

УДК 622.673.1:622.674.22

Ильин С.Р., канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

Соломенцев К.А., канд. техн наук,
Василькевич В.И., инженер
(НИИГМ им. М.М.Федорова)

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ КОРОБЧАТЫХ
ПРОВОДНИКОВ ЖЕСТКОЙ АРМИРОВКИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ НА
ДОПУСТИМУЮ СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОДЪЕМНЫХ СОСУДОВ**

Ільїн С.Р., канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ІГТМ НАН України)

Соломенцев К.А., канд. техн наук,
Василькевич В.І., інженер
(НДІГМ ім. М.М. Федорова)

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФОРМИ ПЕРЕТИНУ КОРОБЧАСТИХ ПРОВІДНИКІВ
ЖОРСТКОГО АРМУВАННЯ ШАХТНИХ СТВОЛІВ НА ДОПУСТИМУ
ШВИДКІСТЬ РУХУ ПІДЙОМНИХ ПОСУДИН**

Ilyin S.R., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

Solomencev K.A. Ph.D. (Tech.)
Vasylkevych V.I., M.Sc (Tech)
(RIMM)

**HOW FORM OF SECTION OF THE BOX-SHAPED GUIDES IN THE
SHAFT STIFF EQUIPMENT IMPACTS ON THE CAGE PERMISSIBLE
SPEED**

Аннотация. Эксплуатация жестких армировок шахтных стволов со сварными коробчатыми проводниками сопровождается рядом негативных явлений, таких как коррозионный и механический износ проводников, в частности раскрытие сварного шва в процессе работы шахтного подъема. Современные средства производства позволяют изготовить цельнокатанный проводник без сварных швов, но имеющий закругления на углах. Закругления на углах проводника снижает площадь контакта боковых поверхностей башмака с проводником. В статье рассмотрена и проанализирована целесообразность использования цельнокатанных коробчатых проводников вместо сварных коробчатых проводников в условиях реального уширения колеи действующих вертикальных стволов шахт с учетом имеющегося динамического прогиба проводников при взаимодействии с подъемным сосудом.

Ключевые слова: жесткая армировка, коробчатый проводник, сварной шов, радиус закругления проводника, динамический прогиб проводника, допустимая скорость движения сосуда.

Производительность горнорудных предприятий непосредственно связана с пропускной способностью эксплуатируемых подъемных установок, надежность и безопасность работы которых в современных условиях интенсивного

производства должна обеспечиваться, прежде всего, правильным расчетом и проектированием всех компонентов подъемного комплекса, в том числе и армировки ствола. Физическое старение стационарных подъемных установок, неудовлетворительное техническое состояние армировки стволов шахт (в частности, износ и коррозия рабочих поверхностей проводников и расстрельных балок, отсутствие зажимных скоб) являются одной из основных причин повышения аварийности и потерь добычи.

Как известно, армировка служит для обеспечения направленного движения подъемных сосудов при заданных режимах работы подъемной установки и крепления различных коммуникаций в стволе. Конструктивно жесткая армировка представляет собой пространственную стержневую систему, состоящую из горизонтальных балок (расстрелов) и закрепленных на них вертикально расположенных проводников. Проводники, по которым осуществляется вертикальное перемещение подъемных сосудов, представляют собой непрерывные нити, состоящие из отдельных звеньев, соединенных между собой.

В качестве коробчатых проводников жесткой армировки применяются в основном сварные коробчатые балки квадратного либо прямоугольного сечения (рис.1.).

