

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СХЕМ ДИСКРЕТНОГО ШАГА АРМИРОВКИ В СТОЛЕ С КАНАТНО-ПРОФИЛЬНЫМИ ПРОВОДНИКАМИ

¹Волошин А.И., ²Рубель А.А., ³Бойко Б.И., ⁴Рубель В.А., ⁵Кураева А.В.

¹Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины,

²ГП «ОК«Укрглеструктуризация», ³ГП «Нововолынский ремонтно-механический завод»,

⁴ООО «Рекорд-А», ⁵ООО «Пфайзер Украина»

ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА СХЕМ ДИСКРЕТНОГО КРОКУ АРМУВАННЯ В СТОВБУРІ З КАНАТНО-ПРОФІЛЬНИМИ ПРОВІДНИКАМИ

¹Волошин О.І., ²Рубель А.О., ³Бойко Б.І., ⁴Рубель В.О., ⁵Кураева О.В.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України,

²ДП «ОК«Укрвглеструктуризація», ³ДП «Нововолінський ремонтномеханічний завод»,

⁴ТОВ «Рекорд-А», ⁵ТОВ «Пфайзер Україна»

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF SCHEMES OF THE DISCRETE STEP OF REINFORCEMENT IN THE SHAFT WITH ROPE PROFILE CONDUCTORS

¹Voloshin A.I., ²Rubel A.A., ³Boyko B.I., ⁴Rubel V.A., ⁵Kuraeva O.V.

¹ Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine, ²SE «Ukruglerekstrukturizatsiya» OK, ³SE "Novovolynsky Repair and Mechanical Plant",

⁴LLC "Record-A", ⁵LLC "Pfizer Ukraine"

Аннотация. Вертикальные стволы для обеспечения направленного движения сосудов оборудуются армировкой. В зависимости от конструктивного исполнения различают различные ее типы: жесткие, гибкие, безрасстрельные, канатно-профильные. В работе рассмотрены существующие схемы армирования стволов и исследованы их достоинства и недостатки, рассмотрены конструктивные решения армирования ствола на основе канатно-профильных проводников с дискретным шагом армировки между ярусами в месте встречи сосудов. Разработка, исследование, внедрение схем дискретных армировок в месте встречи сосудов на основе канатно-профильных проводников позволит значительно снизить недостатки существующих (жестких и гибких) армировок и достичь следующих результатов: снизить количество ярусов армировки, расположенных по глубине ствола; увеличить безаварийный срок эксплуатации; снизить капитальные затраты при строительстве вследствие уменьшения диаметра ствола (для гибких армировок); снизить трудоемкость обслуживания и ремонта; значительно снизить металлоемкость армировки по сравнению с жесткой армировкой стволов; снизить уровень динамических колебаний в системе «сосуд-армировка»; увеличить демпфирующие свойства армировки ствола; снизить аэродинамическое сопротивление ствола до уровня гибкой армировки; повысить уровень надежности и безопасности эксплуатации армировки ствола; исключить необходимость применения отбойных канатов; увеличить срок службы канатно-профильных проводников до уровня жестких проводников. Результатом исследований и разработки конструкций и схем является увеличение надежности, долговечности оборудования вертикального ствола и повышение рентабельности добычи полезных ископаемых с более глубоких горизонтов. Внедрение данных схем дискретного шага армирования в месте встречи сосудов (в середине ствола) для различных схем ярусов позволит значительно повысить уровень безопасной эксплуатации оборудования вертикального ствола и всего подъемного комплекса в целом.

Ключевые слова: шахтные вертикальные стволы, канатно-профильные проводники, дискретный шаг армировки, система «сосуд-армировка».

Постановка проблемы.

Шахтные стволы (вертикальные, наклонные) являются основными капитальными выработками шахты, имеющими выход на поверхность и рассчитанными на весь срок работы шахты и затем долгое время, на период ликвидации или консервации шахты, для спуска/подъема людей, полезных ископаемых; материалов, оборудования и проветривания горных выработок.

Стволы разделяют на вспомогательные и главные. Главные служат для подъема полезных ископаемых, вспомогательные – для спуска/подъема людей, материалов и оборудования. Вертикальные стволы для обеспечения направленного движения сосудов оборудуются армировкой. В зависимости от конструктивного исполнения различают различные ее типы: жесткие, гибкие, безрасстрельные, канатно-профильные.

Гибкая армировка состоит из проводниковых канатов, натяжных грузов, узлов крепления, обойных канатов, а также дополнительной жесткой армировки в копре и на промежуточных горизонтах [1]. Основные схемы расположения канатных проводников относительно сосудов представлены на рис. 1 [1]

