

## **ВЛИЯНИЕ АВАРИЙНОГО ТОРМОЖЕНИЯ СОСУДОВ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК НА ОСТАТОЧНЫЙ ЗАПАС ПРОЧНОСТИ ПРОВОДНИКОВ И РАССТРЕЛОВ В УСЛОВИЯХ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА АРМИРОВКИ**

В статті наведено дані досліджень впливу динамічних навантажень армування шахтних стовбурів, що виникають при аварійному гальмуванні підйомної посудини на залишковий запас міцності провідників та розстрілів. В результаті досліджень доведено, що аварійне гальмування підйомних посудин приводить до суттєвої знижки запасу міцності елементів армування та створює умови для виникнення аварійної ситуації на підйомі. Показано, що в умовах значного корозійного зносу провідників та розстрілів армуванні оцінку їх залишкової міцності та безпеки експлуатації необхідно виконувати по критерію рівня екстремальних навантажень, що виникають при аварійному гальмуванні.

## **INFLUENCE OF EMERGENCY BRAKING OF MINE HOIST VESSELS ON REMAINING SUPPLY DURABILITY OF GUIDES AND SHOOTING IN THE CONDITIONS OF THE REINFORCEMENT CORROSIVE WEAR**

The data of researches of influencing of the dynamic loading of reinforcement of mine shafts, that arise up at the emergency braking of vessel on the remaining supply durability of guides and shooting are resulted in the article. As a result of researches it is proved to, that the emergency braking of vessels results in the substantial discount of remaining supply durability of elements of reinforcement and creates terms for the origin of emergency situation on hoist. The estimation of remaining durability and safety of exploitation of guides and shooting of reinforcement, in the conditions of the considerable their corrosive wear, must be executed on criteriyo level of the extreme loading at the emergency braking of the is shown in the article.

Как показывают результаты исследований изложенные в работах [1], в результате срабатывания аварийного тормоза в системе «подъемный сосуд - армировка» развивается динамический процесс, который при определенных условиях сопровождается многократным увеличением контактных нагрузок на проводники со стороны жестких предохранительных башмаков сосудов. Эти нагрузки через узлы крепления проводников так же передаются на горизонтальные расстрелы, закрепленные своими концами в крепи ствола и удерживающие проводники в заданном положении (рис. 1). На одном расстреле может быть закреплено до 4-х проводников, на которые воздействуют от двух до четырех разных подъемных сосудов.

Безопасность эксплуатации армировки во всех технологически возможных режимах работы подъемной установки (рабочий режим, режим торможения) определяется прежде всего прочностью ее элементов. Эта прочность определяется схемой армировки на одном ярусе, шагом ярусов по глубине ствола и, главным образом, остаточной толщиной стенок в сечениях металлоконструкций.

Основное количество стволов Украины оборудованы проводниками коробчатого типа на рудных шахтах и рельсового – на угольных. Расстрелы, в основном выполнены из двутавровых балок №№27-36С. Находясь по 25-40 лет в условиях действия агрессивной шахтной среды эти металлоконструкции подвер-

гаются интенсивному коррозионному износу. Причем характерной особенностью этого износа является то, что его степень существенно различна для участков, расположенных в различных зонах по глубине ствола. Кроме того, в пределах одного яруса, в зависимости от расположения зон водопритока по стенкам ствола, концы расстрелов в заделке крепи, расположенные на одной из сторон ствола могут быть в несколько раз больше корродированны, чем вся остальная часть металлоконструкций.

