

УДК 622.6:622.674:622.673.1

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ КОНСТРУКЦИЙ АРМИРОВКИ СТВОЛА**

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

## **ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ РІЗНИХ ТИПІВ КОНСТРУКЦІЙ АРМУВАННЯ СТОВБУРА**

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

## **RESEARCH OF AERODYNAMIC RESISTANCE OF DIFFERENT TYPES OF CONSTRUCTIONS ARMYROVKY VERTICAL MINE SHAFTS**

**Аннотация.** В работе исследованы аэродинамические сопротивления различных типов армировок вертикальных стволов движению воздушной струи. Рассмотрены и определены возникающие аэродинамические сопротивления ярусов армировки движению воздушной струи методом продувки отдельных участков в программе ANSYS 17.0.

Были определены аэродинамические сопротивления яруса различных типов армировки ствола и выбраны наиболее рациональных схем армировки (по фактору сопротивления вентиляционной струи).

Из результатов исследования выявлено, что конструкции армировок с канатно-профильными проводниками (КПП) и консольными расстрелами позволяет достичь сопротивление ствола сравнимого с гибкой канатной армировкой, однако при этом не требуется увеличение диаметра ствола по фактору горизонтальных динамических колебаний (500мм на сторону).

Внедрение армировок с КПП в вертикальных шахтных стволах позволит:

- снизить аэродинамическое сопротивление армировки ствола движению воздушной струи в 8-10раз;
- снизить электропотребление вентилятора на 20% в течении всего срока службы шахты, за счет выбора наиболее рациональных типов армировки и схем ярусств ствола в течении всего срока службы шахты;
- снизить габариты сечения ствола по фактору проветривания горных выработок, за счет использования более рациональных видов армирования ствола;
- снизить эксплуатационные затраты на обслуживание армировки;
- снизить капитальные затраты при выборе оптимального диаметра ствола по фактору пропускной воздухоподающей способности ствола;
- повысить уровень безопасной эксплуатации ствола и надежность вентиляции подземных горных выработок шахты в целом.

**Ключевые слова:** шахтные вертикальные стволы, аэродинамическое сопротивление, армировки стволов, канатно-профильные проводники.

### **Постановка проблемы.**

Стволы шахт являются одними из основных вентиляционными выработками

в схеме вентиляции подземных выработок шахт и рудников, посредством которых осуществляется вентиляция шахты.

При центральной схеме вентиляции шахты воздух поступает и выходит через вертикальные стволы, при фланговой воздух поступает через клетьевой ствол и выходит через шурфы или вентиляционные скважины, при крыльевой схеме вентиляции используется единая выработка на все крыло, при участковой входящая струя проходит через клетьевой ствол, а исходящая через скважины на каждом участке. При всех схемах вентиляции шахты входящая вентиляционные струя проходит через вертикальный ствол, которые служат не только основной вентиляционной выработкой, но и транспортной артерией шахты, через которую происходит основные грузопотоки шахты, спуск-подъем людей, негабаритов, полезных ископаемых, материалов и прочее. Движение подъемных сосудов в стволе осуществляется в проводниках армировки стола, поэтому наряду с требованиями к прочности надежности, низкой динамичности, предъявляются требования к низкому аэродинамическому сопротивлению конструкций армирования стволов.

Вертикальный ствол служит все время эксплуатации и долгое время в режиме реструктуризации шахты создавая аэродинамическое сопротивление как крайняя выработка шахтным вентиляторам и повышает электропотребление на протяжении всего срока службы шахты.

Согласно «Правилам безопасности у вугільних шахтах» [1] максимальная скорость движения воздуха для скиповых стволов допускается 12м/с, для стволов для опускания и подъема людей и грузов допускается 8м/с.

Различают три основных вида армирования вертикальных стволов: жесткие, гибкие, канатно-профильные, жесткие с проводниками из коробчатой балки или рельсов, которые закреплены на расстрелах через все сечение ствола и создают высокое аэродинамическое сопротивление ствола, и оно повышается за счет накопления на расстрелах горной массы.

Гибкие армировки имеют значительно меньшее аэродинамическое сопротивление, чем жесткие, однако постоянное раскачивание сосудов в стволе и большое количество отбойных канатов между различными подъемными машинами, и канатные проводники, расположенные по центру ствола, создают высокие сложности при эксплуатации.

Канатно-профильная армировка состоящая из канатно-профильных проводников и консольно-демпфирующих расстрелов [3, 4, 5] не имеет отбойных канатов, проводников в центре ствола и расстрелов через все сечение ствола, поэтому имеет низкое аэродинамическое сопротивление ствола.

**Цель исследований** – задачей исследования является определение и расчет аэродинамического сопротивления различных конструкций армировки ствола жесткой, гибкой и канатно-профильной и схем их ярусов. Определение величин электропотребления при использовании различных армировок ствола и выбор наиболее рациональных конструкций армирования и их ярусов, что позволит:

- снизить аэродинамическое сопротивление ствола;
- снизить электропотребление вентилятора за счет выбора наиболее рацио-

нальных армировок и схем ярусов ствола;

- снизить габариты сечения ствола, за счет использования более рациональных видов армирования ствола;
- снизить эксплуатационные затраты на обслуживание армировки;
- снизить капитальные затраты при выборе оптимального диаметра ствола по фактору пропускной воздухоподающей способности ствола.

