

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕСТКОЙ АРМИРОВКИ СТВОЛА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОДЪЕМНОГО СОСУДА

Храмов А.А., канд. техн. наук, доц.,

Донецкий государственный технический университет

*Исследовано влияние износа основных конструктивных элементов жесткой армировки вертикального шахтного ствола – проводников и расстрелов – на динамическую устойчивость движения шахтного подъемного сосуда.*

*The influence of threadbare principals structure elements of the hard armoured of vertical mining shaft – guides and buntons – on the dynamic stability of the movement of mining rising vessel is investigated.*

Результаты исследований изменения основных конструктивных элементов и жесткостных характеристик армировки в процессе ее эксплуатации [1, 2] свидетельствуют о весьма значительном ослаблении сечений проводников и расстрелов, что вызывает уменьшение жесткости конструкции. Это неизбежно влечет за собой изменение динамических характеристик рассматриваемой системы, что, в конечном счете, сказывается на изменении допустимых эксплуатационных режимов подъемной установки. Поэтому, целью исследования являлось изучение качественной картины поведения движущегося подъемного сосуда в проводниках изнашиваемой армировки и установление области допустимых режимов движения подъемного сосуда при различных износах проводников и расстрелов – основных несущих элементов конструкции армировки.

Для исследования допустимых режимов движения подъемного сосуда в проводниках изнашиваемой армировки необходимо иметь эксплуатационно-временные характеристики износа проводников и расстрелов. На основании имеющихся фактических замеров их износа, полученных в эксплуатационных стволах, представляется возможным выбрать зависимости, выражающие корреляционную связь между износом конструктивных элементов и продолжительностью их эксплуатации.

Базируясь на установленных закономерностях, для описания динамики износа рабочих поверхностей проводников армировки мо-

жет быть принята эксплуатационная зависимость, представленная в виде:

$$\delta_{np} = K(e^{bt} - 1), \quad (1)$$

где  $\delta_{np}$  – текущий износ проводника для случая  $\delta_l = \delta_b$  (соответственно лобовой и боковой износы);  $K, b$  – некоторые постоянные;  $t$  – время, в течении которого проводник изнашивается до  $\delta_{np}$ .

Зависимость (1) соответствует увеличению скорости износа проводников во времени, что на практике может иметь место в связи с постепенным уменьшением твердости рабочих поверхностей проводников (головок рельсов), искривлением их профиля, ростом динамических нагрузок по мере увеличения зазоров в кинематической паре “направляющее устройство – проводник” и т.п.

Кроме нелинейной зависимости (1) при выполнении сравнительного анализа рассматривалась также и линейная зависимость вида

$$\delta_{np} = K_{np}t, \quad (2)$$

характеризующая постоянство скорости износа рабочих поверхностей проводников ( $K_{np}$ ).

Анализ фактических данных по износу проводников позволил принять в случае нелинейной зависимости (1) значения:  $K = 1,5$  мм,  $b = 0,1$  1/год – для рельсовых проводников;  $K = 0,5$  мм,  $b = 0,1$  1/год – для коробчатых проводников.

В случае линейной зависимости (2) приняты значения:  $K_{np} = 0,8$  мм/год – для рельсовых проводников;  $K_{np} = 0,3$  мм/год – для коробчатых проводников.

Полагая, что процесс износа расстрельных балок в шахтных стволах носит электрохимический характер, представляется возможным картину кинетики коррозии металла описать выражением:

$$\delta_p = K_p T \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right), \quad (3)$$

где  $K_p$  – коэффициент, характеризующий протекание коррозионного процесса в стабилизировавшихся условиях (установившаяся скорость коррозии расстрелов);  $T$  – коэффициент, характеризующий затухание процесса коррозии (постоянная величина);  $t$  – время коррозии металла.

В выражении (3) произведение  $K_p T$  представляет установившееся значение коррозионного поражения расстрельной балки в конкретной среде, величина которого на основании фактических данных принималась равной 3 – 6 мм. Постоянная времени коррозии расстрелов  $T$  при этом составляет 5 – 10 лет.

Зависимость (3) свидетельствует о том, что скорость коррозионного процесса в начальный период эксплуатации значительно выше, чем в последующий. Таким образом, принятый нелинейный характер протекания коррозии расстрелов, описываемый экспоненциальной зависимостью (3), во времени является затухающим процессом.

Если предположить, что процесс коррозии металла происходит без затухания, то зависимость износа во времени имеет линейный характер:

$$\delta_p = K_p t, \quad (4)$$

что соответствует безинерционному (статическому) процессу протекания коррозии расстрелов в стволе.