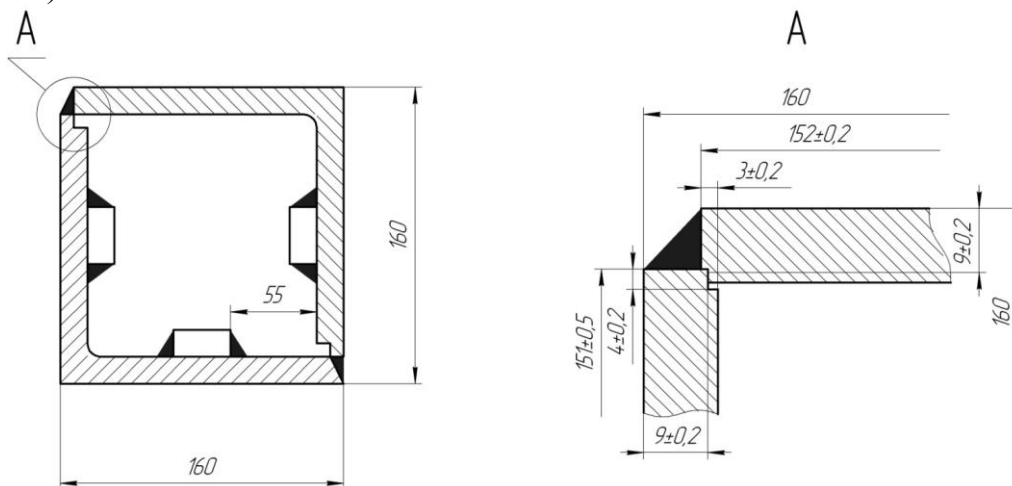


Рисунок 1 – Проводник коробчатый (типовой проект института «Гипрошахт»)

Основным недостатком такой конструкции является неодинаковая концентрация материала по углам поперечного сечения проводника. Сварные швы имеют пониженную пластичность, что приводит к резкому снижению коэффициента механической стабильности на участках сварного шва. Поскольку наблюдается предрасположенность металла к хрупкости, то в рассматриваемых участках систематически возникают угловые продольные трещины, ослабляющие поперечное сечение проводника.

Такая конструкция имеет ослабление двух угловых сварных участков поперечного сечения проводника, расположенных по диагонали, а на двух других диагонально расположенных участках концентрация материала увеличена, что приводит к повышению их прочности. Это значит, что по периметру поперечного сечения проводника, находятся разножесткие участки. Разножесткость участ-

ков создает условия, способствующие снижению усталостной прочности всего поперечного сечения коробчатого проводника и вызывает его ускоренное разрушение при возрастании знакопеременных динамических нагрузок. Кроме того, на стадии зарождения дефекта оно существенно влияет на динамические составляющие при работе системы «сосуд-армировка».

Современные средства производства позволяют изготовить цельнокатаный проводник прямоугольного (квадратного) сечения [1]. Основным достоинством такого проводника является совершенствование конструкции за счет упразднения продольных сварных швов, расположенных по условиям прочности в критической зоне, и равномерного распределения материала по периметру поперечного сечения коробчатого проводника. Таким образом, при действии горизонтальной подвижной нагрузки за счет снижения напряжений в плоскости поперечного сечения коробчатого проводника достигается существенное повышение его поперечной жесткости – до 30%. Эта задача решается за счет того, что в проводнике коробчатом, включающем вертикальную полу направляющую трубу и опоры, направляющая труба выполнена цельной с постоянным квадратным сечением по периметру и внешним радиусом закругленных углов 30...50 мм.

Применение цельнокатаных проводников вместо сварных является перспективным, за счет увеличения толщины и износостойкости стенок. В результате этого срок эксплуатации проводников значительно увеличится, снижается время ремонтных работ, проводимых в стволе.

Наряду с вышеуказанным преимуществом цельнокатаного проводника наличие значительного радиуса закругления на углах является и его главным недостатком, так как приводит к возникновению двух физических процессов. Первый процесс возникает в стволах с повышенным уширением колеи, которое приводит к частичному периодическому выходу катков за плоскую часть боковой поверхности проводника (с частотой колебаний в лобовой плоскости). Это приводит к периодическому изменению боковой опорной жесткости направляющих с массивным резиновым катком, жестко закрепленным на корпусе сосуда и опасностью возникновения параметрического возбуждения системы резонансного типа [2, 3]. Второй процесс связан с уменьшением эффективной площади перекрытия боковых граней проводников башмаками скольжения подъемного сосуда, вследствие чего так же возрастает риск выхода сосуда из направляющих в условиях действия повышенных динамических нагрузок и прогибов проводников.

Вопрос определения допустимых статических искривлений проводников традиционной конструкции при взаимодействии с направляющими скольжения подъемного сосуда рассматривался в статье [4]. Рассмотрим случай динамического взаимодействия подъемного сосуда с двумя противостоящими коробчатыми проводниками традиционного сечения и проводниками имеющими закругление боковых ребер.