### **Материалы и результаты исследования.**

На аэродинамическое сопротивление вертикального ствола в условиях работы подъемной установки влияет большое количество факторов, таких как:

- обледенение в зимнее время;
- нарушенная геометрия вертикального ствола;
- аэродинамическое сопротивление креплений армировки вертикального ствола;
- искривление расстрелов и ярусов;
- обводненность ствола;
- просыпание породы у угля в ствол;
- присосы воздуха;
- изменение влажности и атмосферного давления по глубине ствола;
- влияние свежей струи на горизонтах и прочие факторы;

Учет влияния всех выше перечисленных факторов является трудоемкой задачей, поэтому исследовались схемы армирования, без учета выше перечисленных факторов. Для этого в программе ANSYS 17.0 для расчета закладывались модели с различными конструктивными схемами армирования, но с одинаковыми параметрами исходных условий для продувки. За основу был выбран ствол глубиной 1200м и диаметром 7м, со скоростью движения воздушной струи 14м/с. Данными исследованиями определялся выбор наиболее оптимальной схемы армирования по фактору аэродинамического сопротивления ствола.

Выполним исследование аэродинамического сопротивления на шаге армировки равном 4.1м, применяя жесткую и гибкую канатно-профильную армировки (КПА).

На рис. 1 изображена схема яруса жесткой армировки ствола оборудованной двумя угольными скиповыми установками со скипами типа 1СН35-2 и коробчатыми расстрелами. На рис. 2 изображена модель продувки яруса жесткой армировки ствола компоновки, представленной на рис. 1.

На рис. 3 изображена схема яруса армировки ствола с канатно-профильными проводниками (КПП), и на рис. 4 модель продувки схемы армирования с КПП при тех же параметрах. Аналогично выполняются исследования для гибкой армировки, результаты исследований сведены в табл. 1.

