой податливостью, с креплением элементов армировки на анкерах и др.

Современный уровень научных и инженерно-технических знаний в области проектирования армировки вертикальных стволов и передовой опыт технологии армирования стволов накоплен в результате работ, исследований и внедрений, проведенных крупными отечественными учеными и инженерами. Существенный вклад в создание нормативной документации по проектированию и монтажу жесткой армировки вертикальных стволов в 70—90-х гг. XX в. внесены работами ученых и специалистов МГИ, ДПИ, а также ведущих научно-исследовательских и проектных организаций: ВНИИГМ им. Федорова, ВНИИОМШС, Южгипрошахт, НИГРИ, Кривбасспроект, Гипроцветмет и др. В частности, исследованиям взаимодействия в системе «подъемный сосуд — армировка», вопросам методики проектирования армировки вертикальных стволов посвящены труды И.В. Баклашова, В.Н. Борисова, В.Д.

Белого, Г.О. Вестфалья, Н.Г. Гаркуши, В.И. Дворникова, Ю.Г. Крупника, В.К. Куриленко, В.В. Филатова, А.А. Храмова, Ф.И. Ягодкина и др. Труды этих ученых были положены в основу Методики расчета жесткой армировки вертикальных стволов [1] и Пособия по проектированию и монтажу жесткой армировки вертикальных стволов шахт и рудников [2], которые в течение многих лет обеспечивали высокую эксплуатационную надежность и технико-экономическую эффективность проектируемых армировок.

Однако, в вышеуказанных работах, проектирование схем и конструкций жесткой армировки рассмотрено без учета целого ряда дополнительных нагрузок и воздействий, характерных для глубоких стволов с высокой интенсивностью подъема. К таким нагрузкам относятся кориолисова сила инерции, аэродинамические силы в стволе, нагрузки вследствие кручения подъемных канатов, одновременного влияния эксцентриситета загрузки скипов и неперпендикулярности проводников, вертикальные нагрузки вследствие действия диссипативных сил и отклонений движения подъемных сосудов от вертикали, удары на стыках проводников и др.

Кроме перечисленных нагрузок, армировка часто испытывает климатические, горно-геологические, физико-химические и др. воздействия, степень влияния которых на параметры напряженно-деформированного состояния армировки, ее работоспособность и долговечность изучена недостаточно.

Таким образом, положенная в основу действующей нормативной базы динамическая система «подъемный сосуд — армировка» полностью не учитывает всех дополнительных нагрузок и внешних воздействий на армировку, характерных для глубоких стволов с высокой интенсивностью

подъема. Для более адекватной оценки работоспособности жесткой армировки авторами предлагается изучить закономерности функционирования новой системы: **«подъемный сосуд — армировка — ствол»**, которая позволит комплексно учитывать все нагрузки и воздействия при расчете и конструировании армировки.

Комплексный учет особенностей функционирования системы «подъемный сосуд — армировка — ствол» на больших глубинах и при высокой интенсивности подъема позволит минимизировать отрицательные воздействия внешней среды и нагрузки на жесткую армировку посредством рационализации конструктивных и технологических решений по армированию стволов на стадиях проектирования и сооружения.

С целью выявления особенностей функционирования геотехнической системы «подъемный сосуд — армировка — ствол» и их влияния на выбор конструктивных и технологических решений по армированию глубоких стволов авторами выполнен комплекс исследований, включающий:

- системный анализ современного состояния вопросов проектирования и эксплуатации армировки глубоких вертикальных стволов;
- натурные наблюдения за состоянием крепи и армировки и сезонными изменениями климатических параметров шахтных стволов Донбасса;
- экспериментальные исследования скорости коррозии в элементах армировки методом ускоренных коррозионных испытаний;
- статистический анализ отклонений крепи и армировки стволов от проектного положения на различных глубинах;
- математическое моделирование напряженно-деформированного состояния армировки с использованием

современных программно-вычислительных комплексов;

- опытно-промышленную проверку результатов исследований.

На основе выполненных исследований были сделаны следующие выводы и разработаны рекомендации по выбору технологических и конструктивных решений жесткой армировки глубоких вертикальных стволов:

1. Конструктивные и технологические параметры жесткой армировки глубоких вертикальных стволов должны определяться закономерностями функционирования системы «подъемный сосуд — армировка — ствол», основанными как на динамическом взаимодействии сосудов и жесткой армировки, так и на воздействиях внешней среды, обусловленных горно-геологическими, физико-химическими и климатическими факторами.

