

УДК 622.258.004.58

В.Я. Козариз, канд. техн. наук, с.н.с., заместитель директора,
В.И. Чепурной, зав. лабораторией, **С.И. Ляиш**, старший научный сотрудник,
Научно-исследовательский горнорудный институт ГВУЗ «КНУ»

ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТА ПРОГИБОВ ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АРМИРОВКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

Наведено обґрунтування розрахунку прогину тривало експлуатуємих елементів армування вертикальних шахтних стволів

Ключові слова: вертикальні шахтні стволи, елементи армування, лобові та бокові навантаження, корозійний знос.

Приведено обоснование расчета прогибов длительно эксплуатируемых элементов армировки вертикальных шахтных стволов.

Ключевые слова: вертикальные шахтные стволы, элементы армировки, лобовые и боковые нагрузки, коррозионный износ.

Presented the substantiation of calculating deflections long exploited reinforcement elements of vertical shafts.

Keywords: vertical shafts, reinforcement elements, frontal and lateral loads, corrosive wear.

Актуальность работы. Вертикальные шахтные стволы относятся к сооружениям, составляющим основу транспортного комплекса, который связывает подземную часть шахты (рудника) с поверхностью, предназначены для выдачи на поверхность полезного ископаемого и получаемой при проходке горных выработок породы, спуска и подъема людей, транспортировки горно-шахтного оборудования и материалов.

За последние десятилетия достигнут значительный прогресс совершенствования конструкции подъемных машин, канатов, сосудов, подвесных и прицепных устройств, парашютов, систем электропривода, аппаратов защиты и блокировки, сигнализации и связи, армировки стволов, методов неразрушающего контроля и диагностики всего оборудования шахтного подъемного комплекса, что нашло частичное отражение в отдельных информационных изданиях или не освещено вообще.

Несмотря на солидный теоретический фонд и большой научный потенциал горной механики, отсутствие подчиненности общей идее системного подхода, разобщенность имеющихся результатов – все это не дает возможности современному проектировщику и механику-эксплуатационнику получать правильное представление о законченной картине и сложности протекающих динамических процессов, об уровне

динамического нагружения наиболее ответственных узлов и элементов комплекса.

Опыт эксплуатации вертикальных шахтных стволов за длительный период свидетельствует о том, что в результате динамического воздействия подъемных сосудов, а также механического и коррозионного износа, армировка вертикальных шахтных стволов подвергается существенному «старению» с потерей проектных параметров и работоспособности, что, в конечном итоге, приводит к все более возрастающей опасности возникновения аварийных ситуаций с возможной угрозой безопасности перемещения людей и грузов.

Важное место в решении задач, стоящих перед горнодобывающей промышленностью, занимает проблема дальнейшего совершенствования оценки работоспособности и эксплуатационных возможностей длительно эксплуатируемых элементов армировки вертикальных шахтных стволов, а именно, расчета прогибов элементов армировки.

Изложение основного материала и результаты. Расчетные схемы для определения прогибов длительно эксплуатируемых элементов армировки вертикальных шахтных стволов представлены на рис.1. Расчетные схемы представляют собой систему балок жестко соединенных в узлах. Каждую систему удобнее рассчитывать по методу перемещений. Обозначим узлы конструкции через 1, 2, 3, ..., n; угловые перемещения конструкции через $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n$.

Неизвестные узловые перемещения определяются из системы канонических уравнений

$$r_{k1}\psi_1 + r_{k2}\psi_2 + \dots + r_{km}\psi_n + R_{kp} = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, m),$$

где r_{km} – реакция связи k от перемещения по направлению связи m, приходящейся на единицу углового перемещения (единичная реакция); R_{kp} – реакция связи k от нагрузки P (грузовая реакция).

Единичные реакции r_{kk} (собственные) находятся по формуле

$$r_{kk} = \sum_{nm} 4i \cdot$$

Здесь $\sum_{km} 4i$ – сумма реакции по стержням, сходящимся в узле k и

имеющих на других концах жесткое защемление; побочные реакции $r_{km} = r_{mr}$; i – коэффициент жесткости стержня k-m, соединяющего узлы k и m, причем

$$i = i_s = \frac{E_s}{l_s} I_s,$$

где E_s – модуль упругости балки S; I_s – момент инерции на изгиб балки S; l_s – длина балки S.