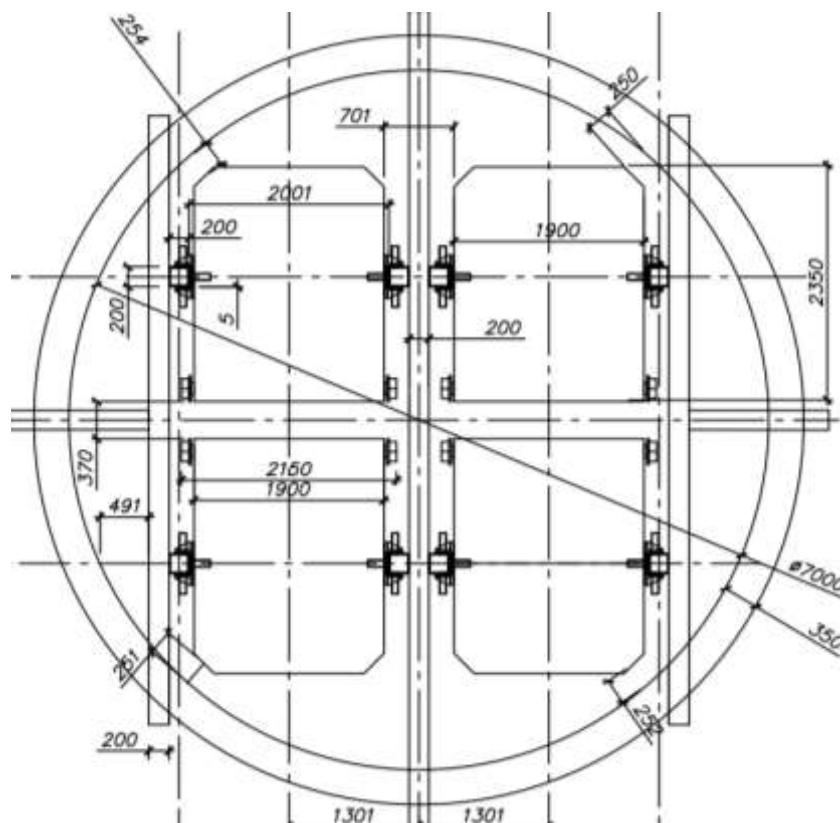


Рисунок 1 - Схема яруса жесткой армировки ствола

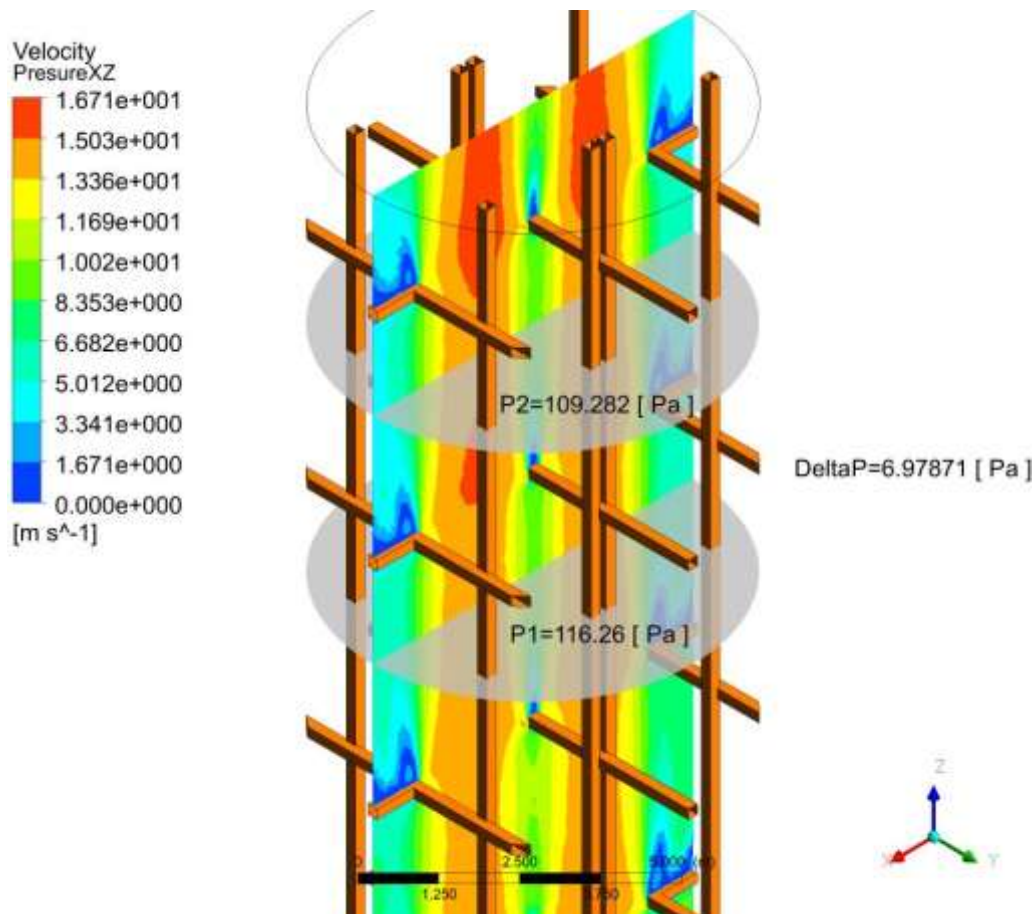


Рисунок 2 - Модель продувки яруса жесткой армировки ствола

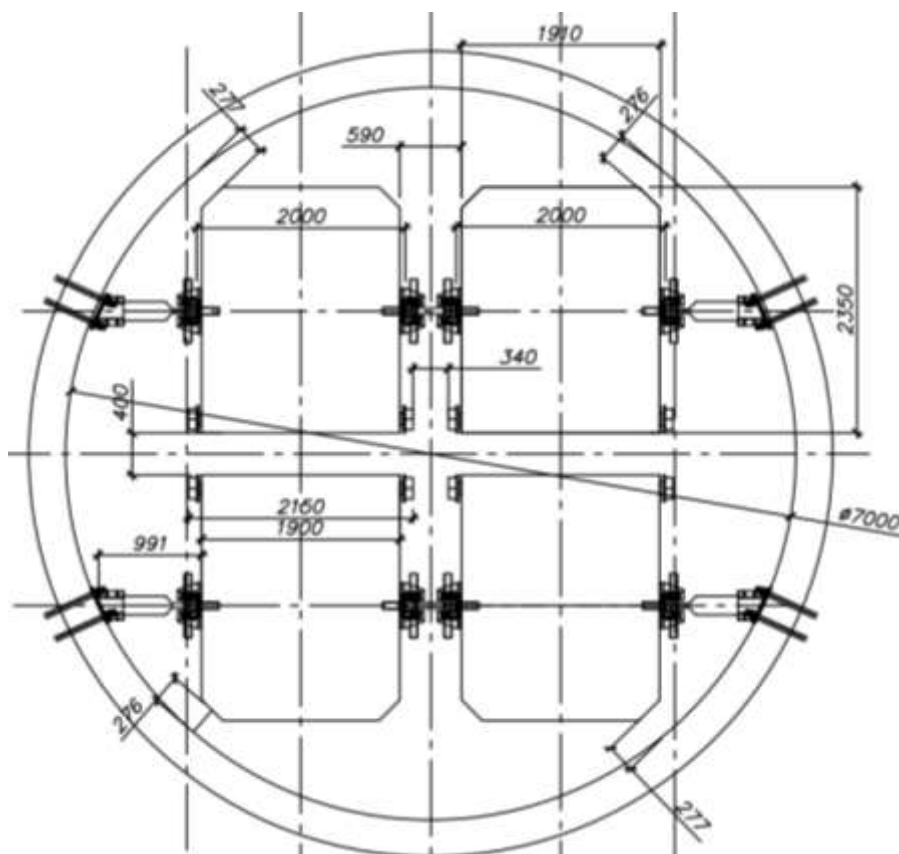


Рисунок 3 - Схема яруса армировки ствола с канатно-профильными проводниками (КПП)