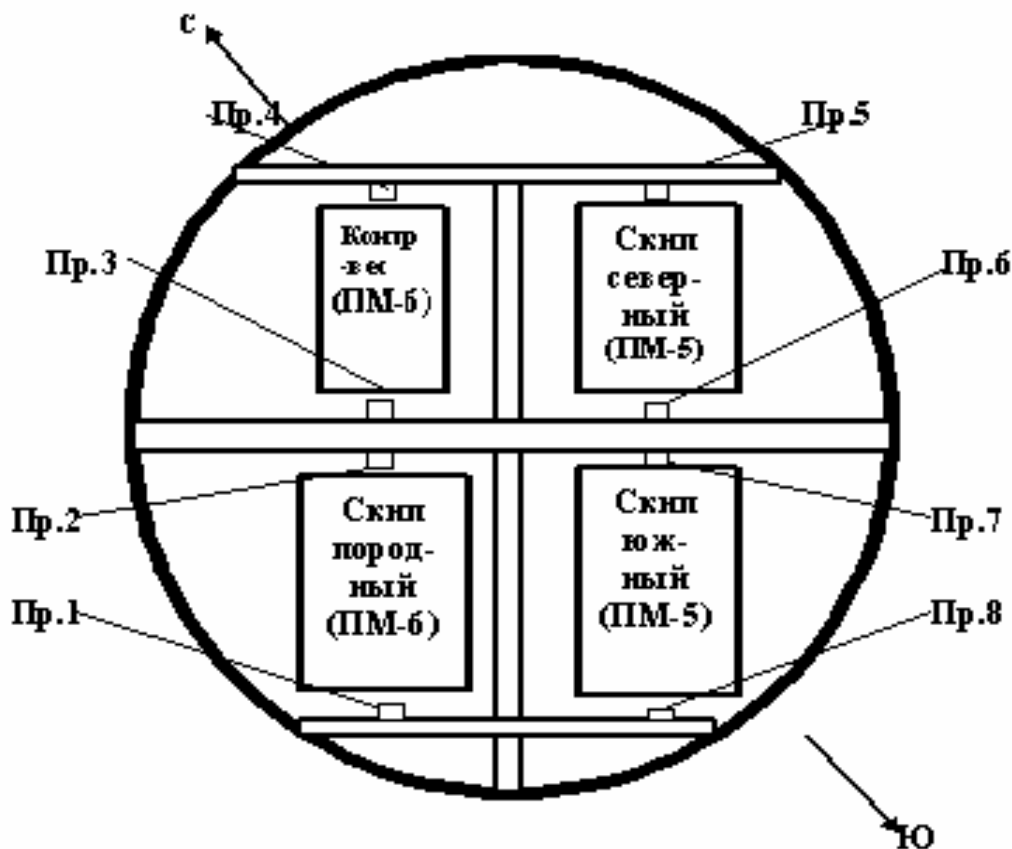


Рис. 1 - Схема армировки участка грузового ствола

Из-за такой неравномерности особое значение для решения проблемы обеспечения эксплуатационной безопасности армировки приобретает параметрическое сочетание координат точек торможения сосуда по глубине ствола с координатами участков имеющих минимальную остаточную толщину проводников и/или расстрелов с величиной расстояния от точки крепления проводника на расстреле до участка его наибольшего износа.

Проводники и расстрелы в стволе образуют пространственную конструкцию, в которой контактные динамические нагрузки, прикладываемые в точках проводников, распределяются на несколько выше- и нижележащих ярусов через узлы крепления на систему несущих расстрелов. Расчет напряженно-деформированного состояния такой конструкции в зависимости от точки приложения нагрузки представляет собой самостоятельную задачу. Ее решение в наиболее полном на сегодняшний день объеме изложено в нормативном документе [2].

Для прочности расстрелов наиболее опасны лобовые нагрузки, действующие на проводник. В данном случае для решения поставленной задачи представляется достаточным воспользоваться упрощенным представлением схемы участка проводника между ярусами как однопролетной балки, находящейся под действием сосредоточенной динамической силы рис. 2. Это обусловлено тем, что с одной стороны, в процессе динамических аппаратурных измерений практически невозможно точно определить в какой точке пролета башмак наиболее сильно соударяется с проводником во время движения, а с другой стороны, частота горизонтальных колебаний сосуда в режиме ударно-циклических соударений столь велика (10-15 Гц), что даже при замедленном движении сосуда башмак перемещаясь проходит всю длину проводника в пролете. Поэтому вполне справедливо считать при оценке прочности проводника, что максимальное контактное усилие от башмака приложено в его середине – наиболее опасном сечении.