Кинематическое взаимодействие подъемного сосуда с армировкой ствола при двухстороннем расположении проводников всех типов относительно сосу-

да требуют одновременного выполнения двух условий:

– обеспечение гарантированного зазора между направляющими скользящего сосуда и расстрелами или элементами крепления проводника (зажимными скобами, упорами и т.п.);

– обеспечение гарантированного перекрытия боковых поверхностей проводника контактирующими с ними поверхностями направляющих скользящих.

Невыполнение какого-либо из этих условий может привести либо к контакту жестких направляющих с расстрелами или элементами крепления проводника, либо к потере кинематической связи движущегося сосуда с проводниками, т.е. к аварийному выходу сосуда из проводников.

Первое условие определяет износы лобовых поверхностей проводников и направляющих, а второе – износы их боковых поверхностей.

Из расчетной схемы, приведенной на рис.2, первое условие запишется в виде следующего выражения:

$$\delta_{np}^l \leq H - h - \delta_{\sigma}^l - [f] \text{ или } (\delta_{np}^l + \delta_{\sigma}^l) \leq H - h - [f] \quad (1)$$

где δ_{np}^l , — износ лобовой поверхности проводника; δ_{σ}^l — износ лобовой поверхности направляющего башмака скольжения; H — расстояние от лобовой поверхности нового проводника до элемента крепления проводника или расстрела, определяемое из чертежей либо непосредственными измерениями в стволе; h — первоначальная глубина зева направляющего башмака скольжения, оптимальная величина определяется расчетом; $[f]$ — гарантированный зазор между направляющим башмаком скольжения и элементами крепления проводника или расстрелом.

Второе требование запишется в виде:

$$(\delta_{np1}^l + \delta_{np2}^l) \leq h - 2\Delta_0 - \Delta_k - \delta_{\sigma}^l - \Delta_d - \Pi, \quad (2)$$

где $(\delta_{np1}^l + \delta_{np2}^l)$ — износ лобовых поверхностей первого и второго проводников в одном сечении ствола (например, на ярусе); Δ_0 — первоначальный зазор на сторону в паре «башмак-проводник»; Δ_k — предельное отклонение ширины колеи проводников от номинального значения; Δ_d — максимальный прогиб проводника в лобовом направлении под действием горизонтальной динамической нагрузки в точке контакта его с башмаком; Π — гарантированное перекрытие контактирующих боковых поверхностей башмака и проводника.

Неравенства (1) и (2) не учитывают радиус закругления проводника и не могут применяться для расчета новых цельнокатаных проводников.

В качестве примера рассмотрим вариант применения цельнокатаных проводников для параметров армировки и сосудов ствола ГС-1 ЗАО «ЗЖРК», определим допустимый динамический прогиб проводников, а по «Методике расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт» [5] найдем максимально допустимую скорость движения подъемного сосуда.