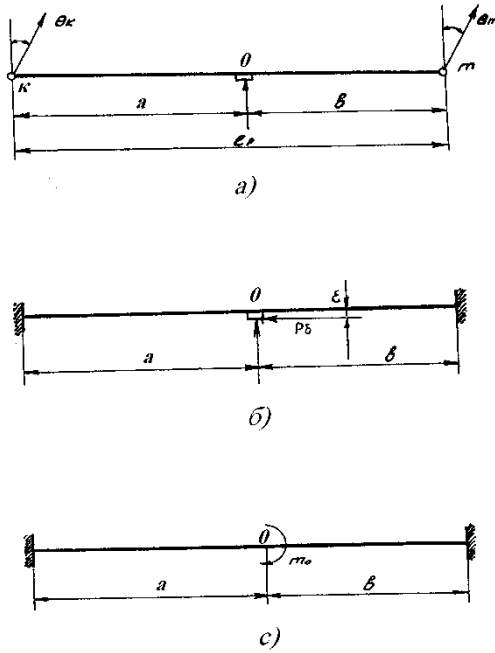


Рис.1. Расчетные схемы для определения нагрузок по методу начальных параметров

Все расчеты выполнялись с учетом механического и коррозионного износов проводников и расстрелов. Зная перемещения узлов элементов армировки и место приложения нагрузки P , можно найти прогибы по методу начальных параметров

$$r(x) = \gamma_0 + \psi_k x + \frac{I}{EI} \left[M_0 \frac{x^2}{2} + \psi_0 \frac{x^3}{6} - P \frac{(x-b)^3}{6} \right]$$

Угловые перемещения ψ_0 и момент M_0 находим по формулам

$$\psi_0 = \frac{6}{l^2} \left[(\psi_m + \psi_k) EI - P \frac{b^2}{2} - \frac{b^3}{3l} \right]$$

$$M_0 = \frac{I}{l} \left[(\psi_m - \psi_k) EI - \theta_0 \frac{l^2}{2} + P \frac{b^2}{2} \right]$$

Зная перемещения $\gamma(x)$ для каждого узла армировки можно найти ψ (угол поворота), M (изгибающий момент) и θ (поперечную силу).

$$\psi(x) = \gamma(x);$$

$$M(x) = EI\psi(x);$$

$$\theta(x) = M(x).$$

Кроме лобовых нагрузок P_n на армировку действуют и боковые P_o . Так как боковая нагрузка P_o прикладывается к элементу расстрела с эксцентриситетом ε , то для определения прогиба от боковой нагрузки в лобовом направлении можно воспользоваться теми же формулами, заменить в них грузовые члены от P_n на грузовые члены от моменты $m_o = P_o \varepsilon$

Например:

$$R_{1P} \approx P_1 m_o = m_o \frac{b}{l^2} (2a - b),$$

$$R_{2P} \approx P_2 m_o = m_o \frac{a}{l^2} (2b - a).$$

Расчетные схемы для определения предельных нагрузок на расстрелы по условию их прочности представлены на рис. 2.

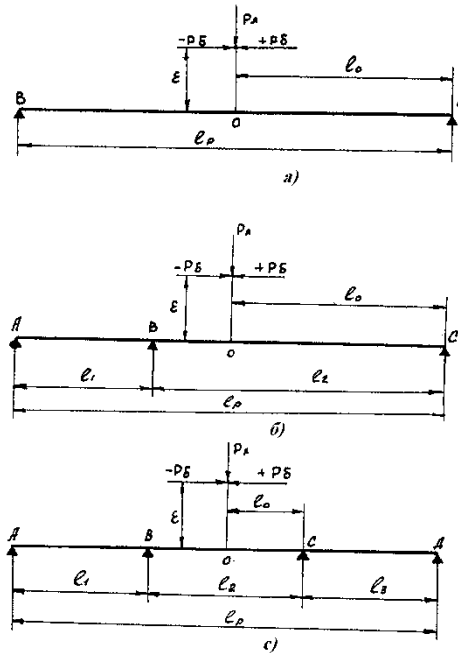


Рис. 2. Расчетные схемы для определения предельных нагрузок по условию их прочности

Значение минимально допустимого коэффициента запаса прочности рекомендуется принимать равным 1, что обеспечивает сохранение регламентируемых «Правилами безопасности» ограничений величины зазоров между проводниками и башмаком, а также расстояний от сосуда до элементов оборудования ствола.