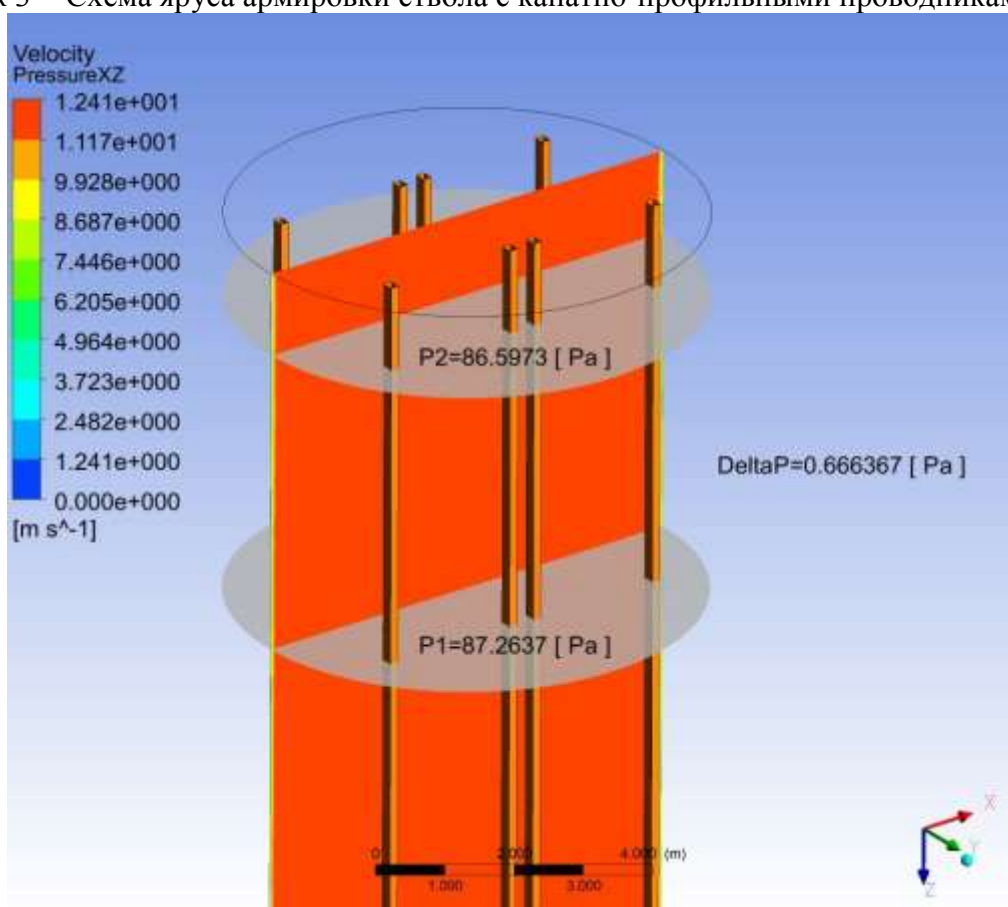


Рисунок 4 - Модель продувки яруса армировки ствола с КПП

Таблица 1 – Результаты исследований

№ п/п	Наименование	Ед.изм	Жесткая ар-мировка	Гибкая ар-мировка 16 канатов ф52	КПА
1	Глубина ствола	м	1 200,00	1 200,00	1 200,00
2	Диаметр ствола	мм	7000	7000	7000
3	Скорость движения воздушной струи	м/с	14	14	14
4	Схема армировки		Рис.1		Рис.3
<b>Расстрелы</b>					
1	Тип расстрела		коробчатая балка		КДР
2	ГОСТ		8509-06	3068-88	26020-83
3	Сечение расстрела	мм	200x200x14		160x80x5x7,4
4	Длина расстрелов в ярусе	м.п.	24		3,2
5	Шаг армирования	м	4,10		60,00
6	Количество ярусов	шт.	292,68		27
<b>Проводники</b>					
1	Сечение проводника	мм	200x200x14		200x180x6
2	Длина проводника	м.п.	1 200,00	1 200,00	1 200,00
3	Количество проводников и отбойных канатов	шт	8,00	22,00	8,00
<b>Аэродинамическое сопротивление</b>					
1	Падение давления на шаге армировки 4,1м	Па	6,97871	0,61	0,666367
<b>Итого сопротивления армировки ствола:</b>			<b>Па</b>	<b>2 042,54</b>	<b>178,53</b>
				<b>195,032</b>	

Проведем исследования аэродинамического сопротивления движения сосудов в различных типах армировки ствола для клетьевого подъема, схемы яруса армировки представлены на рис. 5, 7, 8 и смешанного клетьевого и скипового подъема рис. 6, 7. В данном исследовании будем выполнять продувку в программе ANSYS 17.0 участка длиной 60м при всех прочих одинаковых параметрах.

Определим для различных типов армировки коэффициент сопротивления по формуле [6]

$$\zeta = \frac{\Delta P}{\rho V^2 / 2}$$

где  $\Delta P$  – падение давления, рассчитывается в ANSYS 17.0, Па;  $\rho$  – плотность воздушной струи;  $V$  – скорость движения воздушной струи м/с;

Схема жесткой армировки клетьевого подъема изображена на рис. 5, а результаты ее расчета в ANSYS 17.0 представлены на рис. 6, аналогично выполняются расчеты для различных схем армирования и типов армировки на рис. 7, 8, 9, 10 результаты расчетов сведены в табл. 2.