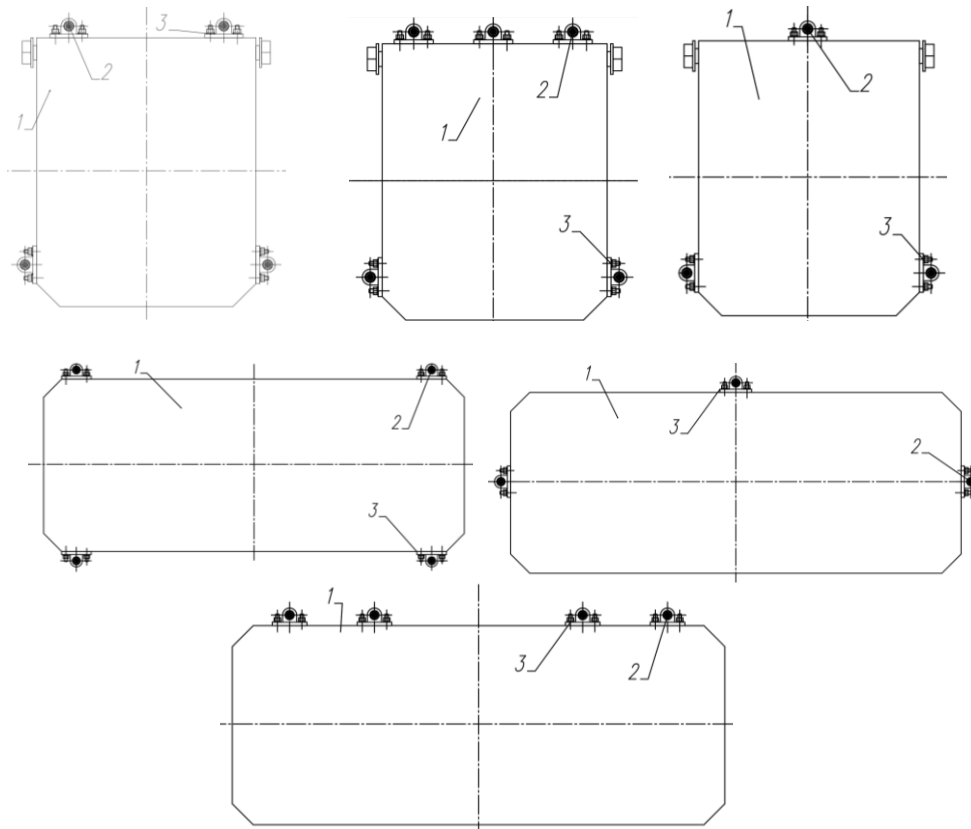


Рисунок 1 – Схемы расположения канатных проводников относительно сосуда
1 – сосуд; 2 – проводниковый канат; 3 – направляющая лапа.

Гибкая армировка обладает следующими недостатками:

- требуется большее поперечное сечение ствола при тех же параметрах подъема в сравнении с жесткой армировкой (минимальную величину проектного зазора между наиболее выступающими частями подъемного сосуда принимают 300 мм при глубине ствола до 800 м и 350 мм - при глубине свыше 800 м [1]);
- низкий срок службы канатных проводников (4 года);
- высокий коррозионный и механический износ канатных проводников;
- высокая стоимость канатов закрытой конструкции;
- высокий уровень горизонтального раскачивания сосудов при движении сосудов;

- большое количество проводниковых и отбойных канатов в стволе;
- большие размеры зумпфовой части ствола для крепления натяжных грузов и обслуживания прицепных устройств;
- наличие жесткой армировки на промежуточных горизонтах и в копре;
- потери рабочего времени и дополнительные затраты, связанные с необходимостью замены канатных проводников ствола.

В горной промышленности широкое распространение получили жесткие армировки, методика расчета которых была разработана в ИГМ им. М.М. Федорова [2]. Конструкция их состоит из вертикальных проводников (рельсовых, коробчатых, деревянных) и горизонтальных расстрелов. Расстрелы изготавливаются из двутаврового коробчатого сварного профиля (сварка в направляющих), реже бывают железобетонными, и подразделяются на главные, вспомогательные и ложные. Главные расстрелы проходят через все сечение ствола и заделываются противоположными концами в крепь ствола, вспомогательные – крепятся одним концом к главному расстрелу, а другим заделываются в крепь ствола. Ложные расстрелы используются для придания жесткости и устанавливаются, зачастую, между параллельными расстрелами. Расстрелы, установленные в одной горизонтальной плоскости (сечении) ствола, образуют ярус армировки, расстояние между ярусами которой называют шагом армировки. Заделка расстрелов в крепь ствола осуществляется заводкой расстрела в лунки, крепления и последующей заделкой с помощью быстротвердеющих бетонных смесей, или с применением химических анкеров (типа HIT-RE 500) и стальных шпилек HIT-V (HILTI) [10] или обычных анкеров. В некоторых, наиболее ответственных, случаях иногда применяют канатные анкеры.

Шаг армировки принимают согласно [2]:

- для деревянных проводников от 2 - 4 м; - рельсовых - 3,126; 4,168 и 6,252 м;
- коробчатых – от 3 - 6 м, при увеличении шага армировки необходимо существенно увеличить жесткость несущих расстрелов и проводников.

Часто применяемые типовые схемы ярусов жесткой армировки ствола, разработанные ГП «Южгипрошахт», представлены в табл. 1 и табл. 2. [17].

Как видно из таблиц, ярус армировки и их шаг создают высокое аэродинамическое сопротивление движению вентиляционной струи по глубине ствола [4], и иногда служат одной из причин перехода на канатные армировки или приводит к необходимости увеличения диаметра ствола.

Жесткая армировка имеет высокую металлоемкость и стоимость и требует больших эксплуатационных затрат в течение всего срока службы ствола, имеются также и другие существенные недостатки:

- значительные динамические нагрузки в системе «сосуд-армировка» при искривлении проводников»;
- высокая трудоемкость изготовления, монтажа и обслуживания элементов армировки.

Таблица 1 – Типовые схемы ярусов жесткой армировки ствола для клетьевого подъема

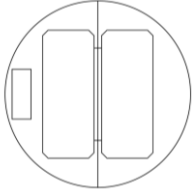
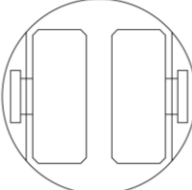
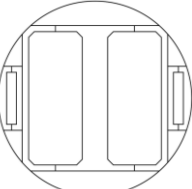
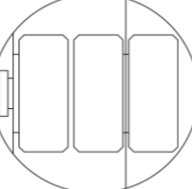
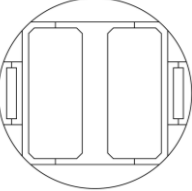
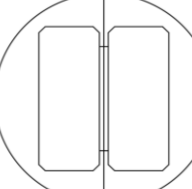
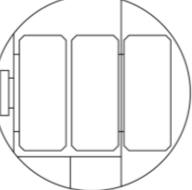
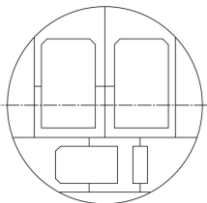
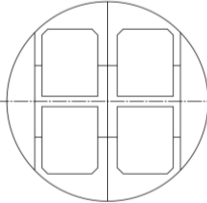
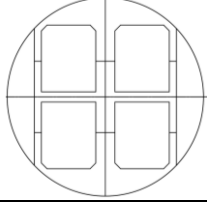
№ п/п	Диаметр ствола, м	Схема армировки	Число подъемов	Число клетей размеры клетей в плане	Тип подъема	Глубина ствола, м	Тип проводников	Расположение проводников
1	6		2	две клетки 4000х1500мм, одна клеть аварийно- ремонтного подъема	Однока- натный	700	Рельсовые Р43	Односто- роннее
2	7		2	две клетки 4000х1500мм, каждая с противовесом	Однока- натный. Много- канат- ный	700, 1400	Рельсовые Р43, Р50	Односто- роннее
3	7		2	две клетки 4000х1500мм, 5200х1500мм,	Однока- натный. Много- канат- ный	700, 1400	Коробча- тые 170х160х 12	Лобовое
4	8		2	три клетки 4000х1500мм, одна клеть с противовесом	Однока- натный. Много- канат- ный	700, 1400	Коробча- тые 170х 160х 12	Лобовое
5	8		2	две клетки 5200х1500мм, одна клеть с противовесом	Много- канат- ный	1400	Коробча- тые 170х160х 12	Лобовое
6	6		1	две клетки	Однока- натный	700	Рельсовые Р43	Двухсто- ронне боковое
7	8		2	три клетки 4000х1500мм, одна клеть с противовесом	Однока- натный. Много- канат- ный	700, 1400	Рельсовые Р43, Р50	Односто- роннее

