

УДК 622.6:622.674:622.673.1

Волошин А.И., чл.-кор. НАН України,
д-р техн. наук, професор
(ИГТМ НАН України)

Рубель А.А., канд. техн. наук
(ГП «ОК«Укруглереструктуризация»)

Рубель А.В., магистр
(Минэнергоуголь Украины)

КОНСОЛЬНО-ДЕМПФИРУЮЩИЕ РАССТРЕЛЫ АРМИРОВКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

Волошин О.І., чл.-кор. НАН України,
д-р техн. наук, професор
(ИГТМ НАН України)

Рубель А.А., канд. техн. наук
(ДП «ОК«Укрвуглереструктуризация»)

Рубель А.В., магистр
(Миненерговугілля України)

КОНСОЛЬНО-ДЕМПФУЮЧІ РОЗСТРІЛИ АРМУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ШАХТНИХ СТОВБУРІВ

Voloshin A.I., Cor.Member of NAS of Ukraine,
D.Sc (Tech), Professor
(IGTM NASU)

Rubel A.A., Ph.D (Tech.
SP «ОК«Ukruglerustrukturizatsiya»)

Rubel A.V., M.C (Tech.)
(Minenergovugillya Ukrainy)

CANTILEVER–DAMPING BUNTONS OF THE EQUIPMENT IN THE VER- TICAL SHAFTS

Аннотация. Рассмотрены различные схемы армировки вертикальных стволов для обеспечения движения подъемных сосудов с определением их достоинств и недостатков. Рассмотрены пути совершенствования армировок вертикальных стволов шахт. Разработана конструкция консольно-демпфирующего расстрела для жесткой и канатно-профильной армировки, которая за счет демпфирования значительно снижает колебания системы как в лобовой, так и в боковой плоскости.

Внедрение консольно-демпфирующих расстрелов позволит:

- значительно повысить надежность кинематической связи между сосудом и проводниками ствола, за счет увеличения зева жестких предохранительных направляющих сосуда;
- повысить надежность эксплуатации армировки ствола;
- уменьшить металлоемкость армировки в 8-10 раза по сравнению с жестким (балочным) армированием ствола, особенно в случае с канатно-профильными проводниками;

- существенно снизить аэродинамическое сопротивление вентиляционной струи, что позволит, соответственно, снизить потребление электроэнергии главными вентиляторными установками шахты в течение всего срока службы ствола;
- увеличить срок службы армирования за счет снижения уровня динамических нагрузок в системе «сосуд – армировка»;
- снизить затраты на ремонт армировки ствола в 8-10 раз;
- значительно повысить уровень безопасной эксплуатации, изношенной и искривленной в результате длительной (30-40 лет) эксплуатации на действующих шахтах Украины, армировки вертикального ствола, что позволит избежать аварийных ситуаций.

Ключевые слова: шахтные вертикальные стволы, жесткая армировка ствола, схемы армировки; консольно-демпфирующий расстрел, ярус ствола.

Постановка проблемы. Вертикальные стволы горных предприятий, добывающих полезные ископаемые подземным способом, являются основными выработками шахты и рассчитаны на весь срок работы шахты и долгое время после прекращения ее эксплуатации, на период реструктуризации или консервации. Добыча ископаемых подземным способом и переход на более глубокие горизонты влечет за собой необходимость обеспечения высокой эксплуатационной надежности всего комплекса шахтного вертикального ствола. Выход из строя или повреждение одного из элементов армировки в результате сдвига крепи ствола, коррозионного износа, истирания, искривления проводников, приводит к значительному снижению уровня безопасной эксплуатации всей системы и может привести к масштабным авариям, которые уже имели место.

Расстрелы, образующие ярус армировки вертикальных стволов, выполнены из металлических двутавровых балок или коробчатого профиля. Существуют также и железобетонные расстрелы, которые, как правило, расположены в зумпфе, они применяются на зарубежных шахтах.

В качестве направляющих проводников для движения сосудов используются: рельсовые, коробчатые и канатно-профильные проводники.

Рельсовые проводники жесткой армировки имеют большое различие между лобовой и боковой жесткостью, и также значительно различаются по жесткости проводника (P38, P43, P50) на ярусе и между ярусами расстрелов, выполненных обычно двутавровыми балками (№27, №30) или коробчатыми балками, что приводит к ограничению интенсивности подъема [1].