2. С увеличением интенсивности подъема в глубоких стволах возрастают дополнительные лобовые и боковые эксплуатационные нагрузки на жесткую армировку, действующие в горизонтальной плоскости и возникающие вследствие действия кориолисовой силы инерции, аэродинамических сил в местах встречи подъемных сосудов, кручения подъемных канатов, неточности стыков проводников, эксцентриситета загрузки подъемных сосудов и их допустимого отклонения от вертикали, учет которых влияет на конструирование армировки.

3. Направляющие устройства подъемных сосудов, конструктивные и технологические параметры жесткой армировки должны выбираться с учетом диссипативных сил, действующих на проводники в вертикальной плоскости, при этом силы трения скольжения (качения) являются линейной функцией интенсивности подъема.

4. Технологические и эксплуатационные параметры армировки глу-

боких вертикальных стволов (глубина заделки расстрела (консоли) в крепь, величина продольной регулируемости или податливости расстрела, параметры анкерных узлов крепления и др.) должны определяться с учетом прогнозируемого радиального отклонения крепи ствола от проектного положения, обусловленного горно-геологическими и технологическими факторами и нелинейно зависящего от глубины и диаметра ствола.

5. Конструктивные и технологические параметры жесткой армировки воздухоподающих стволов с анкерным креплением расстрелов (количество, диаметр и длина анкеров, типоразмер профилей расстрелов, зазоры на стыках проводников, наличие узлов податливости, схема армировки и др.) должны определяться с учетом температурных климатических воздействий, максимальная глубина влияния которых определяется схемой яруса и конструкцией узла крепления расстрелов и колеблется от 100 до 800 м.

6. Оценка долговечности жесткой армировки и выбор антикоррозийных покрытий должны производиться на основе расчета скорости коррозии профилей, которая определяется в зависимости от минерализации шахтных вод и скорости вентиляционной струи, с помощью уравнения поверхности 2-го порядка общего вида, с учетом напряжений, действующих в элементах армировки.

7. Учет горно-геологических воздействий на армировку должен осуществляться для глубоких стволов, эксплуатируемых в породах II категории устойчивости и выше, путем введения поправочного коэффициента к расчетному эквивалентному напряжению в элементах армировки, зависящего от глубины ствола, шага армировки, скорости и массы подъемного сосуда.

Результаты проведенных исследований были использованы и внедрены НТЦ «Наука и практика» и Шахтинским институтом ЮРГТУ(НПИ) при разработке:

- рабочей документации жесткой армировки вспомогательного и вентиляционного стволов шахты «Обуховская №1» в части определения параметров анкерного крепления расстрелов;

- рабочей документации армирования вспомогательного ствола №4 шахты «Гуковская» в части определения основных параметров комбинированной (расстрельной и безрасстрельной) жесткой армировки стволов с креплением анкерами;

- рабочей документации жесткой армировки клетового ствола «Северо-Восточный» рудника «Дарасунский» в части проектирования параметров жесткой армировки с учетом температурных воздействий и разработки технологии крепления расстрелов в бетонной крепи стволов, позволяющей компенсировать температурные

напряжения и деформации в анкерных узлах крепления;

- проекта реконструкции скипового ствола рудника «Ново-Широкинский» УК «Русдрагмет» в части разработки технологии замены проводников;

- проекта замены армировки в скиповом стволе рудника «Узельгинский» ОАО «Учалинский ГОК» в части расчета основных и дополнительных нагрузок на армировку и разработки технологии переармирования с использованием действующих подъемных сосудов;

- проекта армирования вентиляционной скважины ООО «Сафьяновская медь — Медин» в части расчета нагрузок на армировку и разработки технологии армирования скважины с использованием регулируемых узлов крепления расстрелов.

Результаты исследований использовались также ОАО «Ростовшахтострой» при армировании скипового ствола подземного рудника «Мир» АК «Алроса».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методика* расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт. — ВНИИГМ им. М.М. Федорова. — Донецк, 1985. — 170 с.

2. *Пособие* по проектированию и монтажу жесткой армировки вертикальных

стволов шахт и рудников (к СНиП II-94-80). Гос. ком. СССР по народн. образ., Моск. горн. ин-т / Под ред. И.В. Баклашова. — М.: Недра, 1989. — 160 с. **ИЛД**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Прокопов Альберт Юрьевич — кандидат технических наук, доцент, заместитель директора, e-mail: prokov72@rambler.ru,

Проконова Марина Валентиновна — кандидат технических наук, доцент, Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института).