Таблица 2 - Типовые схемы ярусов жесткой армировки ствола скипового подъема

№ п/п	Диаметр ствола, м	Схема армировки	Число подъемов	Число клеток размеры клетки в плане	Тип подъема	Глубина ствола, м	Тип проводников
1	6		Один угольный, один породный	Два скипа вместимостью 11; 15м ³ , один скип вместимостью 7; 9.5м ³	Одноканатный	700	Коробчатые или рельсовые
2	7		Один угольный, один породный	Два скипа вместимостью 11; 15м ³ , и скипы вместимостью 7; 9.5м ³	Одноканатный. Многоканатный	700, 1400	Коробчатые или рельсовые
3	7		Один угольный, один породный	Два скипа вместимостью 25; 35м ³ , и скипы вместимостью 11; 15м ³	Одноканатный. Многоканатный	700	Коробчатые или рельсовые

Существует также схемы ярусов жесткой армировки с расстрелами, выполненными в виде:

- одинарных консолей, такими оборудован ствол №32«бис» ш. «Центральная» ГП «Торецкуголь»;
- П-образными консолями; ими оборудован ствол №1 ш. «Голубовская» ГП «Стахановуголь» (ныне ликвидирована ГП ОК «Укруглереструктуризация»);
- консольными оборудован ствол ш. «Славносербская» ПО «Луганскуголь» (ныне ликвидирована ГП ОК «Укруглереструктуризация»);
- консольно-распорными, оборудован северный вентиляционный ствол №32 ЗЖРК (клеть с противовесом) по проекту ГП «УкрНИИпроект», и другие, которые не имеют сквозных расстрелов через все центральное сечение ствола, что существенно снижает аэродинамическое сопротивление ствола.

Однако вышеописанные схемы ярусов (так называемые «безрасстрельные армировки») обладают значительной металлоемкостью, имеются консольные нагрузки от веса проводников; в остальном им также присущи все недостатки и достоинства жесткой армировки.

Гибкая армировка не имеет ярусов, но с ростом глубины ствола значительно вырастает ее стоимость; например, при достижении глубины ствола Н=1500м и выше при 4-х проводниковых канатах на сосуд и отбойных канатах

значительно вырастает длина и стоимость канатной продукции, а ввиду того, что их необходимо менять каждые 4 года, согласно [1], стоимость затрат ограничивает область ее распространения, кроме тех случаев, когда жесткая армировка не проходит по фактору проветривания горных выработок.

При развитии подземных работ и уходе на более глубокие горизонты возникает необходимость в продолжительной транспортировке полезных ископаемых, вспомогательных грузов, оборудования и людей, что крайне сложно без наращивания глубины вертикальных стволов. Одним из основных препятствий развития жесткой армировки является значительное увеличение количества ярусов по глубине с увеличением воздействия роста всех недостатков, присущих жестким армировкам.

Поэтому целью данного исследования является разработка путей снижения количества ярусов армировки вертикального ствола.

Цель исследования. В основу исследования положена задача – поиск и разработка дискретных шагов армировки в месте встречи сосудов (в середине ствола) при движении их в канатно-профильных проводниках, которые позволят снизить многие вышеприведенные недостатки армировок и обеспечить:

- снижение количества расстрелов, расположенных по глубине ствола;
- более высокую скорость движения сосудов и грузоподъемность ствола;
- исключение в ярусах наличие главных расстрелов через все сечение ствола;
- снижение капитальных затрат при строительстве вследствие снижения диаметра ствола по сравнению с канатной армировкой;
- снижение металлоемкости армировки в сравнении с жесткой;
- значительное снижение вероятности возникновения параметрического резонанса и снижение уровня динамических колебаний в системе «сосуд-армировка» в дорезонансной и зарезонансной зоне;
- снижение аэродинамического сопротивления ствола до уровня гибкой армировки;
- повышение уровня надежности и безопасности эксплуатации армировки ствола;
- избавление от необходимости применения отбойных канатов;
- применение новых современных материалов и, как следствие, снижение веса армировки ствола;
- увеличение срока эксплуатации проводников до уровня жесткой армировки ствола.

Разработка конструкций и достижение поставленных целей позволит снизить капитальные и эксплуатационные затраты при добыче полезных ископаемых с существующих и более глубоких горизонтов.

Материалы и результаты исследования.

Канатно-профильный проводник (далее – КПП или проводник) [6,7,8] ствола состоит из основных элементов, а именно:

- ограждающего профиля, выполненного из стандартного швеллера в соответствии с ГОСТ 8278-83;
- канатов, расположенных внутри профиля, стальных или композитных;
- стяжных скоб, задняя часть которых сварена в ограждающий профиль, и верхних частей, стягиваемых болтовым соединением в единый проводник;
- ограждающей задней крышки с болтовым креплением к профилю и стяжным скобам.