Коробчатые проводники по сравнению с рельсовыми, обладают высокой надежностью, имеют одинаковую жесткость в обоих направлениях и большую жесткость между ярусами, что позволяет эксплуатировать их на подъемах с высокой интенсивностью (до 35МДж) и вести добычу полезных ископаемых с глубоких горизонтов. С ростом глубины стволов начинают преобладать недостатки, возникает необходимость в высокой эксплуатационной надежности всех элементов, так как отклонение от нормативных параметров или выход из строя одного из элементов армировки (искривление проводника, разрушение крепления к расстрелу, сдвигение расстрелов яруса в результате пучения горных пород, разрушение заделки расстрела в крепь ствола и

прочее) ведет к снижению уровня безопасной эксплуатации армировки и подъема в целом, и может привести к масштабным авариям.

Также в глубоких стволах жесткая армировка, а именно большое количество ярусов, создает высокое аэродинамическое сопротивление вентиляционной струи, что вызывает дополнительные энергозатраты при работе главных вентиляторных установок.

Жесткая армировка имеет высокую металлоемкость и стоимость, а также требует значительных эксплуатационных затрат в течение всего срока службы ствола.

Цель исследований – в основу исследования положена задача усовершенствования армировки ствола, а именно-поиск технического решения, которое позволит снизить динамические нагрузки в системе «сосуд – армировка» за счет:

-контакта проводника и расстрела через демпфирующую вставку которая, при этом незначительно снижает жесткость армировки.

-повышения надежности кинематической связи между сосудом и проводниками армировки ствола, исключив при этом выход сосуда из направляющих даже при очень сильно искривлённых проводниках по длине ствола.

Совершенствование конструкции яруса, поиск новых решений армирования шахтных вертикальных стволов особенно актуально для обеспечения безопасной эксплуатации и пропускной способности стволов как основных транспортных магистралей глубоких шахты.

Материалы и результаты исследования. По состоянию на 2009 год, на шахтах угольной промышленности Украины всех форм собственности в эксплуатации было 468 вертикальных стволов, из которых более 140 относились к особо дефектным, по фактору неудовлетворительного состояния армировки и крепи ствола. За прошедшие 7 лет финансирования государственных программ технического переоснащения стационарного оборудования шахт осуществлялось в крайне недостаточных объемах при практически полном отсутствии у угледобывающих предприятий собственных средств на эти цели.

Это привело к нынешнему состоянию шахтных стволов, при которых более 40% армировок находятся в неудовлетворительном состоянии, в результате чего для обеспечения безопасной работы службы эксплуатации вынужденно снижают скорость движения подъемных сосудов в проводниках по глубине ствола.

Прогиб проводника под нагрузкой от скипа (для подъемов с интенсивностью 25-32МДж) составляет, в среднем, 3-5мм для коробчатых не искривленных проводников, при этом ударная нагрузка, передаваемая на ярус, находится в пределах 5-15кН; в случае искривления проводников ударные нагрузки резко возрастают до 20-30 кН; а в некоторых случаях- и до 60-75 кН [1, 2]. Далее сосуд, получив ударный импульс на искривленном проводнике, движется (в плоскости проводников) к противоположному проводнику, передавая импульс ему или расстрелу яруса, таким образом, искривленные проводники раскачивают сосуд, в пределах кинематических зазоров с увели-

чивающейся амплитудой, что приводит к дальнейшему искривлению следующего участка проводников.

Жесткость упругих роликовых направляющих замедляет время соприкосновения жестких направляющих сосуда с противоположными смежными проводниками, она рассчитывается по формулам расчета зарезонансного режима движущего сосуда в пределах свободного хода роликоопор [1]:

$$C_P^B = \frac{mV^2\pi^2}{16h^2}; \quad C_P^L = \frac{2mV^2\pi^2}{16h^2}$$

Принимая во внимание тот факт, на который указывал еще О.А. Залесов [4], что повышенная динамика на определенных участках ствола искривляет проводники с произвольной амплитудой, но строго определенной частотой

искривления равной $\frac{\pi V}{h}$, что указывает на резонансный процесс неосновных гармоник.