Таким образом, для исследования допустимых режимов движения подъемных сосудов в изнашиваемых проводниках армировки ствола принят нелинейный и линейный характер изменения износов проводников и расстрелов во времени.

Результаты исследований, изложенные в работе [3], позволяют с помощью построенной в координатах  $\lg \sigma$  и  $\mu_0$  диаграммы областей устойчивых решений уравнений типа Матье-Хилла находить требуемый безопасный режим работы подъемной установки. Параметр  $\mu_0$  представляет собой отношение частоты  $\omega$  собственных колебаний сосуда, определяемый средним значением функции жесткости проводников  $f(\xi, \sigma)$ , к частоте  $\nu = \frac{2\pi V}{h}$  внешней возмущающей силы:

$$\mu_0 = \frac{h}{2\pi V} \sqrt{\frac{C_0}{m_0} \int f(\xi, \sigma) d\xi}, \quad (5)$$

где  $h$  – шаг армировки;  $V$  – максимальная тахограмная скорость движения сосуда в стволе;  $C_0$  – опорная жесткость проводника на ярусе;  $m$  – масса груженого сосуда;  $\xi = \frac{Vt}{h}$  – безразмерная переменная координата, линейно связанная со временем  $t$ ;  $f(\xi, \sigma)$  – безразмерная функция жесткости проводника с периодом, равным единице;

$\sigma = \frac{C_0 h^3}{6EI_{np}}$  - безразмерный параметр, характеризующий функцию поперечной жесткости проводника;  $EI_{np}$  - изгибная жесткость проводника.

В работе [3] показано, что единственно приемлемым является дорезонансный режим, характеризуемый параметрами  $\mu_0$  и  $\sigma$ , лежащими справа от правой границы демультимпликационного резонанса. В результате, для заданного значения параметра  $\sigma$  рассматриваемой конструкции армировки по параметру  $\mu_0$  вполне однозначно находится рабочая точка на полученной диаграмме устойчивости. При этом точкам правой границы демультимпликационного резонанса соответствуют критические значения интенсивности подъемной установки  $(mV^2)_{кр}$ , определяемые зависимостью:

$$(mV^2)_{кр} = \frac{C_0 a_{cp}(\sigma) h^2}{4\pi^2 \mu_{op}^2}, \quad (6)$$

где  $\mu_{op}$  - значение параметра  $\mu_0$ , определяемое правой границей демультимпликационного резонанса;  $C_0 a_{cp}(\sigma)$  - среднее интегральное значение функции жесткости проводников, различное в двух главных направлениях конструкции - лобовом и боковом - в силу конструктивных особенностей яруса армировки.

Однако, установление границ дорезонансной зоны работы подъемной установки само по себе еще не означает, что всюду в этой области динамический режим будет приемлемым. Степень близости рабочей точки к резонансной границе сказывается на характере движения сосуда, амплитудах его раскачивания и величинах напряжения в проводниках и расстрелах. При подходе к границе резонанса, например, в связи с увеличением скорости движения сосуда, амплитуды стационарных колебаний неограниченно возрастают. Практически это означает, что при проектировании системы для работы в дорезонансном режиме необходимо принимать некоторый запас устойчивости по отношению к критическому значению  $(mV^2)_{кр}$  так, чтобы удовлетворить условию:

$$\frac{(mV^2)_{кр}}{mV^2} = K \geq [K] > 1, \quad (7)$$

где  $mV^2$  - фактическая эксплуатационная интенсивность подъемной установки.

С учетом (6) условие (7) может быть представлено в виде неравенства:

$$\mu_0^* \geq \mu_{op} \sqrt{[K]}, \quad (8)$$

где  $\mu_0^*$  - значение параметра  $\mu_0$ , соответствующие фактической интенсивности  $mV^2$  для заданной конструкции армировки, характеризуемой параметром  $\sigma$ .

В предельном случае, обеспечивающем еще безопасную работу системы "сосуд-армировка", неравенство (8) может быть заменено функциональной зависимостью

$$\mu_0^* = \mu_{op} \sqrt{[K]}, \quad (9)$$

которую можно записать в виде:

$$\mu_0^* = \mu_{op} \sqrt{4,78\mu_{op} - 0,79} \quad \text{при } \mu_{op} < 0,9, \quad (10)$$

$$\mu_0^* = 1,9\mu_{op} \quad \text{при } \mu_{op} \geq 0,9$$

Полученная зависимость (10) позволяет для каждого параметра вычислить предельные значения  $\mu_0^*$ , ограничивающие амплитуды раскачки подъемного сосуда величиной  $A \leq 3\Delta$  ( $\Delta$  - среднестатистический зазор в паре "направляющее устройство-проводник"), определенной из условий требуемой прочности и безопасной кинематики. Графически функция (10) представляет собой некоторую ломаную кривую, являющуюся границей допустимых запасов устойчивости. Работа системы в области, расположенной справа от указанной границы, полностью гарантирует динамически устойчивый режим движения сосуда в проводниках жесткой армировки.