Проводник изготавливается из стандартных гнутых швеллеров длиной $L=12$ м, соединение их между собой осуществляется стыковочной скобой, имеющей длину большую, чем скоба крепления, и четырьмя болтовыми соединениями. Одна половина задней части стыковочной скобы сваривается в ограждающий профиль, на другую (выступающую) часть скобы устанавливается следующий профиль гнутого швеллера и закрепляется винтами. Промежуточные скобы крепления имеют по два болтовых соединения и свариваются задней частью в ограждающий профиль, далее болтовыми соединениями и верхними частями скобы закрепляются на стальных канатах (типа 42-Г-1-Н-1372 со стальным сердечником ГОСТ 7669-80, комбинированных или полимерных) [6, 7].

Расстояние между стяжными скобами составляет 4 м, и они имеют два болтовых крепления к канатам и профилю [6, 7].

Крепление прицепных устройств верхних концов канатов КПП осуществляется на перекрытии или специально усиленном поясе копра, исключая возможность крепления всех канатов в одном его сечении. Конструктивное исполнение многошкивных устройств натяжения КПП в копре подробно описано в работе [14]. Собственный вес КПП позволит уменьшить вес и габариты разработанных конструкций натяжных устройств и оборудования зумпфа, что подробно описано в работе [18], и позволяет дополнительно гасить колебания за счет наличия резиновых демпферных блоков.

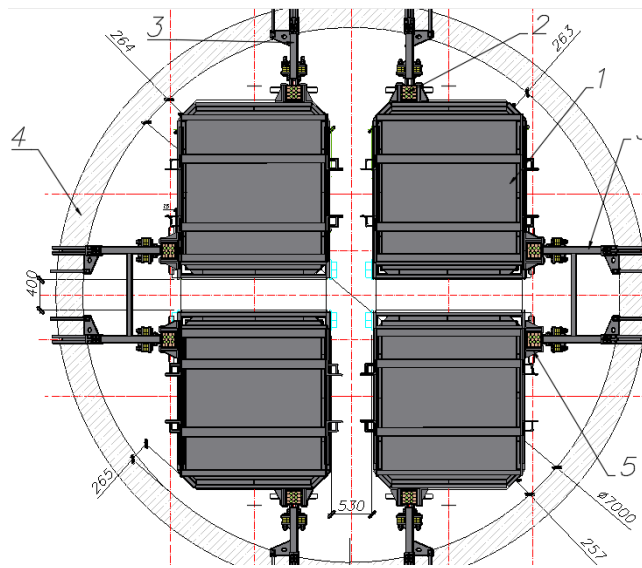
Одной из разработанных конструкций яруса является схема, представленная на рис. 2, подробное описание представлено в работах [15, 7], позволяющая расположить четыре угольных скипа в стволе $\varnothing 7$ м со всеми требуемыми ПБ [16] необходимыми безопасными зазорами.

Как видно из приведенных выше таблиц 1 и 2, стандартно размещаются породные и угольные подъемные машины, а расположение расстрелов (по приведенной на рис. 2 схеме яруса) позволяет увеличить грузоподъемность ствола за счет увеличения количества угольных скипов.

Отсутствие центральных расстрелов также обуславливает свободное сечение середины ствола, и при использовании с КПП позволяет значительно увеличить пропускную воздухоподающую способность ствола [4].

Передача горизонтальных динамических нагрузок от движущихся сосудов в лобовых и боковых направлениях на канатно-профильные проводники осуществляется посредством роликов качения типа НКП (и их модификаций) и

предохранительных лап с захватами 5 (рис. 2), обеспечивающих надежную кинематическую связь сосуда с проводником и регламентируемые ПБ зазоры [16].



1 – подъемный сосуд СМ 35-235-1,1; 2 – канатно-профильный проводник; 3 – консольно-демпфирующий расстрел; 4 – крепь ствола; 5 – предохранительная лапа с захватами.

Рисунок 2 – Схема яруса армировки с 2-мя КПП на сосуд

При этом движение, в основном, осуществляется за счет роликовых направляющих, при демпфировании горизонтальных нагрузок за счет растяжения канатов проводника и работы обрешиненных роликов, поэтому непосредственного контакта и интенсивного истирания лапами ограждающего профиля не происходит, что и способствует его долговечности [5,6,7]. Дополнительную жесткость системы с канатно-профильными проводниками обеспечивают консольно-демпфирующие расстрелы с пакетом резиновых вставок поз. 3 (см. рис. 2).

Пакеты демпфирующих вставок, воспринимающие горизонтальную нагрузку от движущего сосуда, через соединительную скобу выполняются из пластин резины с расположенными между ними металлическими пластинами из мягкого металла.

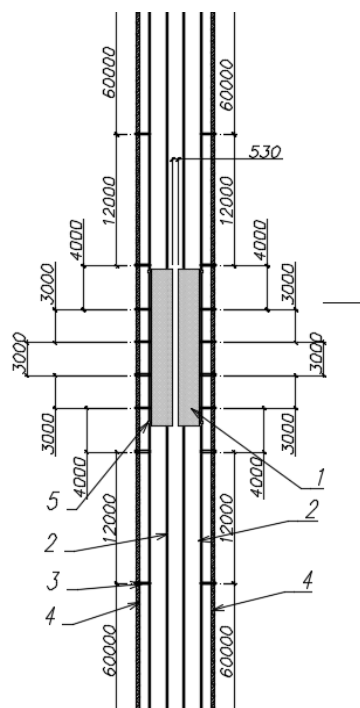
Кроме этого, имеются ложные расстрелы между смежными основными расстрелами, что увеличивает их прочность и позволяет демпфировать значительные динамические нагрузки до 60 кН [10].

Консольно-демпфирующие расстрелы (далее КДР) конструктивно имеют меньшую металлоёмкость по сравнению с жесткой армировкой ввиду того, что весь вес КПП приходится на канаты, а не на расстрелы, как при жесткой армировке; поэтому вертикальные нагрузки на ярус незначительны, и в основном имеет место нагрузки на движущиеся сосуды от кручения канатов и прогибов проводников.