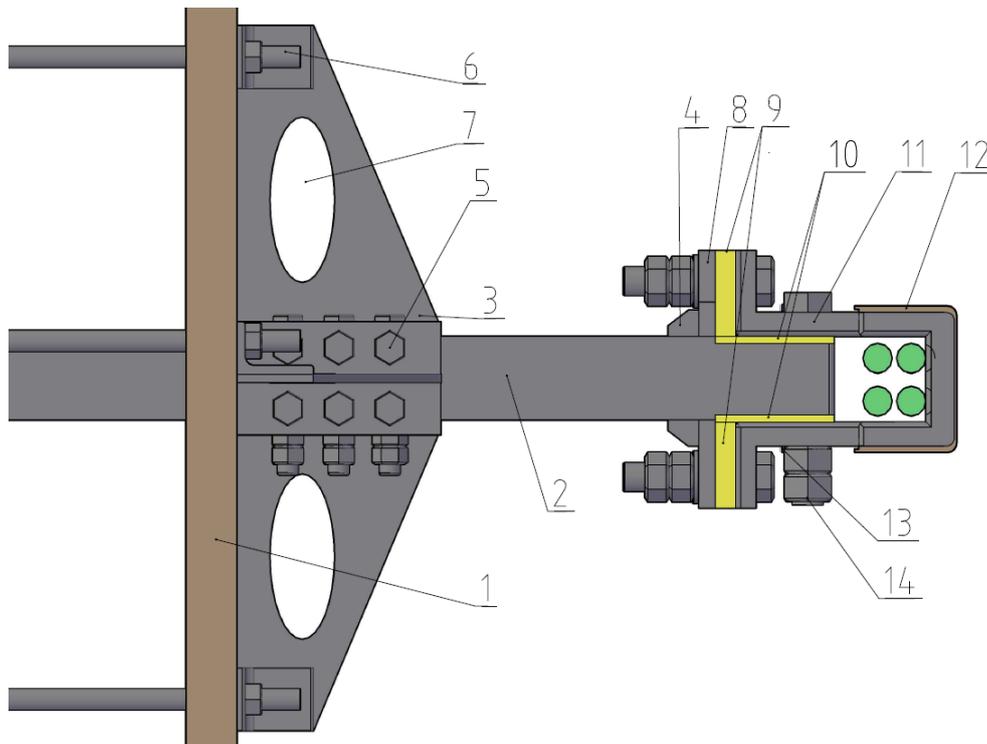
То есть источником дополнительных колебаний сосуда в зарезонансном режиме являются искривления проводников, влияющие на расширение неосновных резонансных гармоник, поэтому целесообразно применение дополнительных устройств (демпферов), которые бы увеличили затухание колебаний (поглощая их), а также увеличили время контакта сосуда от встречи с одним искривленным проводником до последующего проводника в пределах кинематических зазоров.

Согласно методики [1], снижать жесткость сосуда и армировки означает увеличивать основную зону параметрического резонанса и снижать допустимую интенсивность подъема. Увеличивать зазор в паре «сосуд-проводник» не имеет смысла, ввиду стесненности пространства в стволе, а также высоких затрат на строительство стволов с большим сечением ствола.

Поэтому предлагается применять консольные расстрелы с установкой на них пресмассовых или резиновых пластин (демпферов типа многослойный «сэндвич»), которые незначительно снизят жесткость системы, при этом добротность системы и влияние неосновных резонансных гармоник на устойчивость системы снизятся в значительной степени. Кроме того, небольшие отклонения конца консольного расстрела позволят избежать сильного удара и искривления расстрела при возникновении аварийной ситуации в стволе или при сверхвысоких ударных нагрузках.

Одним из преимуществ разработанной конструкции консольного расстрела является возможность увеличить величину зева направляющих лап сосудов, что сразу обеспечит рост уровня эксплуатационной безопасности системы, даже в аварийных ситуациях.

Конструкция консольно-демпфирующего расстрела приведена ниже на рисунках 1-3.