Однако, происходящие в процессе эксплуатации потери сечений проводников и расстрелов приводят к изменению жесткостных свойств армировки, характеризуемых параметром

$$\sigma = \frac{C_0 h^3}{6EI_{np}}. \quad (11)$$

В свою очередь это влечет за собой изменение параметра

$$\mu_0 = \frac{\mu}{2\pi} \sqrt{\int_0^1 f(\xi, \sigma) d\xi}, \quad \mu = \frac{h}{V} \sqrt{\frac{C_0}{m}},$$

определяющего максимально допустимую скорость подъемной установки для заданной конструкции армировки и сосуда. В результате оказывается, что положение рабочей точки на диаграмме устойчивости в период эксплуатации при износе конструктивных элементов армировки и сохранении принятой скорости движения сосуда будет некоторым образом изменяться.

В соответствии с изложенным алгоритмом составлена программа расчета на ПЭВМ, которая позволяет, варьируя исходными данными в требуемых пределах, находить искомые параметры  $\sigma$  и  $\mu_0$  для изнашиваемой в процессе эксплуатации конструкции армировки.

Для исследования закономерностей рассматриваемой системы при износе проводников и расстрелов выбраны пять наиболее типичных конструкций жестких армировок клетевых и скиповых стволов. В каждом из 1200 анализируемых вариантов, включающих различные конструкции яруса армировки с определенным шагом, типоразмером проводников и расстрелов и принятым подъемным сосудом, изучалось поведение системы при изменении износов основных конструктивных элементов армировки.

Полученные результаты расчетов, представленные в виде графиков, показывают на диаграмме устойчивости в координатах  $\mu_0$  и  $\ln \sigma$  изменение положения рабочих точек рассматриваемой системы в лобовом (сплошные линии) и боковом (пунктирные линии) направлениях при линейных и нелинейных износах проводников и расстрелов (рисунки 1,2).

При достижении определенных износов динамические свойства системы изменяются таким образом, что в направлении лобовых колебаний формально всегда возможно не только приближение к границе резонанса, но и попадание в область параметрического резонанса. Изменение положения рабочих точек в направлении боковых колебаний в большинстве случаев происходит в области, ограниченной слева правой границей зоны демультипликационного резонанса, а справа — границей допустимых запасов устойчивости, определяемой зависимостью (9). При этом графики, соответствующие боковому направлению, располагаются, как правило, вдоль границы допустимых запасов.

Анализ полученных графических зависимостей  $\mu_0 = f(\sigma)$  подтверждает необходимость учета в процессе эксплуатации износа как проводников, так и расстрелов.