Наиболее ответственным местом армировки любого ствола является место встречи подъёмных сосудов в середине ствола смежных подъёмных машин, при

этом возникают наиболее значительные горизонтальные нагрузки. В гибких армировках эта проблема решалась путем навески отбойных канатов и предохранительными зазорами по всей глубине ствола [1, 9]. При встрече сосудов в середине ствола создается также значительное аэродинамическое сопротивление [4]. Учитывая, что количество циклов подъема составляет 300-400, а некоторых случаях доходит до 600 в сутки, это явление создает дополнительные нагрузки на армировку в середине сечения ствола, снижению которой может способствовать создание системы АСУТП верхнего уровня, контролирующей работу всех подъемных машин ствола, и обеспечить режимы движения и загрузки сосудов смежных п/у, при которых сосуды не встречаются одновременно в середине ствола. Для режимов работы с одновременной встречей всех подъемных сосудов в середине ствола разрабатываются следующие мероприятия.

Для КПП применяется шаг армировки по глубине ствола – 60 м и более, в месте встречи сосудов одного подъема шаг становится дискретным [9], сначала пролет имеет шаг армировки – 12м, непосредственно в месте встречи сосудов имеют шаг – 4м, следующий шаг – 12 м, и далее шаг становится –60м и остается постоянным по всей глубине ствола (рис. 3).



1 – подъемный сосуд СНМ 35-235-1,1; 2 – канатно-профильный проводник; 3 – консольно-демпфирующий расстрел; 5 – предохранительная лапа с захватами.

Рисунок 3 – Дискретный шаг армировки в месте встречи сосудов в середине ствола

То есть схематично вышеописанная схема дискретного шага армировки с КПП и КДР будет иметь вид 60-12-4-3-3-3-4-12-60, где цифры обозначают расстояние в метрах между смежными ярусами, при этом схема относится только к участку встречи сосудов в середине ствола, а не ко всей армировке, которая имеет постоянный шаг армирования (см. рис. 3. крепь ствола не

показана).

Разработаны также аналогичные схемы дискретного шага армирования 60-12-8-6-6-6-8-12-60 и 60-12-8-4-3-4-8-12-60 и другие для более легких сосудов, на рис. 3 представлена схема для самого большого типоразмера угольных скипов СНМ 35-235-1,1 применяемых в угольной промышленности Украины и схемы яруса, представленного на рис. 2.

Дискретная схема шага армирования позволяет снизить статический прогиб проводников под действием горизонтальной нагрузки 10 кН, что соответствует безударному движению сосуда в жесткой армировке и позволяет гасить колебания с помощью стандартных роликов НКП [11].

Результаты прогибов КПП и поворота в градусах при расчете в программе ANSYS 17.1 для схемы армировки, приведенной на рис. 2, сведены в таблицу 3 с учетом принятых коэффициентов динамичности $K_d=1,5$ и безопасности $K_b=5$ согласно [1] для значений горизонтальной нагрузки 10кН и 60кН.

Поворотные моменты сосудов, возникающие от влияния разных факторов (кручения канатов, неровности профиля и т.д.) при КПП, составляют 0,039 градуса с учетом запасов устойчивости K_d , K_b при шаге армировки 60 м, далее, при снижении шага, их угол уменьшается, как видно из табл. 3., то есть основной характеристикой в месте встречи сосудов будет прогиб проводников.

Схемы дискретного шага армирования позволяют снизить прогиб КПП и повысить безопасность подъема, для четырех сосудов типа СНМ 35-235-1,1 и схемы 60-12-4-3-3-3-4-12-60 прогиб проводников в месте встречи сосудов составляет 1,5 мм при 10кН и 9мм при 60кН, возникающая динамика в системе «сосуд-армировка» гасится с помощью резиновых демпферов консольно-демпфирующих расстрелов [5, 10].

Рассматриваемые прогибы проводников (т.е. максимальный прогиб при постоянном приложении нагрузки без учета скорости движения сосуда) являются статическими, а динамический прогиб проводников при движении сосудов на скоростях до $V=16\text{м/с}$ значительно меньше статического. Например, статический прогиб 4х канатов Ø52 составляет – $917,25/4=229,31\text{мм}$ под действием нагрузки 10кН (при 60кН составляет $4588\text{мм}/4=1147\text{мм}$), в действующих стволах динамический прогиб составляет для сосуда типа СНМ 35-235-1,1 движущимся в 4-х канатных проводниках Ø52 тип 52,0-Г-1-Н-1372 со стальным сердечником (ГОСТ 7669-80) на скорости до $V=16\text{м/с}$ со смещением груза в сосуде (и усилием до 60кН) составляет примерно 200 - 350 мм, что намного меньше, чем статический прогиб.

Как видно из графика максимальных лобовых контактных усилий по всем четырем башмакам скипа, нагрузка на армировку ствола из-за эксцентриситета загрузки сосудов (смещения груза в сосуде) приводит к возникновению максимальных горизонтальных сил в режимах предохранительного торможения, рабочих режимах (разгона/замедления), в пределах 28 кН - 58кН и смещениях груза 0 - 160 мм (см. рис. 4), [11 стр.103], которая распределяется на башмаки.

Таблица 3 – Сравнительная таблица определения прогибов и угла поворота проводника при приложении статической горизонтальной нагрузки

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	4 канатных провод-ника Ø52 (10кН)	2 КПП на сосуд (6х Ø42), 10кН	2 КПП на сосуд (6х Ø42), 60 кН	Угол поворота гружено-го сосуда при шаге и 10кН с учетом запасов	Угол поворота груженого сосуда при шаге и 60кН с учетом запасов
1	Прогиб канатного проводника в середине ствола	мм	917,25	-	-	-	-
2	Гарантированный зазор между сосудами ΔL	мм	50	50	-	-	-
3	Угол поворота груженого сосуда	град	2,7	0,0260	0,585	-	-
4	Угол поворота порожнего сосуда	град	1,7	0,0260	0,0260	-	-
5	Коэффициент динамичности Кд		1,5	1,5	1,5	-	-
6	Коэффициент безопасности Кб		5	5	5	-	-
7	Итого угол поворота груженого сосуда (шаг армировки 60м)		20,25	0,195	1,17	-	-
8	Итого угол поворота порожнего сосуда (шаг армировки 60 м)		2,55	0,039	0,234	-	-
9	Прогиб проводника при шаге 3м	мм	-	1,5	9	0,00975	0,0585
10	Прогиб проводника при шаге 4м	мм	-	2	12	0,013	0,078
11	Прогиб проводника при шаге 6м	мм	-	3	18	0,0195	0,117
12	Прогиб проводника при шаге 8м	мм	-	4	24	0,026	0,156
13	Прогиб проводника при шаге 12м	мм	-	7,6	45,6	0,039	0,234
14	Прогиб проводника при шаге 60м	мм	917,25	47	282	0,195	1,17