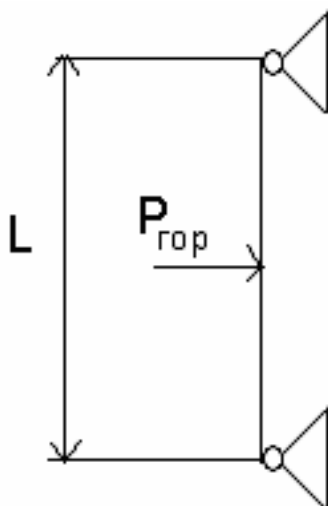


Рис.2 - Схема участка проводника в пролете

Как известно, [3] максимальные нормальные напряжения в сечениях проводников в этом случае определяются по формуле

$$\sigma = \frac{M_{изг}}{W}, \quad (1)$$

$$M_{изг} = 0.25 \cdot P_{гор} \cdot L, \quad (2)$$

где  $M_{изг}$  - максимальный изгибающий момент в сечении проводника;  $W$  - момент сопротивления проводника;  $P_{гор}$  - контактное усилие, действующее на проводник со стороны башмака подъемного сосуда;  $L$  - шаг армировки.

Для проводника коробчатого сечения, представленного на рис. 3, момент сопротивления проводника рассчитывается по формуле

$$W = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6H}. \quad (3)$$

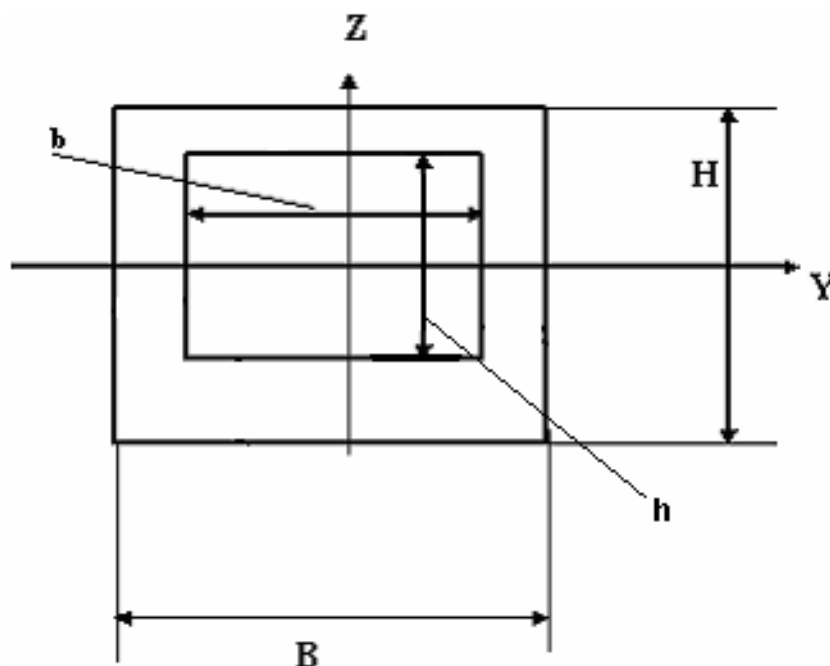


Рис.3 - Сечение коробчатого проводника

Предельно допустимая величина износа стенок проводников согласно требованиям Правил безопасности [4, 5] составляет половину толщины стенки.

При этом, запас прочности представляется отношением

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma}. \quad (4)$$

Определим, до какого минимального значения может уменьшиться запас прочности  $n$  проводника с предельно допустимым уровнем износа его стенок в зависимости от величины коэффициента динамической перегрузки при торможении сосуда.