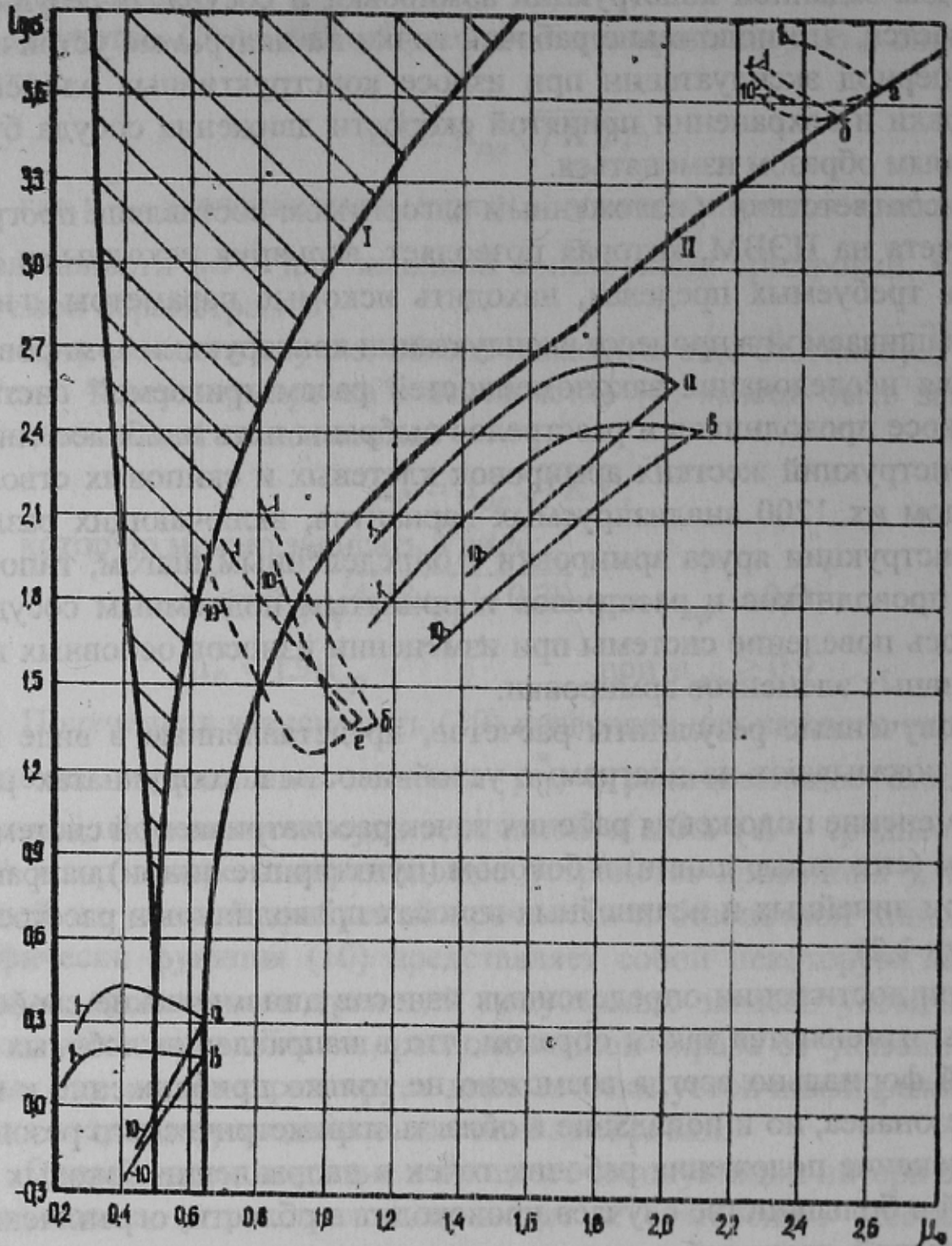


Рисунок 1 – Графики изменения в процессе эксплуатации положения рабочих точек на диаграмме устойчивости при различных износах конструктивных элементов армировок скипового (а, б) и клетевого (в, г) стволов с проводниками из рельсов Р38 и расстрелами из двутавров №20а (а, в) и коробчатого сечения 212×130×12 (б, г), установленными с шагом 4,168 м.