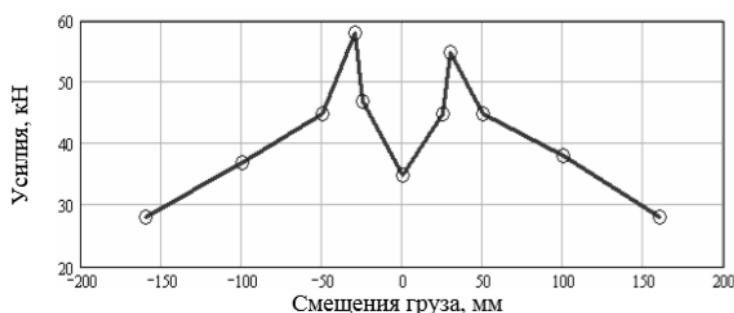


Рисунок 4 – График максимальных лобовых контактных усилий по всем четырем башмакам скипа

Дискретный шаг армировки в месте встречи сосудов при движении в канатно-профильных проводниках и креплениях на консольно-демпферных расстрелах позволяет распределить горизонтальные усилия сосуда, возникающие от смещения груза, между несколькими шагами армировки, и соответственно снизить изгиб проводника, например, при дискретном шаге армирования в месте встречи сосудов (шаг указан в метрах) по схеме – 60-12-4-3-3-3-4-12-60, и сосуда СНМ 35-235-1,1 (длиной $L=14,35$ м и количеством башмаков $n=4$ шт) [3], при горизонтальной нагрузке 60кН статический прогиб КПП на четыре пролета с шагом 3м (под каждую лапу сосуда) составит – $9/4=2,25$ мм (см. табл. 3), далее сосуды проходят место встречи, и вместе с увеличением шага армирования увеличиваются и прогиб проводников, но это уже не является критичным, так как отсутствует встреча сосудов. При встрече сосудов в стволе смежных подъемных машин их сближение ограничивают ложные расстрелы, расположенные между основными консольно-демпфирующими расстрелами (см. рис. 2) [5, 10].

Применение вышеприведенных (и им подобных) схем дискретного шага армировки в месте встречи сосудов, даже при аварийных горизонтальных нагрузках в стволе на уровне 60кН, позволяют обеспечить высокий уровень надежности эксплуатации и иметь многократный запас прочности при режимах работы подъемных установок 300 циклов/сутки и более.

Выводы.

Разработка схем дискретного шага армирования в месте встречи сосудов в середине ствола при движении в канатно-профильных проводниках позволит преодолеть многие вышеприведенные недостатки, присущие армировкам, и достичь следующих результатов:

- увеличить срок эксплуатации канатной продукции;
- снизить капитальные затраты вследствие уменьшения диаметра ствола на 500-600мм (в сравнении с гибкой армировкой);
- снизить трудоемкость технического обслуживания;
- значительно снизить металлоемкость армировки (до 2 раз в сравнении с жесткой армировкой ствола);
- обеспечить высокий уровень надежности (даже при работе со значительными горизонтальными нагрузками до 60кН);
- увеличить демпфирующие свойства армировки ствола;

- снизить аэродинамическое сопротивление ствола (до уровня гибкой армировки);
- повысить уровень надежности и безопасности эксплуатации армировки ствола за счет крепления канатов в ограждающем коробе, отсутствия истирания канатов лапами, отсутствия вероятности повреждений падающими предметами, защиты от коррозии канатной продукции;
- повысить безопасность движения сосудов ввиду отсутствия в стволе отбойных канатов;
- значительно снизить горизонтальные колебания сосудов при их движении по глубине ствола;
- значительно снизить момент кручения проводников за счет применения консольных расстрелов (в сравнении с гибкой армировкой ствола и, следовательно, снизить минимальные зазоры);
- значительно снизить электропотребление в течение всего срока службы ствола вследствие снижения аэродинамического сопротивления ствола до уровня гибкой армировки в сравнении с жесткой армировкой [4];
- исключить влияние горного давления и дефектов крепи ствола на его армировку.

Внедрение данных схем дискретного шага армирования в месте встречи сосудов (в середине ствола) для различных схем ярусов позволит значительно повысить уровень безопасной эксплуатации оборудования вертикального ствола и всего подъемного комплекса в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Нормы безопасности на проектирование и эксплуатацию канатных проводников многоканатных подъемных установок», утвержденных Минуглепромом СССР 09.08.89 и Госгортехнадзором СССР 22.02.82 и «Нормы безопасности на проектирование и эксплуатацию канатных проводников одноканатных подъемных установок» утвержденных Минуглепромом СССР 09.08.89 и Госгортехнадзором СССР 22.02.82, Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1982.
2. Методика расчета производительности скиповых подъемных установок при определении производственной мощности действующих шахт / Министерство угольной промышленности СССР, ЦНИЭИ уголь, НИИ горной механики им. М.М.Федорова. Москва, 1984. 185 с.
3. Пособие по проектированию и монтажу жесткой армировки вертикальных стволов шахт и рудников (к СНиП II-94-80). Под ред. проф., д.т.н. И.В. Баклашова. // Государственный комитет СССР по народному образованию Москва: МГИ, 1989.
4. Рубель А.А. Исследование аэродинамического сопротивления различных типов конструкций армировки ствола // Геотехнічна механіка: міжвідомчий збірник наукових праць. Дніпропетровськ, 2017. Вип. 136. С. 221-232.
5. Волошин А.И., Консольно-демпфирующие расстрелы армировки вертикальных шахтных стволов / Волошин А.И., Рубель А.А., Рубель А.В. // Геотехнічна механіка: міжвідомчий збірник наукових праць. Дніпропетровськ, 2016. Вип. 127. С. 89-98.
6. Волошин А.И., Рубель А.А., Рубель А.В. Армвання вертикальних шахтних стволів і методи його вдосконалення // Геотехнічна механіка: міжвідомчий збірник наукових праць. Дніпропетровськ, 2016. Вип. 126. С. 137-145.
7. Рубель А.О., Рубель А.В. Исследование и разработка оптимальных конструкций армировок ствола с канатно-профильными проводниками // Геотехнічна механіка: міжвідомчий збірник наукових праць. Дніпро, 2018. Вип. 139. С. 31-48.
8. Пат. 115478 Україна, (51) МПК E21D 7/00. Канатно-профільний провідник армування шахтного стовбура / А.О. Рубель (Україна) // Бюл. 2017. 21.
9. Пат. 110518 Україна, (51) МПК (2016.01) E21D 7/00. Дискретне армування стовбура. / А.О. Рубель (Україна) // Бюл. 2016. №19.
10. Пат. 110492 Україна, (51) МПК (2016.01), E21D 7/00. Консольно-демпфіруючий розстріл: / Рубель А.О. // Бюл. 2016. №19.
11. Ильин С.Р., Ильина С.С., Самусь В.И. Механика шахтного подъема: монография. Днепропетровск: Национальный горный университет, 2014. 247 с.
12. Житник А.И., Ярошенко В.И., Торубалко Д.Т. Армирование вертикального ствола с креплением расстрелов на анкерах // Уголь Украины. 2017. май-июнь С. 17-20
13. Инструкция по эксплуатации стальных канатов в шахтных стволах. М.: Недр, 1989. 215с.