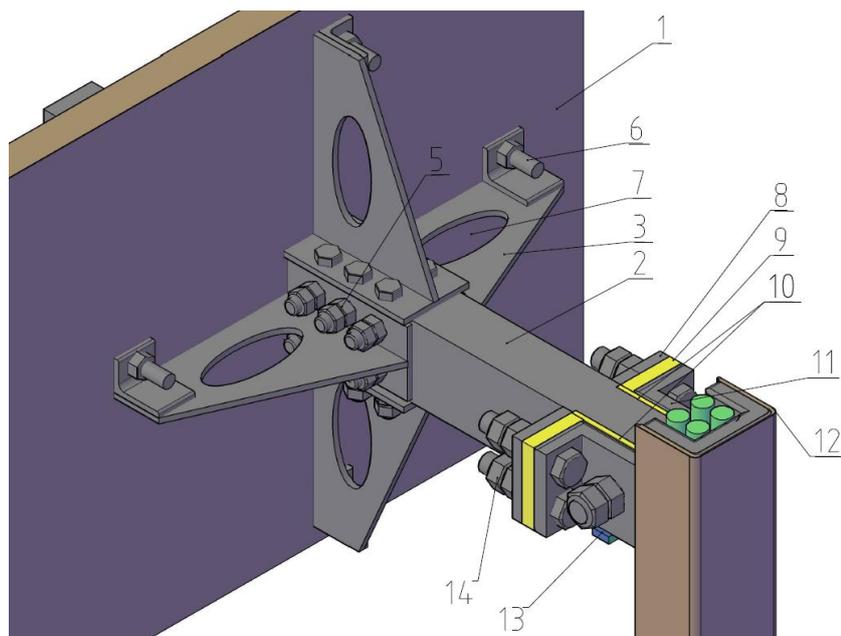


1 – крепь ствола; 2 – консольная балка расстрела (коробчатая); 3 – распорные конструкции расстрела; 4 – упорная планка; 5 – болтовое крепление упорных конструкций 3; 6 – анкерное (канатный анкер) крепление упоров к крепи ствола 1; 7 – отверстия в упорах 3; 8 – планка, которая жестко приварена к балке расстрела 2; 9 – демпферные вставки лобовых колебаний (движение вперед-назад); 10 – демпферные вставки боковых колебаний (движение лево-вправо); 11 – подвижная скоба крепления проводника к расстрелу; 12 – проводник; 13 – поддерживающая планка скобы 11, которая жестко приварена к балке 2; 14 – болтовое соединение

Рисунок 1 Консольно-демпфирующий расстрел (вид сверху)

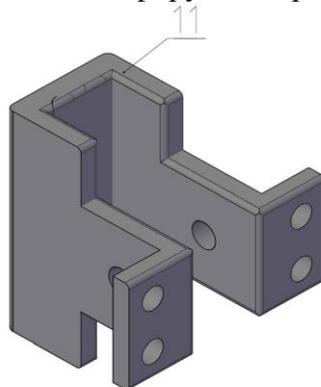
Проводник крепится к одному концу расстрела 2 с помощью подвижной скобы 11, изображенной на рис. 3, другим концом расстрел заделывается в крепь ствола 1 и крепится упорами с четырех сторон 3, концы упоров закрепляются в крепи ствола с помощью канатных анкеров 6. Для предохранения от налипания горной массы и от коррозии упоры расстрела 3 имеют отверстия 7 или выполняются из уголков. При недостаточной жесткости консольный расстрел закрепляется снизу или сверху, или с двух сторон дополнительными распорками. В боковой плоскости горизонтальные нагрузки от скипа на проводник значительно меньше, поэтому достаточно соединить смежные расстрелы вместе поперечной тягой и при этом монтировать дополнительные упоры в боковой плоскости нет необходимости. Снизу балки расстрела приварена планка, на которую передается вес проводника.

Из-за меньшей жесткости в сравнении с балочными расстрелами, консольные расстрелы наиболее применимы: в клетьевых стволах; на подъёмных установках с невысокой интенсивностью подъема; при смешанном ярусе армировки; при разных подъемах, работающих в одном стволе - скиповом и клетьевом.



1 – крепь ствола; 2 – консольная балка (коробчатый профиль); 3 – распорные конструкции расстрела; 4 – поддерживающая планка; 5 – болтовое крепление упорных конструкций 3; 6 – анкерное (канатный анкер) крепление распорных частей 3 расстрела к крепи ствола 1; 7 – отверстия в распорных конструкциях 3; 8 – планка, которая жестко приварена к балке; 9 – демпферные вставки лобовых колебаний (движение вперед-назад); 10 – демпферные вставки боковых колебаний (движение влево-вправо); 11 – подвижная скоба крепления проводника к расстрелу; 12 – проводник; 13 – поддерживающая планка скобы 11, которая жестко приварена к балке 2; 14 – болтовое соединение

Рисунок 2 – Консольно-демпфирующий расстрел (изометрия)



11 – скоба консольно-демпферного расстрела

Рисунок 3 – Изометрический вид подвижной скобы

Между концом расстрела и подвижной скобой устанавливаются демпферы 9, 10 (типа «сэндвич») в боковом и лобовом направлениях. Скоба 11, демпферы 9, 10, расстрел соединен между собой болтовыми соединениями 14.