Эксплуатационные характеристики армировки ствола в целом оцениваются по величине относительной частоты проявления значений фактического коэффициента запаса, меньшего минимально допустимого, определяемого по формуле

$$\xi = \frac{N_m}{N_\phi},$$

где N_m – количество участков армировки (ярусов расстрелов), на которых фактические эксплуатационные нагрузки близки к предельным; N_ϕ – общее количество ярусов в стволе на участке равномерного движения сосуда.

Эксплуатационные показатели считаются удовлетворительными, если при работе шахтного подъема в заданном режиме фактические коэффициенты запаса прочности на всех участках армировки больше минимально допустимого, либо значения эксплуатационных нагрузок, близких к предельным носят единичный характер, т.е. $\xi = 0$. Если значения эксплуатационных нагрузок, близких к предельным, носят массовый характер ($\xi \rightarrow 1$), то деформационно-прочностные характеристики армировки не соответствуют выбранному режиму работы шахтного подъема.

Оценка деформационных характеристик армировки производится также из условия

$$f < [f]$$

где f – расчетный прогиб элемента армировки; $[f]$ – предельное значение прогиба элементов.

Нормальные напряжения, возникающие в расстрелах, при приложении на ярусе от боковых и лобовых нагрузок, вызывающих сжатие (растяжение) элементов с изгибом, определяется по формуле

$$\sigma_{сж} = \frac{M_p}{J_p} y_o + \frac{N}{F},$$

где M_p – абсолютное значение изгибающего момента в расстреле, при его изгибе лобовой нагрузкой; J_p – осевой момент инерции сечения профиля; y_o – координата рассматриваемой точки сечения профиля расстрела относительно его главных осей; N – абсолютное значение продольной силы в расстреле; F – площадь сечения профиля расстрела.

Значения изгибающих моментов и продольных сил определяется в соответствии с принятыми расчетными схемами.

Максимальный прогиб проводника имеет место в случае приложения эксплуатационной нагрузки в середине пролета между ярусами расстрелов.

Поэтому он выбран в качестве обобщенного критерия деформационных параметров армировки. При этом предельные значения прогибов проводников определяются из соотношения

$$[f] = \frac{l}{400} l_{np},$$

где l_{np} – расстояние между ярусами, мм.

На основании приведенного обоснования выполнен расчет прогибов эксплуатируемых на протяжении 50 лет расстрелов скиповых отделений вертикального ствола №1 шахты им. Артема.

Расчетные значения прогибов расстрелов от нагрузок и степени изношенности представлены на рис. 3, 4

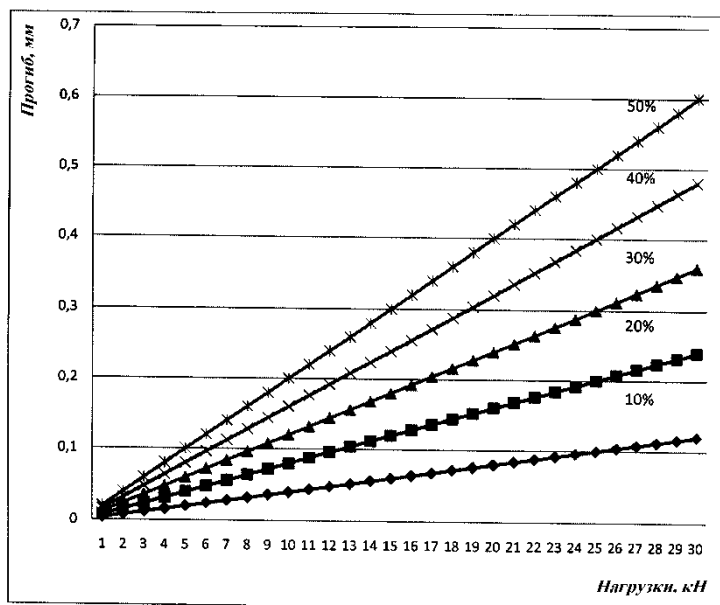


Рис. 3. Влияние лобовой нагрузки (кН) на прогиб северного и южного расстрелов скиповых отделений при разной степени коррозионного износа (%)