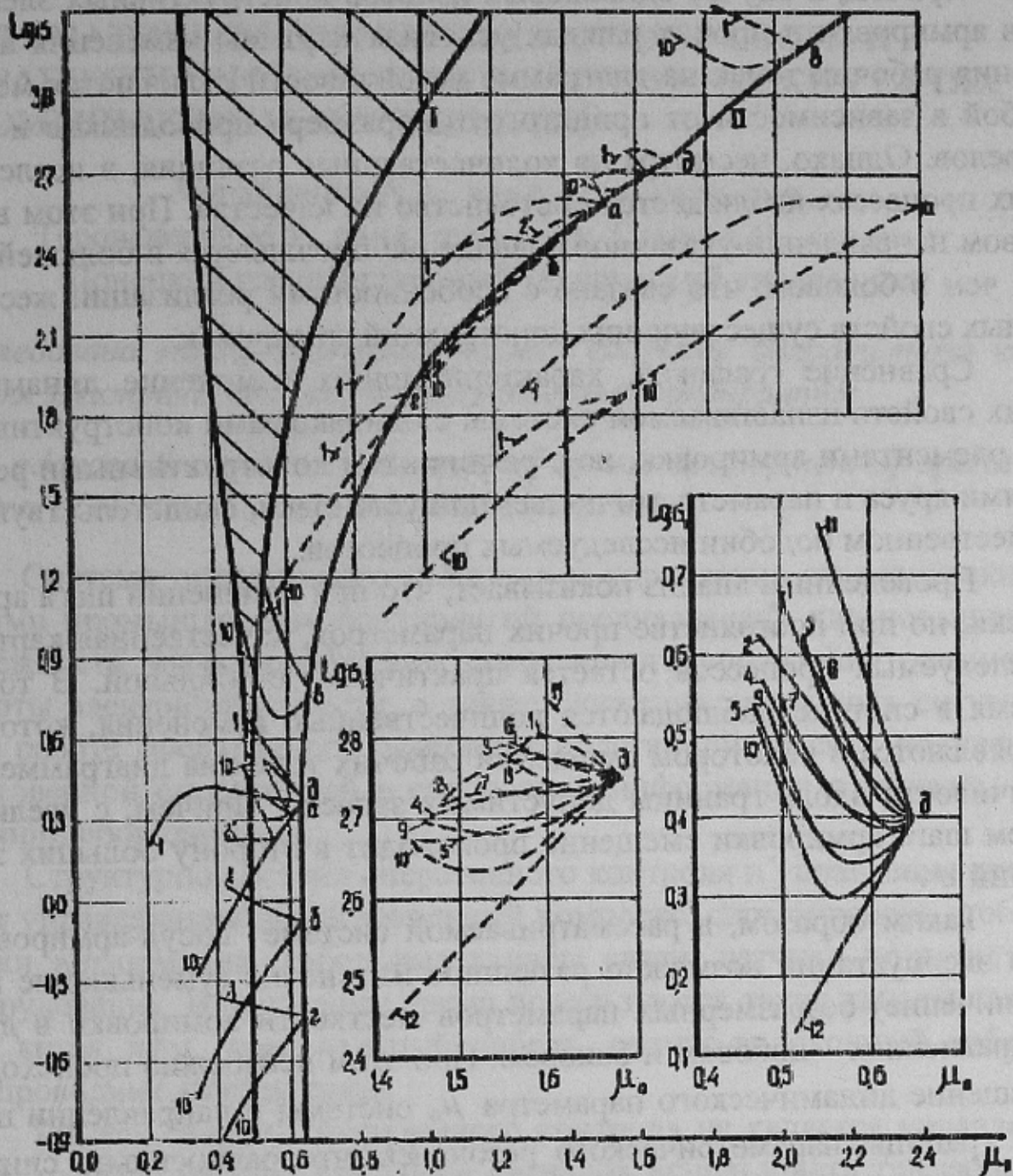


Рисунок 2 – Графики изменения в процессе эксплуатации положения рабочих точек на диаграмме устойчивости при различных износах конструктивных элементов армировок клетевых стволов с двусторонним лобовым (а) и односторонним боковым (б, в, г, д) расположением проводников из рельсов Р38 в сочетании с расстрелами из I №20а (а, б) и □ 212 × 130 × 12 (в) и из рельсов Р65 с расстрелами из I №20а (г) и □ 212 × 130 × 12 (д), установленными с шагом 4,168 м.



Причем, в случае одинаковых износов конструктивных элементов армировки и прочих равных условиях картины изменения положения рабочих точек на диаграмме устойчивости отличаются между собой в зависимости от принятого типоразмера проводников и расстрелов. Однако, несмотря на количественные различия, в исследуемых процессах наблюдается постоянство их качества. При этом в лобовом направлении указанное совпадение проявляется в большей мере, чем в боковом, что связано с особенностями реализации жесткостных свойств существующих конструкций армировок.

Сравнение графиков, характеризующих изменение динамических свойств изнашиваемой системы с одинаковыми конструктивными элементами армировки, но с различными конструктивными решениями яруса и параметрами подъемной установки, свидетельствуют о качественном подобии исследуемых процессов.

Проведенный анализ показывает, что при изменении шага армировки, но при постоянстве прочих параметров, качественная картина исследуемых процессов остается практически стабильной. В то же время в системе наблюдаются количественные изменения, которые проявляются в некотором смещении рабочих точек на диаграмме устойчивости вдоль границы допустимых запасов. Причем, с увеличением шага армировки смещение происходит в сторону больших значений  $\sigma$ .

Таким образом, в рассматриваемой системе “сосуд-армировка” при эксплуатации возможно различное изменение (уменьшение или увеличение) безразмерных параметров жесткости армировки в двух направлениях – лобовом и боковом. При этом неизбежно происходит смещение динамического параметра  $\mu_0$  системы в направлении правой границы параметрического резонанса, что равносильно снижению допустимых скоростей работы подъемной установки. Поэтому, при расчете технических параметров системы “сосуд-армировка” необходимо учитывать износ как проводников так и расстрелов.

Список источников:

1. Храмов А.А. Вопросы интенсивности механического износа проводников жестких армировок стволов шахт. – В сб. “Шахтный подъем”, №32. Донецк, 1973, с. 37-44.
2. Храмов А.А. Влияние конструктивных ослаблений расстрельных балок на долговечность системы “сосуд-армировка”. В сб. “Вопросы горной механики и технической кибернетики”, Донецк, 1969, с. 59-60.
3. Ветров А.П., Дворников В.И. Определение области резонансных режимов работы динамической системы “сосуд-армировка”. – Изв. ВУЗов “Горный журнал”, 1967, №9, с. 90-94.