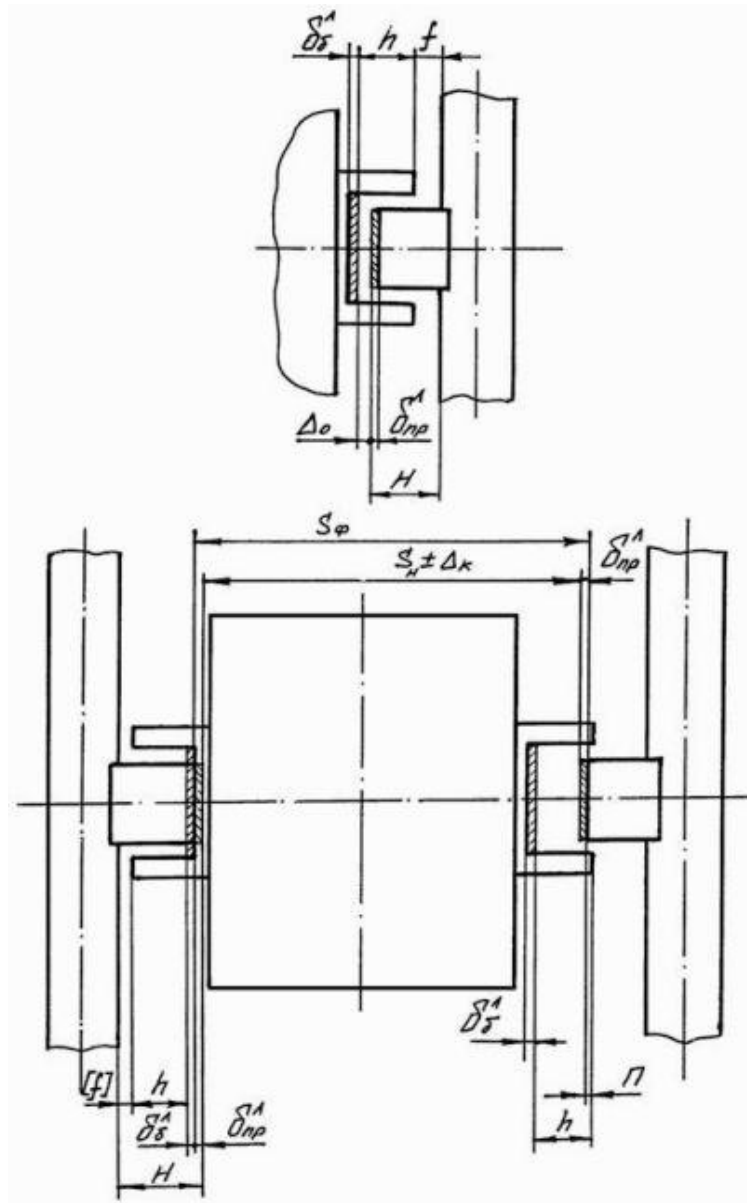


Рисунок 2 – Схема взаимодействия башмаков скольжения подъемного сосуда с двухсторонними деревянными проводниками

Как видно на рис.2 радиус закругления проводника не влияет на обеспечение гарантированного зазора между направляющими скольжения сосуда и расстрелами, а неравенство (2) в нашем случае с учетом закругления проводников примет следующий вид:

$$(\delta_{np1}^l + \delta_{np2}^l) \leq h - 2\Delta_0 - \Delta_k - \delta_{\sigma}^l - \Delta_D - \Pi - h_3, \quad (3)$$

где $(\delta_{np1}^l + \delta_{np2}^l) = 0$ для новых проводников; $h = 110 \text{ мм}$ – глубина зева предохранительных башмаков скольжения при их установке для проводников прямоугольного сечения [6]; $\Delta_0 = 15 \text{ мм}$ – зазор на сторону в паре «башмак-проводник» [6]; $\delta_{\sigma}^l = 8 \text{ мм}$ – износ башмака (вкладыша башмака) [6]; $\Delta_k = 14 \text{ мм}$ – максимальное уширение колеи (рис.3); Δ_D – допустимый прогиб проводника в лобовом

направлении под действием горизонтальной динамической нагрузки в точке контакта его с башмаком; $P=5\text{мм}$ – гарантированное перекрытие контактирующих боковых поверхностей башмака и проводника; $h_3=30\text{мм}$ – радиус закругления проводника.

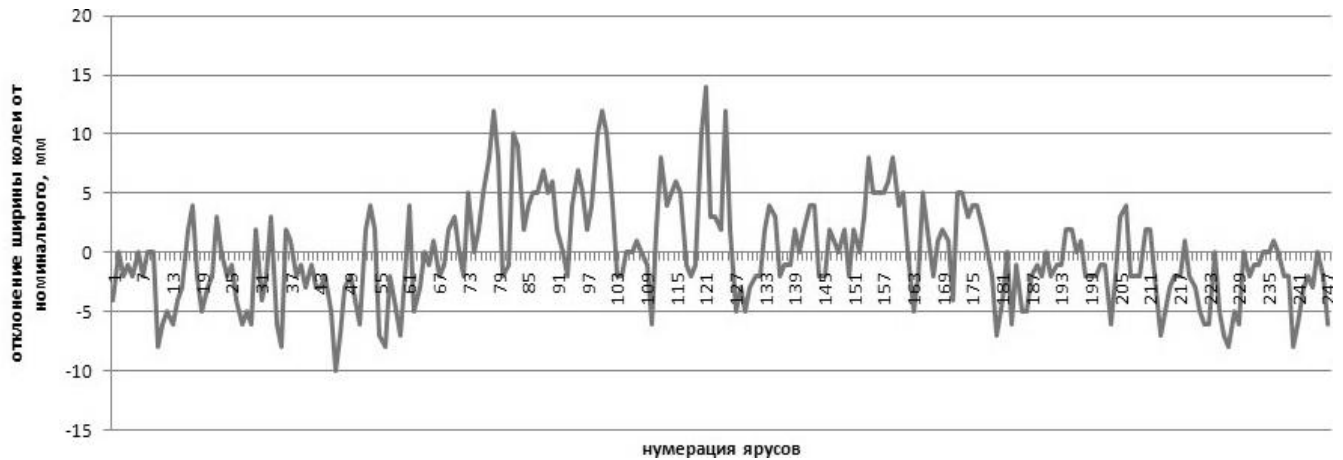


Рисунок 3 - Отклонение ширины колеи по глубине ствола

Подставляя указанные значения, получим допустимый прогиб проводника $\Delta_D=23\text{мм}$.