Как известно, нормативное значение минимально допустимого запаса прочности для металлоконструкций, подвергающихся регулярным циклическим нагрузкам, лежит в пределах  $[n] = 1,5..2,5$ . Его конкретное значение выбирается на основании исследований и опыта эксплуатации изделий и устанавливается в нормативных отраслевых или проектных документах [6]. При эксплуатации армировки в рабочих режимах считаются номинальными рабочие нагрузки, которые обеспечивают запас прочности, превышающий  $n_{раб} = 2.15$ . При таком запасе не происходит накопления усталостных повреждений и образования трещин по сварным швам проводников.

Из этого следует, что максимально допустимые рабочие напряжения в сече-

нии проводника могут быть приняты равными

$$\sigma_{раб} = \frac{[\sigma]}{2.15}, \quad (5)$$

где  $[\sigma]$  - предельно допустимое напряжение на растяжение-сжатие коробчатых проводников (предел текучести) лежит в пределах=160..230 мПа в зависимости от марки применяемой стали. На основании (1) - (5) получим

$$n = \frac{[\sigma](B \cdot H^3 - b \cdot h^3)}{0.25 \cdot P_{зоп} \cdot L \cdot 6H}. \quad (6)$$

При эксплуатации проводник находится в условиях всестороннего (наружного и внутреннего) коррозионного воздействия шахтной среды. Снаружи по лобовой и боковым граням на участках нарушения плавности движения он подвергается еще и механическому воздействию. В разных стволах и на разных участках одного ствола утонение стенок происходит по-разному. С целью получения качественной оценки влияния указанных факторов на прочность проводника в режиме торможения сосуда рассмотрим случай равномерного утонения стенок по их наружной и внутренней поверхностям. Обозначим начальную толщину боковых и лобовых стенок соответственно:

$$\begin{aligned} \Delta_{\sigma}^0 &= \frac{1}{2}(B - b), \\ \Delta_{\pi}^0 &= \frac{1}{2}(H - h). \end{aligned} \quad (7)$$

Для проводника квадратного сечения (а именно такие профили применяются главным образом на шахтном подъеме)

$$b = h, \quad B = H. \quad (8)$$

Отсюда следует

$$\begin{aligned} \Delta_{\sigma}^0 &= \Delta_{\pi}^0 = \Delta^0 = \frac{1}{2}(B - b), \\ W &= \frac{B^4 - b^4}{6B}. \end{aligned} \quad (9)$$

Тогда

$$n = [\sigma] \cdot \frac{B^4 - b^4}{1.5 \cdot B \cdot P_{\text{зоп}} \cdot L}. \quad (10)$$

Так как остаточная толщина стенок не может быть по правилам эксплуатации меньше половины начальной, то из (7) следует

$$\Delta_{np} = \frac{1}{4}(B - b). \quad (11)$$

В соответствии с допущением о равномерности внешнего и внутреннего износа новая ширина проводника, изношенного до предельно допустимой по ПБ величины будет

$$B_{\text{н}} = \frac{1}{4}(3B + b). \quad (12)$$

Соответственно новая ширина отверстия проводника составит

$$b = \frac{1}{4}(B + 3b). \quad (13)$$

Отсюда получим выражение для нового предельно–минимального момента сопротивления проводника

$$W_{np} = \frac{(3B + b)^4 - (B + 3b)^4}{384(3B + b)}. \quad (14)$$

Фактическое значения запаса прочности в зависимости от горизонтальной нагрузки, действующей на изношенный проводник, определится по формуле

$$n_{np} = [\sigma] \frac{(3B + b)^4 - (B + 3b)^4}{96 \cdot P_{\text{зоп}} \cdot L \cdot (3B + b)}. \quad (15)$$

Проведенные выше исследования показали, что коэффициент динамической перегрузки проводников при торможении может достигать значений от 1.0 (в зонах устойчивости колебаний) до 5...6 (в «центре неустойчивости»). Это значит, что выражение для определения контактных нагрузок можно представить в форме

$$P_{\text{зоп}} = K_{\text{пер}} \cdot P_{\text{раб}}. \quad (16)$$

где  $P_{раб}$  - максимальная контактная нагрузка в рабочем режиме движения

Из (1), (2) и (5) следует, что

$$\sigma_{раб}^0 = \frac{0.25 \cdot P_{раб}^0 \cdot L}{W^0} = \frac{[\sigma]}{2.15}. \quad (17)$$