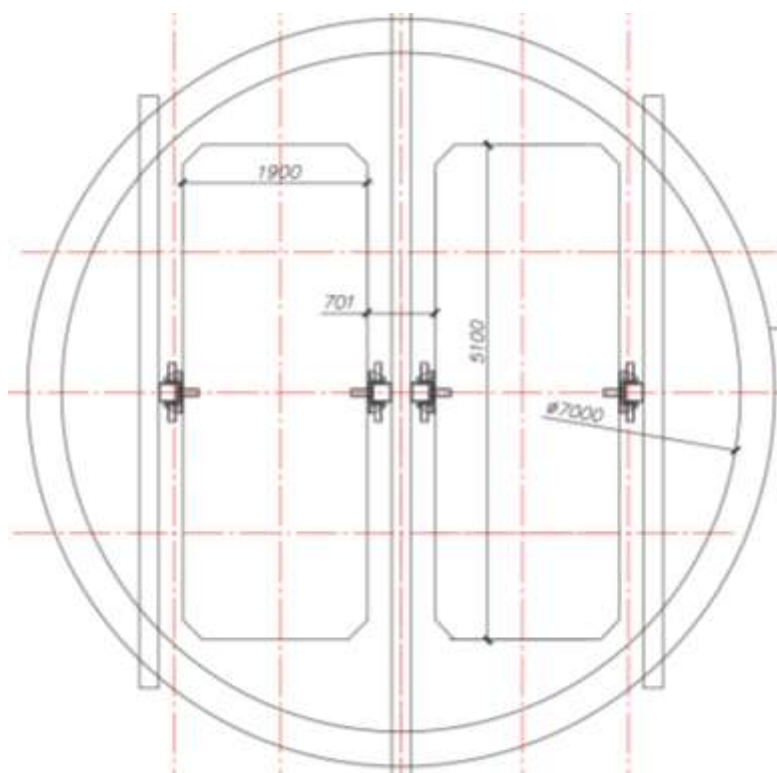


Рисунок 5 - Схема жесткой армировки клетьевого подъема

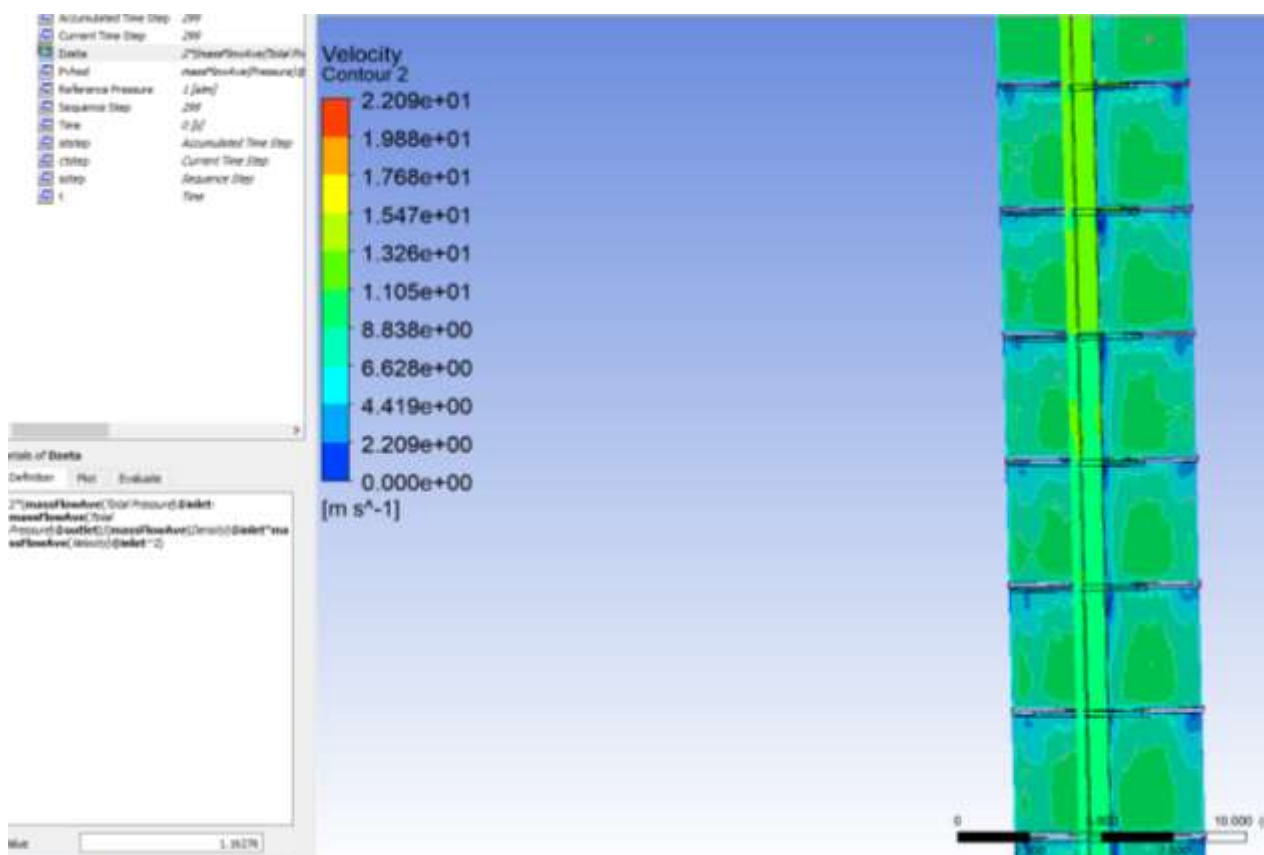


Рисунок 6 - Продувка жесткой армировки клетьевого подъема



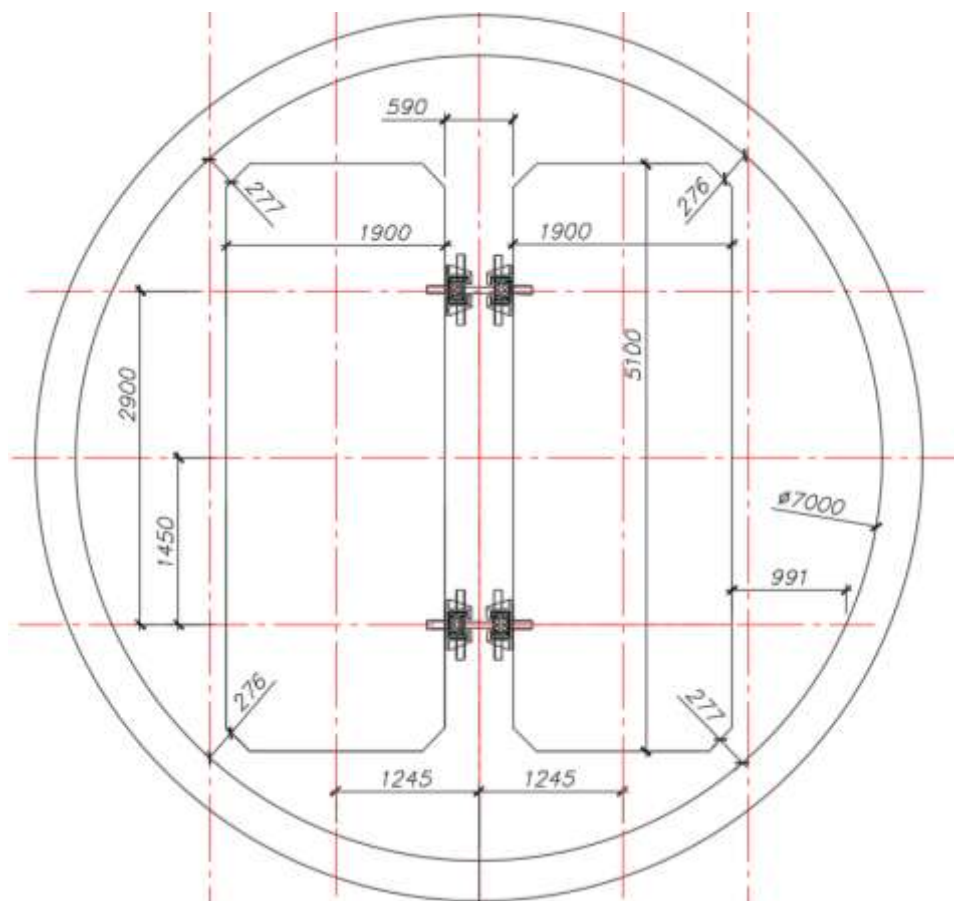


Рисунок 7 - Схема яруса с канатно-профильной армировкой

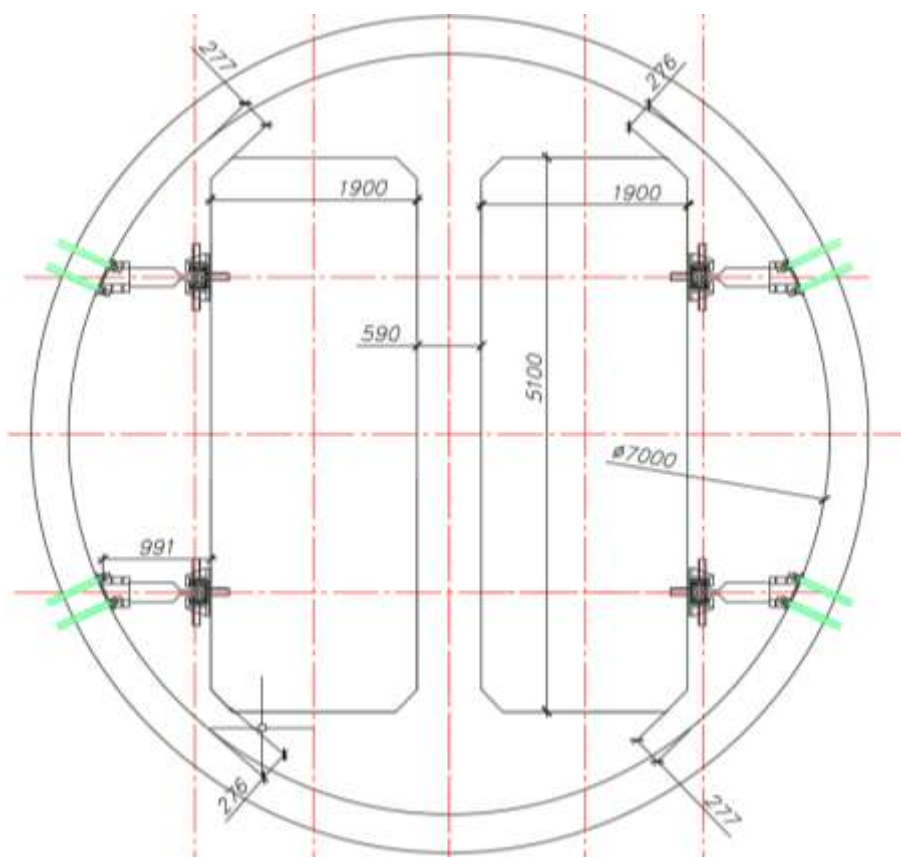


Рисунок 8 - Схема яруса с КП армировкой для двух клетьевого подъема



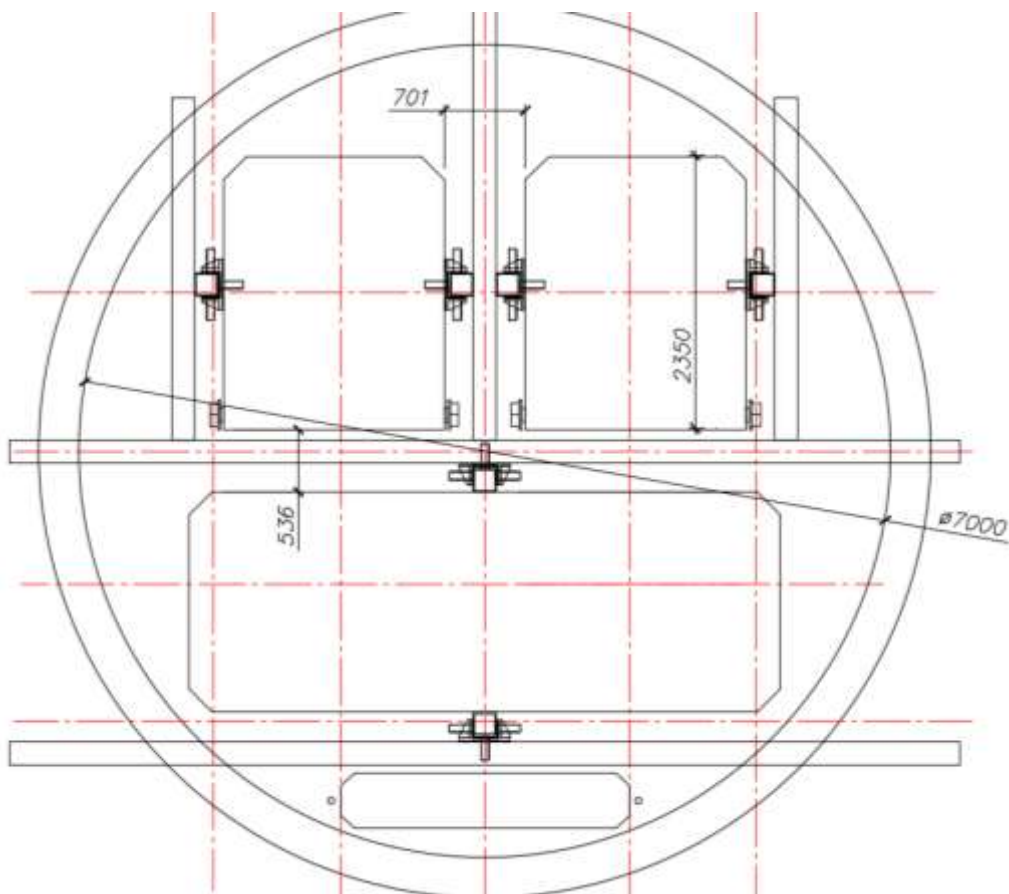


Рисунок 9 - Схема жесткой армировки скипового отделения и клетки с противовесом

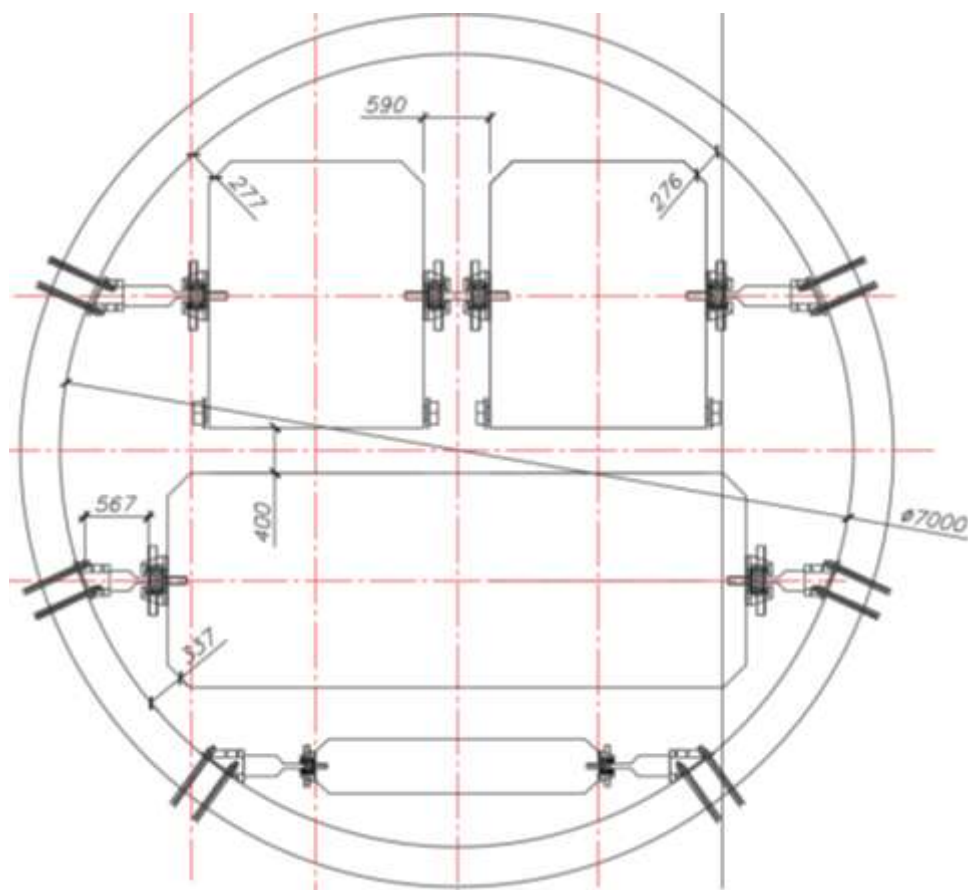


Рисунок 10 - Схема КП армировки скипового отделения и клетки с противовесом

Таблица 2 – Результаты расчетов

№ п/п	Наименование	Ед.изм.	Жесткая армировка	КПА	КПА	Жесткая армировка	КПА
1	Глубина ствола	м	1 200,00	1 200,00	1 200,00	1 200,00	1 200,00
2	Диаметр ствола	мм	7000	7000	7000	7000	7000
3	Скорость движения воздушной струи	м/с	14	14	14	14	14