Из уравнения (3) видно, что допустимый динамический прогиб проводника напрямую зависит от значения уширения колеи и от глубины зева башмака, это наглядно изображено на рис.4 и рис.5.

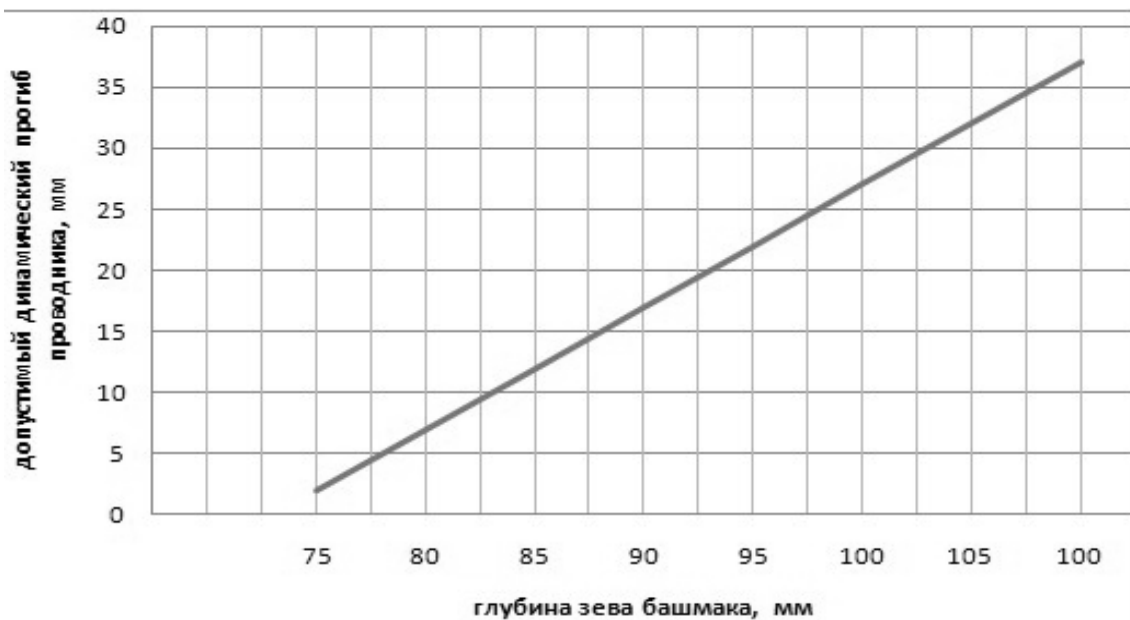


Рисунок 4 – Зависимость допустимого динамического прогиба проводника от глубины зева при неизменной ширине колеи 1760мм