Отсюда нормальная рабочая нагрузка для нового проводника равна

$$P_{раб}^0 = \frac{[\sigma](B^4 - b^4)}{3.23 \cdot B \cdot L}. \quad (18)$$

Для предельно изношенного проводника максимально – допустимое значение нормальной рабочей нагрузки (с запасом прочности 2.15) будет

$$P_{np}^0 = [\sigma] \frac{(3B + b)^4 - (B + 3b)^4}{207(3B + b)L}. \quad (19)$$

Можно рассчитать, что коэффициент потери прочности проводника при предельно- допустимом износе определяется отношением

$$K_{ном} = \frac{W_{np}}{W^0} = \frac{[(3B + b)^4 - (B + 3b)^4]B}{64(3B + b)(B^4 - b^4)}. \quad (20)$$

Подставим (16) в (15) и получим

$$n_{np} = [\sigma] \frac{(3B + b)^4 - (B + 3b)^4}{96 \cdot P_{раб} \cdot K_{пер} \cdot L \cdot (3B + b)}. \quad (21)$$

Видно, что фактический запас прочности проводника в режиме торможения сосуда обратно пропорционален коэффициенту перегрузки  $K_{пер}$ .

Анализ формулы (21) показывает, что даже если в рабочем режиме движения ( $K_{пер}=1$ ) рабочая нагрузка на проводники  $P_{гор}$  на участке с предельно – изношенными проводниками обеспечивает значение запаса прочности  $n_{np} \geq 2.15$ , то в режиме аварийного торможения запас прочности кратковременно может снизиться до величины  $n_{np}=1$  и даже стать еще меньшим. Это создаст условия для перехода за короткое время деформаций в зону пластичности и повлечет за собой появление остаточных искривлений профиля проводника.

При следующем рабочем цикле сосуд, проходя этот участок с прежней скоростью, попадет в зону локального искривления. Это неизбежно приведет к

резкому возрастанию рабочей контактной нагрузки на проводник и снижению его рабочего запаса прочности ниже величины 2,15. Дальнейшая эксплуатация этого участка армировки будет проходить в условиях систематических (до 200-300 циклов спуска-подъема в сутки) ударно-циклических воздействий на проводник повышенного уровня. Если не принять своевременных мер по восстановлению прямолинейности профиля или утолщению его стенок, то скорость механического износа резко возрастет и начнется интенсивное накопление усталостных повреждений.

Нормативной документацией предусмотрено ежегодная периодичность инструментального контроля износа проводников. В условиях появления остаточных деформаций после срабатывания предохранительного тормоза на изношенном участке проводников спонтанные разрушения из-за появления скрытых микротрещин могут начаться еще задолго до срока следующей проверки.

Для проводника с начальным сечением 160x160x12мм при шаге армировки 4 м. Для армировок большинства стволов с такими проводниками значение предельно допустимого напряжения на растяжение-сжатие по пределу текучести принято равным 210 мПа.

На рис. 4 приведен график зависимости  $n_{np}$  от коэффициента динамической перегрузки при торможении  $K_{пер}$ .