Далее, на рисунках 4, 5, 6, приведены возможные схемы сравнения армировок с использованием балочных и консольных расстрелов, и их совместной работы.

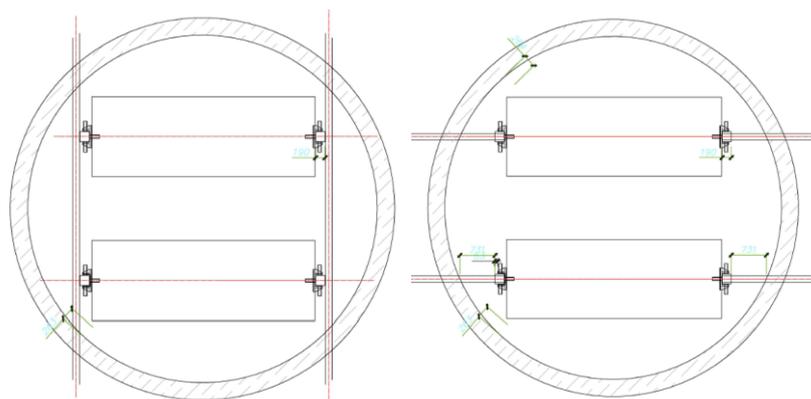


Рисунок 4 – Клетьевого подъем с балочными и консольными расстрелами.

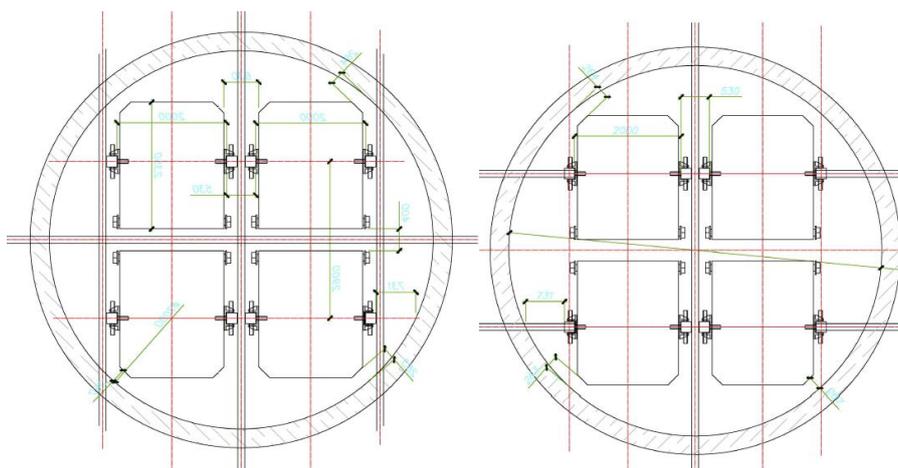


Рисунок 5 – Скиповой подъем с балочными и консольными расстрелами (смешанный ярус).

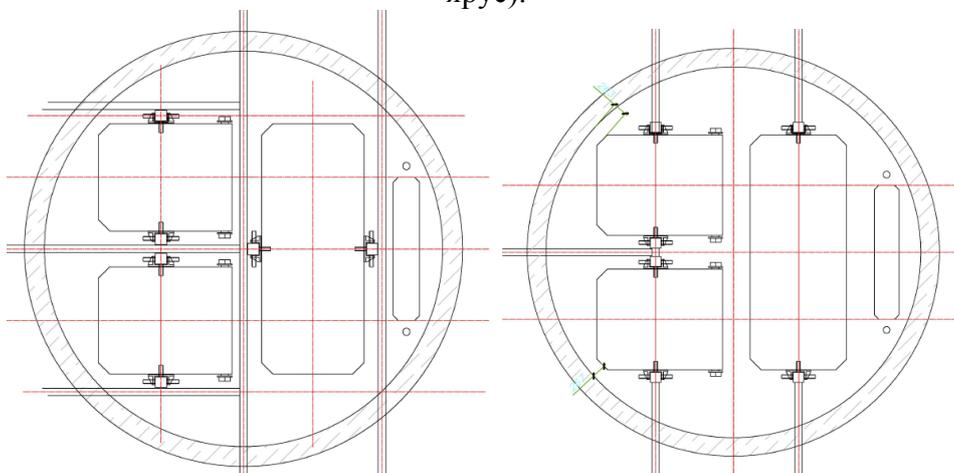


Рисунок 6 – Подъем с балочными и консольными расстрелами со скиповым и клетьевым отделением в стволе