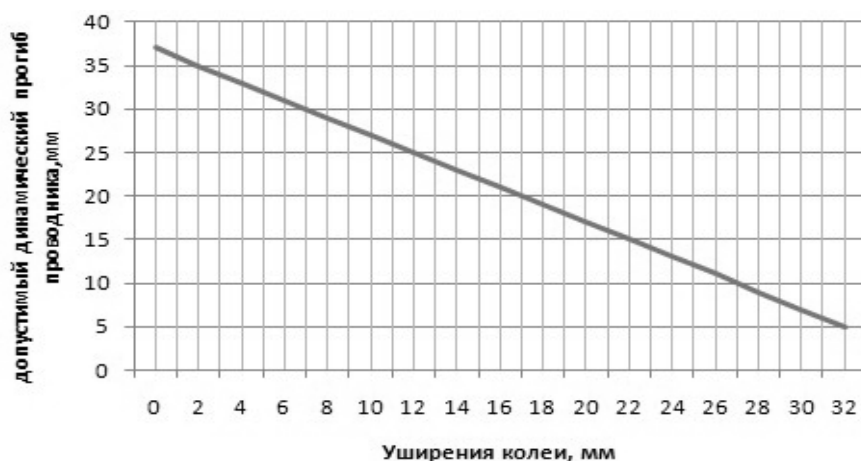
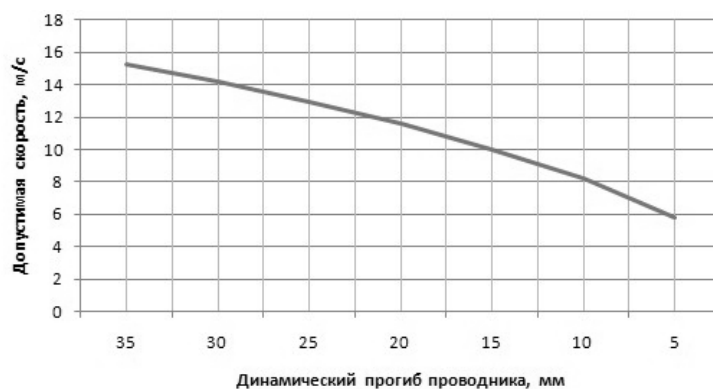
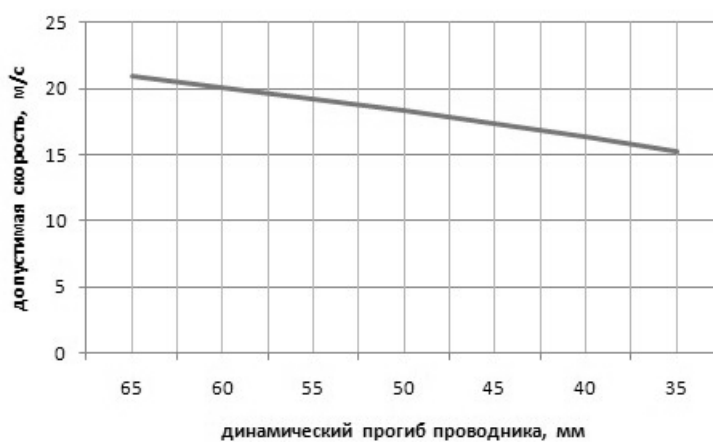


Рисунок 5 – Зависимость допустимого динамического прогиба проводника от уширения колес при глубине зева башмака 110мм

Используя «Методику расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт», получим значения предельной скорости движения подъемного сосуда по условию невыхода сосуда из направляющих от величины предельно допустимого динамического прогиба проводника при глубине зева башмака 110мм. Полученные данные отображены на рис. 6.



а) при закругленном цельнокатаном проводнике



б) при остроугольном сварном проводнике

Рисунок 6 – Зависимость допустимой скорости движения сосуда по условию невыхода из направляющих от величины динамического прогиба проводника

Как видно из графика на рис 6а. допустимая скорость движения сосуда снижается с уменьшением допустимого значения прогиба проводника. Допустимое значение прогиба проводника в этом случае напрямую зависит от уширения колеи, т.е. чем больше уширение колеи, тем ниже допустимое значение прогиба проводника, следовательно, ниже допустимая скорость движения сосуда. Остроугольный сварной проводник при тех же условиях имел бы запас допустимого динамического прогиба проводника больший на величину равную радиусу закругления цельнокатаного проводника, в нашем случае 30мм. Отсюда видно, что и скорость движения сосуда из условия невыхода его из направляющих была бы большей, что показано на графике рис.6б. Следует отметить, что согласно «Методике расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт» скорость по условию невыхода сосуда из направляющих является одной из пяти скоростей-критериев движения сосудов, из которых выбирается наименьшее число. Таким образом, при применении остроугольных проводников скорость движения сосуда, как показали расчеты, была бы ограничена другой скоростью-критерием и составляла бы 14,8м/с. Но в случае с цельнокатаными проводниками скорость по условию невыхода сосуда из направляющих является главным ограничивающим критерием. На графике рис.7 показана зависимость допустимой скорости по условию невыхода сосуда из направляющих от радиуса закругления проводников при максимальном уширении колеи 14мм и глубине зева башмака 110 мм. Видно, что зависимость носит нелинейный характер монотонно убывающей функции.