4	Схема армировки		Рис.5	Рис.7	Рис.8	Рис.9	Рис.10
<b>Расстрелы</b>							
1	Тип расстрела		коробчатая балка	КДР	КДР	коробчатая балка	
2	ГОСТ		8509-06	26020-83	26020-83	8509-06	
3	Сечение расстрела	мм	200x200x14	160x80x5 x7,4	160x80x5 x7,4	200x200 x14	
4	Длина расстрелов в ярусе	м.п.	24	3,2	4,0	26,4	3,3
5	Шаг армирования	м	4,10	60,00	60,00	4,10	60,00
6	Количество ярусов	шт.	292,68	27	27	292,68	27
<b>Проводники</b>							
1	Сечение проводника	мм	200x200x14	200x180 x6	200x180 x6	200x200 x14	200x180 x6
2	Длина проводника	м.п.	1 200,00	1 200,00	1 200,00	1 200,00	1 200,00
3	Количество проводников	шт	4,00	4,00	4,00	6,00	8,00
<b>Аэродинамическое сопротивление</b>							
1	Значение коэффициента сопротивления на участке армировки (60м) $\zeta$	-	1,16276	0,0775344	0,0958523	1,54315	0,105802
2	Количество участков для всего ствола (1200м)	шт	20	20	20	20	20
<b>Итого коэффициент сопротивления армировки ствола <math>\zeta</math>:</b>			<b>23,2552</b>	<b>1,550688</b>	<b>1,917046</b>	<b>30,863</b>	<b>2,11604</b>

**Выводы.** Как видно из результатов исследований, сведённых в табл. 1 и 2, средние значения между КПА и гибкой армировкой отличаются незначительно, а в сравнении с жесткой армировкой - значительно. Применение гибкой армировки ограничено в связи с необходимостью соблюдением минимальных зазором 350мм на сторону для скиповых подъемов и 510мм для клетевых подъёмных установок [2] ввиду чего сечение ствола больше, чем для КПА. Исходя из выше изложенного наиболее оптимальным вариантом армирования ствола является применение канатно-профильных армировок, внедрение которых позволит:

- снизить аэродинамическое сопротивление ствола в 8-14раз;
- снизить электропотребление вентилятора на 20% за счет выбора наиболее

раціональних армувань і схем ярусів ствола;

- знизить габарити сечення ствола, за счет використання більш раціональних видів армування ствола;

- знизить експлуатаційні затрати на обслуговування армування.