При такой конструкции демпфирования сужение основной резонансной зоны не произойдет или произойдет незначительно, однако влияние резонансных гармоник 2-го, 3-го, 4-го порядка и других в зарезонансном режиме, которые особенно расширяются при встрече сосуда с искривленными проводниками и негативно влияют на работу всей системы, удастся свести к минимуму, а также произойдет снижение уровня динамических колебаний в стволе.

Наибольшего эффекта снижения уровня динамики в стволе возможно достигнуть при совместном использовании консольно-демпфирующего проводника [3] и канатно-профильного проводника, в виду способности к изгибанию, отсутствию жесткого контакта проводника с расстрелом, а также отсутствию удара на расстреле. Крепление проводника к расстрелу с помощью скобы (рис. 2) позволяет избежать боковых нагрузок и кручения проводника в результате действия сил от крутящего момента в головном канате, аэродинамической силы воздействия на сосуды в месте их встречи и вследствие эксцентриситета загрузки подъемных сосудов.

Кроме того, отсутствие поперечных балок яруса в конструкции консольно-демпфирующего расстрела позволит значительно увеличить кинематическую связь между проводником и подъемным сосудом за счет увеличения зева направляющих лап сосуда.

Выводы.

Внедрение консольно-демпфирующих расстрелов армировки вертикальных стволов позволит:

- повысить надежность эксплуатации армировки ствола;
- уменьшить металлоемкость армировки в 8-10 раза по сравнению с жестким (балочным) армированием ствола;
- существенно снизить аэродинамическое сопротивление воздушной струи, что позволит оптимизировать работу главных вентиляторных установок и значительно снизить потребление электроэнергии;
- увеличить срок службы армирования за счет снижения уровня динамической нагруженности в системе «сосуд – армировка»;
- снизить затраты на обслуживание армировки ствола;
- значительно повысить надежность кинематической связи в системе «сосуд – армировка», и, следовательно, снизить уровень аварийности армировки, даже при искривленных или изношенных проводниках.

Внедрение консольно-демпфирующих расстрелов значительно повысит уровень безопасной эксплуатации армировки вертикального ствола, изношенной и искривленной в результате длительной (30-40 лет) эксплуатации на действующих шахтах Украины, что позволит избежать аварий, связанных с выходом сосудов из проводников, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Методика расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт, – НИИГМ им. М.М. Федорова. – Донецк, 1985
2. Программа технического переоснащения стационарного оборудования угледобывающих предприятий Минэнергопрома на 2010 – 2015 годы // Министерство угольной промышленности Украины. – К., 2009. – 85 с.
3. МПК (2016.01), E21D 7/00. Консольно-демпфирующий розстріл / Рубель А.О.; заявник Рубель А.О.; власник Рубель А.О. – № u2016 03999; заявл. 12.04.2016.
4. Залесов, О.А. Армировка вертикальных стволов шахт и ее исследование на электронных моделирующих установках. – М.:Недра», 1966.

REFERENCES

1. *Metodika rascheta zhestkikh armirovok vertikalnikh stvolov shakht* [Method of calculation of hard equipment of vertical shafts of mines] (1985), M.M. Fedorov SIIMM, Donetsk, SU.

2. *Programma tekhnicheskogo pereosnashcheniya statsionarnogo oborudovaniya ugliedobyvayushchikh predpriyatiy Minenergoproma na 2010-2015 gody* [Program of the technical retooling of stationary equipment of the coal-output enterprises of Minenergoprom on 2010 – 2015 years] (2009), The Ministry of the coal industry of Ukraine, Kiev, UA.

3. Rubel A.O. ; Rubel A.O (2016), *Konsolno-dempfiruyuchiy rozstril* [Cantilever-damping shooting], Dnepropetrovsk, UA, № u2016 03999; appl. 12.04.2016.