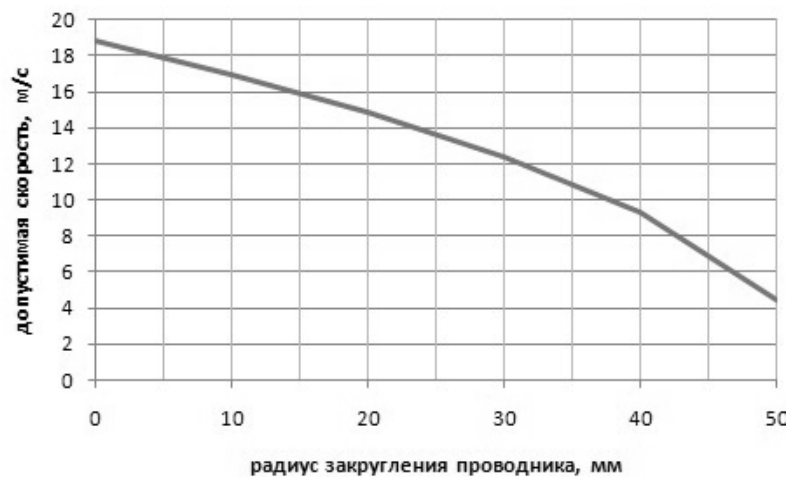


Рисунок 7 - Допустимая скорость движения сосуда при различных радиусах закругления проводника с имеющимся уширением колеи 14мм

При использовании цельнокатаных проводников возможно увеличить скорость по условию кинематического взаимодействия сосуда с армировкой. Для этого необходимо увеличить глубину зева башмака на необходимое расчетное число, принимая во внимание неравенство (1), которое определяет величину глубины зева башмака при условии обеспечения гарантированного зазора между направляющими скольжения сосуда и расстрелами или элементами крепе-

ния проводника, а так же применить проводники с минимально возможным радиусом закругления ребер.

Выводы. 1. Применение цельнокатаных проводников с утолщенными стенками дает преимущество перед сварными по критерию прочности.

2. Радиус закругления цельнокатаных проводников снижает область гарантированного перекрытия башмаком проводника, и приводит к уменьшению допустимого динамического прогиба проводника и требованию к принятию дополнительных мер по сглаживанию профилей проводников и снижению динамических нагрузок на армировку.

3. Применение проводников с закругленными ребрами снижает допустимую скорость подъема по критерию кинематического взаимодействия системы «сосуд-армировка» в обратной зависимости от величины радиуса закругления.

4. Целесообразность применения цельнокатаных проводников со скругленными ребрами должна определяться отдельно в каждом конкретном случае с учетом паспортных параметров ствола или подъема, реальной картины состояния профиля проводников и отклонений ширины колеи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василькевич, В.И. Усовершенствование конструкции коробчатого проводника для подъемного сосуда вертикальных шахтных стволов / В.И. Василькевич, А.А. Стрельченко, А.С. Жалилов // Проблеми експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок: Сборник научных трудов / ПАО «НИИГИМ им. М.М. Федорова».- Донецк, 2012. - вып.106. – С. 26-35.
2. Ильин, С.Р. Разработка и обоснование общей диагностической модели оборудования шахтных подъемных установок / С.Р. Ильин / Геотехническая механика. Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – 2008 - Вып. 76. - с.44-63.
3. Самуся, В.И. Влияние параметров роликовых направляющих на контактные нагрузки в системе "сосуд-армировка" шахтных стволов с нарушенной геометрией / В.И. Самуся, С.С. Ильина // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – № 1. – С. 8 – 13.
4. Василькевич, В.И. Определение допустимых износов проводников и предельных отклонений ширины колеи из условия кинематического взаимодействия подъемного сосуда с жесткой армировкой ствола / В.И. Василькевич // Геотехническая механика. Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – 2012. - Вып. 93 -с.210-225.
5. Методика расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт / НИИГМ им. М.М. Федорова.- Донецк, 1994.
6. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10. – [Затв. наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 22.03.2010 № 62]. – К., 2010.– 430 с. – (Нормативний документ Мінвуглепрому України).