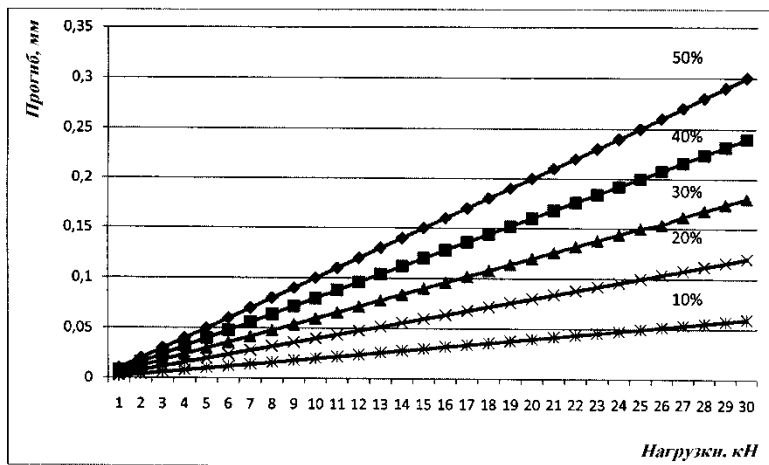


Рис. 4. Влияние лобовой нагрузки в кН на прогиб центрального расстрела скиповых отделений при разной степени коррозионного износа (%)

Результаты расчетов прогибов расстрелов и проводников для скиповых отделений от действия лобовой нагрузки представлены в таблице.

Расчетные значения прогибов расстрелов и проводников для скиповых отделений от действия лобовой нагрузки с учетом фактического износа армировки

№ яруса	Прогиб расстрелов, мм			Прогиб проводника в середине пролета, мм			
	северный скиповый расстрел	между-скиповый расстрел	южный скиповый расстрел	северное скиповое отделение		южное скиповое отделение	
				северный	южный	северный	южный
25	0,078	0,170	0,165	0,683	0,471	0,261	0,194
50	0,100	0,007	0,017	0,312	0,254	0,154	0,469
75	0,506	0,010	0,017	0,594	0,312	0,377	0,262
100	0,063	0,015	0,016	0,472	0,294	0,394	0,185
125	0,051	0,010	0,016	0,330	0,526	0,595	0,272
150	0,047	0,020	0,008	0,612	0,312	0,695	0,372
175	0,052	0,018	0,015	0,695	0,469	0,307	0,195

Предложенный обоснованный расчет прогибов длительно эксплуатируемых расстрелов и проводников скиповых отделений вертикального ствола №1 шахты им. Артема показал, что значения прогибов не превышают допустимого значения, равного 1 мм.

Выводы

1. Обоснованный расчет прогибов длительно эксплуатируемых элементов армировки вертикальных шахтных стволов способствует повышению эффективности оценки эксплуатационного состояния армировки стволов.

2. НИГРИ ГВУЗ «КНУ» применяет предложенное обоснование при выполнении комплексных обследований технического состояния вертикальных шахтных стволов, которые эксплуатируются при разработке железорудных и марганцевых месторождений Украины.

Список использованных источников

1. СОУ МПП 73.100-079:2007 «Настанова міністерства промислові політики України. Організація контролю безпечного стану устаткування вертикальних стволів та підйомних установок».

2. «Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки» утвержденного Постановлением Кабинета министров Украины от 26 мая 2004 года №687.

3. НПАОП 0.00-1.34 «Єдині правила при розробці рудних, нерудних і розсипних родовищ підземним способом».

4. Технический паспорт вертикального ствола №1 шахты им. Артема ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

5. Бежок В.Р., Дворников В.И., Манец Н.Г., Пристром В.А. / Шахтный подъем. – Донецк: «Юг-Восток Лтд», 2007. – 624 с.

6. Оценка эксплуатационных показателей жесткой армировки действующих шахтных стволов (Методическое руководство. Кривой Рог, 1981 г.).

7. Н.М.Беляев / Соппротивление материалов. – М.: Недра, 1976. – 608 с.

Рукопись поступила 02.09.2013 г.