Розробка і впровадження канатно-профільних армувань в вертикальних шахтних стволах дозволить досягти значительного зниження аеродинамічного опору стволу і затрат на обслуговування, експлуатацію і витрати електроенергії в течение всего срока службы шахты.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах. - [Дійсн. від 22.03.2010]. – Офіційне видання. – Київ: Основа, 2010. – 430 с. (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
2. Нормы безопасности на проектирование и эксплуатацию канатных проводников многоканатных подъемных установок и Нормы безопасности на проектирование и эксплуатацию канатных проводников одноканатных подъемных установок. - Утверждены Минуглепромом СССР 15.01.82 и Госгортехнадзором СССР 22.02.82. – Макеевка - Донбасс: МакНИИ, 1982.
3. Волошин, А.И. Армування вертикальних шахтних стволів і методи його вдосконалення / А.И. Волошин, А.А. Рубель., А.В. Рубель // Геотехнічна механіка: міжвідомчий збірник наукових праць / ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2016. - Вип. 126. – С. 137-145.
4. МПК (2016.01), E21D 7/00. Пат. № 117031. Консольно-демпфіруючий розстріл / Рубель А.О. – № а2016 03998; заявл. 12.04.2016, опубл. 25.10.2017, бюл. №20.
5. МПК E21D 7/00. Пат. № 115478. Канатно-профільний провідник армування шахтного стовбура / А.О. Рубель (Україна) – № а 2015 12037 заявлено 04.12.2015, опубл. 10.11.2017 бюл. №21.
6. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – Москва: Машиностроение, 1992 – 672 с.

#### REFERENCES

1. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2010), *NPAOP 10.0-1.01-10 Pravyla bezpeky u vugilnykh shakhtakh* [NLSASL 10.0-1.01-10 Rules of safety in coal mines], Osнова, Kiev, Ukraine.
2. Ministry of Coal Industry of Ukraine (1982), “Safety standards for the design and operation of cable conductors of multi-rope hoisting installations” and “Safety standards for the design and operation of cable conductors of single-rope hoisting installations”, MakNII, Makeevka – Donbass, Ukraine.
3. Voloshin, A.I., Rubel, A.A. and Rubel, A.V. (2016), “Armouvannya vertical shafts of the trunks and methods of the yard”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 126, pp. 137-145.
4. Rubel, A.O. (2016), *Kontrolno-dempfiruyuchiy rozstril* [Console-damping shot], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 117031.
5. Rubel, A.O. (2015), *Kanatno-profilnyi providnyk armuvannya shakhtnogo stovbura* [Rope-profile conductor of mine shaft reinforcement], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 115478.
6. Idelchik, I.E. (1992), *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* [Handbook of Hydraulic Resistances], Mashinostroenie, Moscow, Russia.

#### Об авторе

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

#### About the author

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

**Анотація.** В роботі досліджені аеродинамічні опору різних типів армувань вертикальних стволів руху повітряного струменя. Розглянуто та визначено виникають аеродинамічні опору ярусів армування руху повітряного струменя методом продувки окремих ділянок в програмі ANSYS 17.0.

Були визначені аеродинамічні опору ярусу різних типів армування ствола і обрані найбільш раціональних схем армування (по коефіцієнту опору вентиляційного струменя).

З результатів дослідження виявлено, що конструкції арміровок з канатно-профільними провідниками (КПП) і консольними розстрілами дозволяє досягти опір стовбура порівнянно-го з гнучкою канатної арміровою, однак при цьому не потрібно збільшення діаметра стовбура по фактору горизонтальних динамічних коливань (500мм на сторону).

Впровадження арміровок з КПП в вертикальних шахтних стовбурах дозволить:

- знизити аеродинамічний опір армування ствола руху повітряного струменя в 8-10раз;
- знизити електроспоживання вентилятора на 20% протягом всього терміну служби шахти, за рахунок вибору найбільш раціональних типів армування і схем ярусів стовбура на протязі всього терміну служби шахти;
- знизити габарити перетину стовбура по фактору провітрювання гірничих виробок, за рахунок використання більш раціональних видів армування стовбура;
- знизити експлуатаційні витрати на обслуговування армування;
- знизити капітальні витрати при виборі оптимального діаметра стовбура по фактору пропускної воздухоподаючої здатності стовбура;
- підвищити рівень безпечної експлуатації стовбура і надійність вентиляції підземних гірничих виробок шахти в цілому

**Ключові слова:** шахтні вертикальні стовбури, аеродинамічний опір, армування стовбурів, канатно-профільні провідники.

**Annotation.** In the work, the aerodynamic resistance of various types of reinforcement of vertical barrels to the movement of the air jet was investigated. The resulting aerodynamic resistances of the reinforcement tiers of the reinforcement to the movement of the air jet by the method of blowing through separate sections in the ANSYS 17.0 program are considered and defined.

The aerodynamic resistances of the tier of various types of trunk reinforcement were determined and the most rational reinforcement schemes were selected (by the resistance factor of the air flow).

From the results of the study, it was found that reinforcement structures with cable-type conductors (CTC) and cantilever shootings allow to achieve barrel resistance comparable to flexible cable reinforcement, however, no increase in trunk diameter is required due to horizontal dynamic oscillations (500 mm per side).

The introduction of reinforcement with gearboxes in vertical shafts will allow:

- to reduce the aerodynamic resistance of the barrel reinforcement to the movement of the air jet by 8-10 times;
- to reduce the fan power consumption by 20% during the entire life of the mine, due to the choice of the most rational types of reinforcement and trunk tiers for the entire life of the mine;
- reduce the dimensions of the cross section of the trunk by the factor of ventilation of mine workings, through the use of more rational types of trunk reinforcement;
- reduce the operating costs of maintenance of reinforcement;
- to reduce capital costs when choosing the optimal diameter of the trunk according to the air throughput factor of the trunk;
- to increase the level of safe operation of the trunk and the reliability of ventilation of underground mine workings of the mine as a whole.

**Keywords:** vertical shaft shafts, aerodynamic drag, barrel reinforcement, rope-profile conductors.

*Статья поступила в редакцию 18.11.2017*

*Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Круковским А.П.*