4. Zalesov, O.A. (1966), *Armirovka vertikalnykh stvolov shakht i eye issledovaniye na elektronnykh modeliruyushchikh ustanovkakh* [Equipment of vertical shafts of mines and its research on electronic designing options], Nedra, Moscow, SU.

Об авторах

1. **Волошин Алексей Иванович**, член-корреспондент Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, заместитель директора института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной Академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина.

2. **Рубель Андрей Александрович**, кандидат технических наук, главный энергетик ДП «ОК «Укруглереструктуризация», Киев, Украина, AORubel@gmail.com.

3. **Рубель Александр Васильевич**, инженер, главный механик Министерства энергетики и угольной промышленности Украины, Киев, Украина, AMRubel@gmail.com.

About the authors

1. **Voloshin Aleksey Ivanovich**, Corresponding Member of the National Academy of Science of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), Professor, Deputy Director of Institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine

2. **Rubel Andrey Aleksandrovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Chief Power Engineering Specialist of DP «OK «Ukruglerestrukturizatsiya», Kiev, Ukraine, AORubel@gmail.com.

3. **Rubel Aleksandr Vasilevich**, Master of Science, Chief Mechanician of Ministry of Power Engineering and Coal Industry of Ukraine, Kiev, Ukraine, AVRubel@gmail.com.

Анотація. Розглянуто різні схеми армування вертикальних стовбурів для забезпечення руху підйомних посудин з визначенням їх переваг та недоліків. Розглянуто шляхи вдосконалення арміровок вертикальних стовбурів шахт. Розроблено конструкцію консольно-демпфуючого розстрілу для жорсткої і канатно-профільної армування, яка за рахунок демпфірування значно знижує коливання системи як в лобовій, так і в бічній площині.

Впровадження консольно-демпфуючих розстрілів дозволить:

- значно підвищити надійність кінематичного зв'язку між посудиною і провідниками стовбура, за рахунок збільшення зіву жорстких запобіжних напрямних судин;
- підвищити надійність експлуатації армування ствола;
- зменшити металоємність армування в 8-10 рази в порівнянні з жорстким (балковим) армуванням стовбура, особливо у випадку з канатно-профільними провідниками;
- істотно знизити аеродинамічний опір вентиляційного струменя, що дозволить, відповідно, знизити споживання електроенергії головними вентиляторними установками шахти протягом всього терміну служби стовбура;
- збільшити термін служби армування за рахунок зниження рівня динамічних навантажень в системі «посудину - армування»;
- знизити витрати на ремонт армування стовбура в 8-10 разів;
- значно підвищити рівень безпечної експлуатації, зношеної і викривленої в результаті тривалої (30-40 років) експлуатації на діючих шахтах України, армування вертикального стовбура, що дозволить уникнути аварійних ситуацій.

Ключові слова: шахтні вертикальні стовбури, жорстке армування стовбура, схеми армування; консольно-демпфуючий розстріл, ярус стовбура.

Abstract. Various schemes of vertical shafts equipment providing moving of the cage are con-

sidered in the paper in terms of their advantages and disadvantages. Different ways are presented for improving the vertical shaft equipment. A cantilever-damping buntion was designed for stiff and rope-profile equipment, which, thanks to the damping system, essentially reduces vibrations both in frontal and side planes.

Implementation of the cantilever-damping buntions can:

- significantly increase reliability of the kinematic connection between the cage and the shaft guides thanks to increased opening of the cage safety guides;
- increase reliability of the shaft equipment operation;
- reduce steel intensity of the shaft equipment by 8-10 times if to compare with the stiff (beamed) shaft equipment, especially for specialized rope-profile guides;
- significantly reduce aerodynamic resistance of the air jet and, accordingly, reduce power consumed by the mine main fan installations throughout the whole operation life of the cage;
- increase lifespan of the shaft equipment thanks to reduced dynamic loads in the system "cage – shaft equipment";
- cut costs of the shaft equipment repair by 8-10 times;
- essentially improve safety operation of vertical shaft equipment which has been worn-out and curved in result of long-term (30-40 years) operation in acting mines of Ukraine, and, consequently, help to escape accidents.

Keywords: mine vertical shafts, stiff shaft equipment, flexible shaft equipment; console-damping rasstrel armyrovky vertical mine shafts; cantilever-damping buntion, shaft floor

Статья поступила в редакцию 12.03. 2016

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