REFERENCES

1. Vasylykevych, V. I., Strelchenko, A. A. and Zhalilov, A. S. (2012), «Usovershenstvovaniye konstrukt-sii korobchatogo provodnika dlya podyemnogo sosuda vertikalnykh shakhtnykh stvolov», *Problems of equipment operation shaft stationary*, no. 106, pp. 207-226.
2. Ilyin S. R. (2008), «Razrabotka i obosnovaniye obshchey diagnosticheskoy modeli oborudovaniya shakhtnykh podyemnykh ustanovok», *Geo-Technical Mechanics*, no. 76, pp. 44-63.
3. Samusya V. I. and Ihina S. S. (2012), «Vliyaniye parametrov rolokovykh napravlyayushchikh na kontaktnye nagruzki v sisteme "sosud-armirovka" shakhtnykh stvolov s narushennoy geometriyey», *Mining Equipment and Electrical Engineering*, no. 1, pp. 8-13.
4. Vasylykevych V. I. (2012), «Opredeleniye dopustimykh iznosov provodnikov i predelnykh otkloneniy shiriny kolei iz usloviya kinematischeeskogo vzaimodeystviya podyemnogo sosuda s zhyestkoy armirovkoy stvola», *Geo-Technical Mechanics*, no. 93, pp. 210-225.

5. *Metodika raschyeta zhyestkikh armirovok vertikalnykh stvolov shakht* [Method of calculating the rigid reinforcement vertical shafts] (1994), M.M. Fedorov Research Institute of mining mechanics (ed.), Donetsk, Ukraine.

6. State committee of Ukraine on industrial safety, labour protection and mountain supervision (2010), *10.0-1.01-10. Pravila bezpeki u vugilnich shakhtakh* [NPAOP 10.0-1.01-10 Rules of safety in coal mines], State committee of Ukraine on industrial safety, labour protection and mountain supervision, Kiev, Ukraine.

Об авторах

Ильин Сергей Ростиславович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, iljin_sr@mail.ru

Соломенцев Константин Анатольевич, кандидат технических наук, исполняющий обязанности председателя правления, Научно-исследовательский институт горной механики им. М.М. Федорова (НИИГМ им. М.М. Федорова), Донецк, Украина

Василькевич Виктор Иванович, научный сотрудник, Научно-исследовательский институт горной механики им. М.М. Федорова (НИИГМ им. М.М. Федорова), Донецк, Украина

About the authors

Ilyin Sergii Rostislavovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher at the Institute of Geotechnical Mechanics, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, iljin_sr@mail.ru

Solomencev Konstantin Anatolyevich, Ph.D. (Tech.), Acting Chairman of the Board, M.M. Fedorov Research Institute of mining mechanics (RIMM), Donetsk, Ukraine

Vasylykevych Viktor Ivanovych, M. Sc (Tech), Researcher, M.M. Fedorov Research Institute of mining mechanics (RIMM), Donetsk, Ukraine

Анотація. Експлуатація жорстких армувань шахтних стволів зі зварними коробчастими провідниками супроводжується низкою негативних явищ, таких як корозійне та механічне зношування провідників, зокрема розкриття зварювального шва у процесі роботи шахтного підйому. Сучасні засоби виробництва дозволяють виготовити суцільнокатаний провідник без зварювальних швів, але з закругленнями на кутах. Закруглення на кутах провідника знижують площу контакту бокових поверхонь башмака з провідником. У статті розглянута та проаналізована доцільність використання суцільнокатаних коробчастих провідників замість зварних коробчастих провідників в умовах реального розширення колії діючих вертикальних стволів шахт з урахуванням наявного динамічного прогину провідників під час взаємодії з підйомною посудиною.

Ключові слова: жорстке армування, коробчастий провідник, зварювальний шов, радіус закруглення провідника, динамічний прогин провідника, допустима швидкість руху посудини.

Abstract. Shaft stiff equipment with the welded box-shaped guides is associated with a number of negative phenomena such as corrosion and mechanical wear of the guides and, in particular, opening of the welded joints in the process of mine hoister operation. Today, means of production can produce a solid-rolled guide with no joints and with rounded corners. The guide rounded corners reduce contact area between side surfaces of the leading device and the guide. The article describes and analyzes feasibility of using the solid-rolled box-shaped guides instead of welded box-shaped guides in conditions of real gage widening in the active vertical mine shaft with taking into account dynamic deflection of the guides due to interaction with the cage.

Keywords: stiff reinforcement, box-shaped guide, welded joint, radius of the guide rounding, dynamic deflection of the guide, permissible speed of the cage.

Статья поступила в редакцию 20.01.2015

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук А.П. Круковским