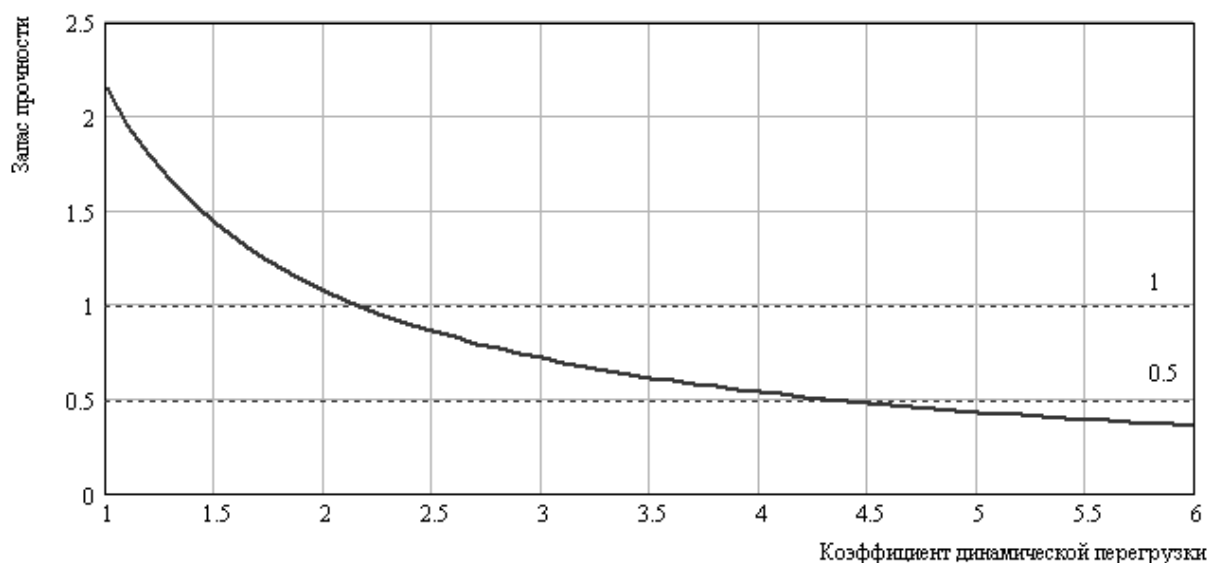


Рис.4 - График зависимости  $n_{np}$  от коэффициента динамической перегрузки при торможении  $K_{пер}$ .

Учтем, что согласно [3], предел текучести  $\sigma_T = (0,5 \dots 0,7) \sigma_B$ , где  $\sigma_B$  – предел временного сопротивления материала, достижение которого приводит к разрушению конструкции. На графике маркерами отмечены значения 1.0 и 0,5. Первое значение соответствует достижению фактическим напряжением в сечениях проводника значения предельно допустимого напряжения  $[\sigma]$  по пределу текучести  $\sigma_T$ , а второе -  $\sigma_B$  – по пределу разрушения. Из графика видно, что для



данного примера значение коэффициента перегрузки  $K_{пер} = 4,3$  на участке ствола с предельно допустимым уровнем износа приведет к опасности разрушения проводника. То есть в процессе аварийного торможения под действие экстремальных динамических нагрузок со стороны сосуда запас прочности проводников армировки может кратковременно снижаться до аварийно опасных значений.

Из всего вышесказанного следует, что критерием оценки технического состояния армировки на участках стволов с остаточной толщиной металла в сечениях проводников и расстрелов близкой к предельной и на которых в рабочем режиме систематические контактные нагрузки не выходят за допустимые пределы, должен быть запас прочности, определенный не по рабочим, а по экстремальным нагрузкам на армировку, реализующимся в режиме аварийного торможения подъемных сосудов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ільїна І.С. Моделювання параметричних коливань підйомної посудини шахтної врівноваженої установки при взаємодії з жорстким армуванням під час аварійного гальмування. // Сборник научных трудов Национальной Горной Академии Украины, №13, Т.2. – Дн-ск. - 2002. – С. 118-123
2. Методика расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт. НИИГМ им. М.М.Федорова. – Донецк, 1985. -145 с.
3. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. - К.: Наукова думка, 1975. – 703 с.
4. Правила безпеки у вугільних шахтах. Под. Ред. Гаврілюк Л.А. – К.: Основа, 1996. – 418 с.
5. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. Изд. 2, перераб. и доп. М., Недра, 1977. – 233 с.
6. Вибрации в технике. Под ред. Диментберга Ф.М., Колесникова К.С. - Т.3. - М.: Машиностроение, 1980. – 545 с.