14. Рубель А.О. Исследование и разработка конструкций крепления канатно-профильных проводников в копре // Геотехнічна механіка: міжвідомчий збірник наукових праць. Дніпропетровськ, 2019. -Вип. 145. С. 12-21.
15. Рубель А.О. Исследование существующих конструкций ярусов армировки вертикальных стволов и разработка схем ярусов с канатно-профильными проводниками // Геотехнічна механіка: міжвідомчий збірник наукових праць. Дніпро, 2017. Вип. 134. С. 211-227.
16. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10. - [Дійсні від 22.03.2010]. – Офіційне видання. – Київ: Основа, 2010. 430с. (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
17. Типовые материалы для проектирования 401-011-87-89. Сечения и армировка вертикальных стволов с жесткими проводниками. Харьков: Южгипрошахт, 1989.
18. Пат. 115967 Україна, (51) МПК (2006.01) E21D 7/00. Демпфіруючий натяжний пристрій / А.О. Рубель, А.В. Кураєва // Бюл. 2017. №9.

REFERENCES

1. "Safety Standards for the design and operation of cable conductors of multi-rope hoisting installations" approved by the Ministry of Coal Industry of the USSR on 09.08.89 and Gosgortekhnadzor of the USSR 02.22.82 and "Safety Standards for the design and operation of cable conductors of single-rope hoisting installations" approved by the Ministry of Coal Industry of 09.08.89 and Gosgortekhnadzor USSR 02.22.82, Makeevka - Donbass: MakNII, 1982.
2. Ministry of Coal Industry of the USSR, Central Research Institute of Coal, Research Institute of Mining Mechanics named after M.M. Fedorov (1984), *Metodika rascheta proizvoditelnosti skipovykh podemnykh ustanovok pri opredelenii proizvodstvennoi moshchnosti deystvuyushchikh shakht* [The methodology for calculating the performance of skip hoisting plants when determining the production capacity of existing mines], Moscow, SU.
3. Statutory committee of USSR on folk education (1989), *Posobie po proektirovaniyu i montazhu zhestkoy armirovki vertikalnykh stvolov shakht i rudnikov (k SNiP II-94-80)* [A guide for the design and installation of rigid reinforcement of vertical shafts of mines and mines (to SNiP II-94-80)], Moscow, SU.
4. Rubel A.O. (2017), "Investigation of the aerodynamic drag of various types of barrel reinforcement structures", *Geo-Technical Mechanics*, no. 136, pp. 221-232.
5. Voloshin A.I., Rubel A.A. and Rubel A.V. (2016), "Cantilever-damping executions of the reinforcement of vertical shaft shafts", *Geo-Technical Mechanics*, no. 127, pp. 89-98.
6. Voloshin A.I., Rubel A.A. and Rubel A.V. (2016), "Equipment for vertical mine shafts and methods for its smprovement", *Geo-Technical Mechanics*, no. 126, pp. 137-145.
7. Rubel A.O. and Rubel A.V. (2018), "Research and development of optimal designs of barrel reinforcements with cable-profile conductors", *Geo-Technical Mechanics*, no. 139, pp. 31-48.
8. Rubel A.O. (2017), *Kanatno-profilnyi provodnyk armuvannya shakhtnogo stovburu* [Rope-profile arm of mine shaft] , Kyiv, Ukraine, Pat. 115478 Ukraine
9. Rubel A.O. (2016), *Discretne armuvannya stovbura*. [Discrete reinforcement of shaft], Kyiv, Ukraine, Pat. 110518 Ukraine
10. Rubel A.O. (2016), *Konsolno-dempfiruyuchy rozstril* [Cantilever-damping shooting], Kyiv, Ukraine, Pat. 110492 Ukraine
11. Ilyin S.R., Ilyina S.S. and Samusya V.I. (2014), *Mekhanika shakhtnogo podyeva: monografiya* [Mechanics of mine ascent: monograph], National Mining University, Dnepropetrovsk, UA.
12. Zhitnik A.I., Yaroshenko V.I., Torubalko D.T. (2017), "Reinforcing a vertical trunk with mounting shots on anchors", *Coal of Ukraine*. May-June, pp. 17-20.
13. *Instruktsiya po ekspluatatsii stalnykh kanatov v shakhtnykh stvolakh* [Instructions for the operation of steel ropes in mine shafts] (1989), Nedra, Moscow, SU.
14. Rubel A.O. (2019), "Research and development of structures for fastening cable-profile conductors in copra", *Geo-Technical Mechanics*, no. 145, pp. 12-21.
15. Rubel A.O. (2017), "Investigation of existing designs of tiers of reinforcing vertical trunks and development of schemes of tiers with cable-profile conductors", *Geo-Technical Mechanics*, no. 134, pp. 211-227.
16. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2010), *NPAOP 10.0-1.01-10 Pravyla bezpeky u vugilnykh shakhtakh* [NLASL 10.0-1.01-10 Rules of safety in coal mines], Osnova, Kiev, UA.
17. *Tipovye materialy dlya proektirovaniya 401-011-87-89. Secheniya i armirovka vertikalnykh stvolov s zhestkimi provodnikami* [Typical materials for design 401-011-87-89. Sections and reinforcement of vertical shafts with rigid conductors], Yuzhgiproshakht, Kharkov., SU.
18. Rubel A.O. and Kurayeva A.V. (2017), *Dempfiruyuchy natyazhnyi prystrii* [Dempfiruyuchy tension pull], Kyiv, UA, Pat. 115967 Ukraine.

Об авторах

Волошин Алексей Иванович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Украины, заместитель директора Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Рубель Андрей Александрович, кандидат технических наук, главный энергетик, Государственное предприятие «Объединенная компания «Укруглеструктуризация», Киев, Украина, AORubel@gmail.com.

Бойко Богдан Иванович, магистр, менеджер ГП «Нововольинский ремонтномеханический завод» Украины, Луцк, Украина.

Рубель Владимир Александрович, магистр, ТОВ «Рекорд-А», Днепр, Украина, AVRubel@gmail.com.

Кураєва Алена Вікторівна, магістр, ООО «Файзер Україна», Київ, Україна, AORubel @gmail.com.

About the authors

Voloshyn Oleksiy Ivanovych, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Science of Ukraine, Deputy Director of the Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poyakov of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine.

Rubel Andriy Oleksandrovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Chief Power Engineer, State Enterprise United Company Ukruglerestructuring, Kyiv, Ukraine, AORubel @ gmail.com.

Boiko Bogdan Ivanovych, Master of Science, Manager of the State Enterprise "Novovolynsky Repair and Mechanical Plant" of Ukraine, Lutsk, Ukraine.

Rubel Volodymyr Oleksandrovych, Master of Science, LLC "Record-A", Dnipro, Ukraine, AVRubel @ gmail.com.

Kuraeva Alena Viktorivna, Master of Science, LLC «Fayser Ukraine», Kyiv, Ukraine, AORubel @ gmail.com.

Анотація. Вертикальні стовбури для забезпечення спрямованого руху посудин обладнуються армуванням. Залежно від конструктивного виконання розрізняють різні її типи: жорсткі, гнучкі, безрасстрельные, канатно-профільні. В роботі розглянуті існуючі конструктивні схеми армування стовбурів і досліджені їхні переваги й недоліки, розглянуті конструктивні рішення армування стовбура на основі канатно-профільних провідників, с дискретним кроком армування між ярусами в місці зустрічі судин. Розробка, дослідження, впровадження схем дискретного армування в місці зустрічі судин на основі канатно-профільних провідників дозволить значно знизити недоліки існуючих (жорстких і гнучких) армувань і досягти наступних результатів: знизити кількість ярусів армування, розташованих по глибині ствола; збільшити безаварійний термін експлуатації; - знизити капітальні витрати при будівництві, внаслідок зменшення діаметра стовбура (для гнучких армувань); знизити трудомісткість обслуговування і ремонту; значно знизити металоємність армування, в порівнянні з жорстким армуванням стовбурів; знизити рівень динамічних коливань в системі «посудину-армування»; збільшити демпфуючі властивості армування ствола; знизити аеродинамічний опір стовбура до рівня гнучкою армування; підвищити рівень надійності і безпеки експлуатації армування ствола; виключити необхідність застосування відбійних канатів; збільшити термін служби канатно-профільних провідників до рівня жорстких провідників.

Результатом досліджень і розробки конструкцій і схем є: збільшення надійності, довговічності обладнання вертикального стовбура і рентабельності видобутку корисних копалин з більш глибоких горизонтів. Впровадження даних схем дискретного кроку армування в місці зустрічі судин (в середині стовбура) для різних схем ярусів дозволить значно підвищити рівень безпечної експлуатації обладнання вертикального стовбура і всього підйомного комплексу в цілому.

Ключові слова: шахтні вертикальні стовбури, канатно-профільні провідники, скіпи, роз-стріли, дискретний крок армування, система «посудина-армування».

Annotation. In order to ensure the cage directed motion, vertical shafts are reinforced with the shaft equipment of various designs: rigid, flexible, with no buntons, rope-profile. In this research, different existing design schemes of the shaft equipment, their advantages and disadvantages, design solutions with the rope-profile guides and discrete step of the shaft equipment installation between the tiers in the point of the cages meeting are considered and studied. Designing, research and installation of discrete reinforcing equipment with the rope-profile guides in the shafts in the point of the cages meeting can significantly diminish disadvantages of the existing (rigid and flexible) reinforcing equipment and can facilitate: to reduce the number of tiers arranged along the full depth of the shaft; to prolong trouble-free life; to cut capital construction costs due to less diameter of the shaft (for flexible shaft equipment); to make maintenance and repair essentially simpler; to reduce significantly metal content of the shaft equipment as compared to rigid shaft equipment; to reduce dynamic vibrations of the "cage-shaft equipment" system; to improve damping properties of the shaft equipment; to reduce the shaft aerodynamic resistance to the level of flexible shaft equipment; to improve reliability and safety of the shaft equipment operation; to eliminate the need to use balance ropes; to prolong life of the rope-profile guides to the level of rigid guides.

The research and development of these structures and schemes are resulted in: improved reliability and durability of vertical shaft equipment and increased profitability of minerals extraction from deeper horizons. Introduction of the schemes with discrete step of reinforcing equipment installation in the point of cages meeting (in the middle of the shaft) for different locations of the tiers will significantly improve safety of vertical shaft equipment operation and the hoisting complex as a whole.

Keywords: mine vertical shaft, rope-profile guides, cages, buntons, discrete step of reinforcing equipment, "cage-shaft equipment" system.

Стаття надійшла до редакції 03.05.2020

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук О.П. Круковським