

УДК 622.6:622.674:622.673.1

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

Рубель А.В., магистр
(Минэнергоуголь Украины)

Жалилов А.Ш., магистр
(ГП «Селидовуголь»)

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ НА КОНСТРУКЦИИ СОСУДОВ ПРИ ДВИЖЕНИИ ИХ ПО ГЛУБИНЕ СТВОЛА.

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

Рубель О.В., магистр
(Миненерговугілля України)

Жалілов О.Ш., магистр
(ДП «Селідіввугілля»)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АЕРДИНАМІЧНИХ СИЛ НА КОНСТРУКЦІЇ СУДИН ПРИ РУСІ ЇХ ПО ГЛИБИНІ СТОВБУРА

Rubel A.A., Ph.D. (Tech.)
(SE «AC «Ukruglerekstrukturizatsiya»)

Rubel O.V., M.S (Tech.)
(Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine)

Zhalilov A.Sh, M.S. (Tech.)
(SE «Selidovugol»)

RESEARCH INFLUENCE OF AERODYNAMIC FORCES ON THE DESIGN OF VESSELS WHEN TRAINING THEM IN THE DEPTH OF THE SHAFT

Аннотация. В работе исследовано влияние аэродинамических сил на движущийся сосуд для различных типов армировки ствола. Выполнен расчет воздействия аэродинамических сил на движущийся сосуд отдельно по глубине ствола и определены их направления. Проведено моделирование движения скипа и воздействия на него аэродинамических сил в программе ANSYS R17.2. Определена поворотная аэродинамическая сила, влияющая на поворот движущегося сосуда в горизонтальной плоскости.

В результате исследований воздействия аэродинамических сил на движущийся сосуд по глубине ствола определено, что основное воздействие их происходит на поворот сосуда из-за его конструкции и схемы расположения. При жесткой и канатно-профильной армировке влияние поворотной аэродинамической силы незначительно, а при движении сосуда в проводниках гибкой армировки, особенно в месте встречи сосудов, влияние существенно, и его необходимо учитывать при расчетах зазоров между сосудами.

Ключевые слова: шахтные вертикальные стволы, аэродинамические силы, канатно-профильные проводники, скипы.

Постановка проблемы. Вертикальные стволы шахт, добывающих полезные ископаемые подземным способом, являются основными вентиляционными выработками шахты, через которые осуществляется вход и выход вентиляционной струи. Обычно через клетевой ствол поступает свежая струя, а через скиповой выдается исходящая.

В соответствии с нормативным документом [1] максимальная скорость движения воздуха для скиповых стволов допускается 12м/с, для стволов для спуска-подъема людей и грузов - 8м/с; влияние воздушной струи на движущиеся сосуды разнонаправленное. При совпадении направления движения сосуда и воздушной струи скорость обтекания сосуда воздухом снижается, а при несовпадении - скорости складывается, т.е. скорость обтекания возрастает.

Конструкция жесткой армировка ствола с рельсовыми или коробчатыми проводниками рассчитывается на восприятие резонансных нагрузок, возникающих в системе «сосуд-армировка», которые значительно выше влияния аэродинамических сил.

В конструкциях гибкой армировки с канатными проводниками резонанс не возникает, и жесткость канатных проводников осуществляется за счет натяжения канатов, имеющих значительное сопротивление на изгиб, но низкое сопротивление на кручение, для предотвращения чего сосуд оборудуют 3-4 проводниками, расположенных по его краям.

Влияние аэродинамических сил на движение сосуда в гибких проводниках может приводить к существенным отклонениям и поворотам сосудов, что вызывает необходимость больших коэффициентов запаса на динамических поворотах сосудов и, как следствие, к увеличению диаметра ствола.

Нормы безопасности на проектирование и эксплуатацию канатных проводников [2] не содержат расчета аэродинамической составляющей, влияющей на поворот и движение сосудов в стволе.

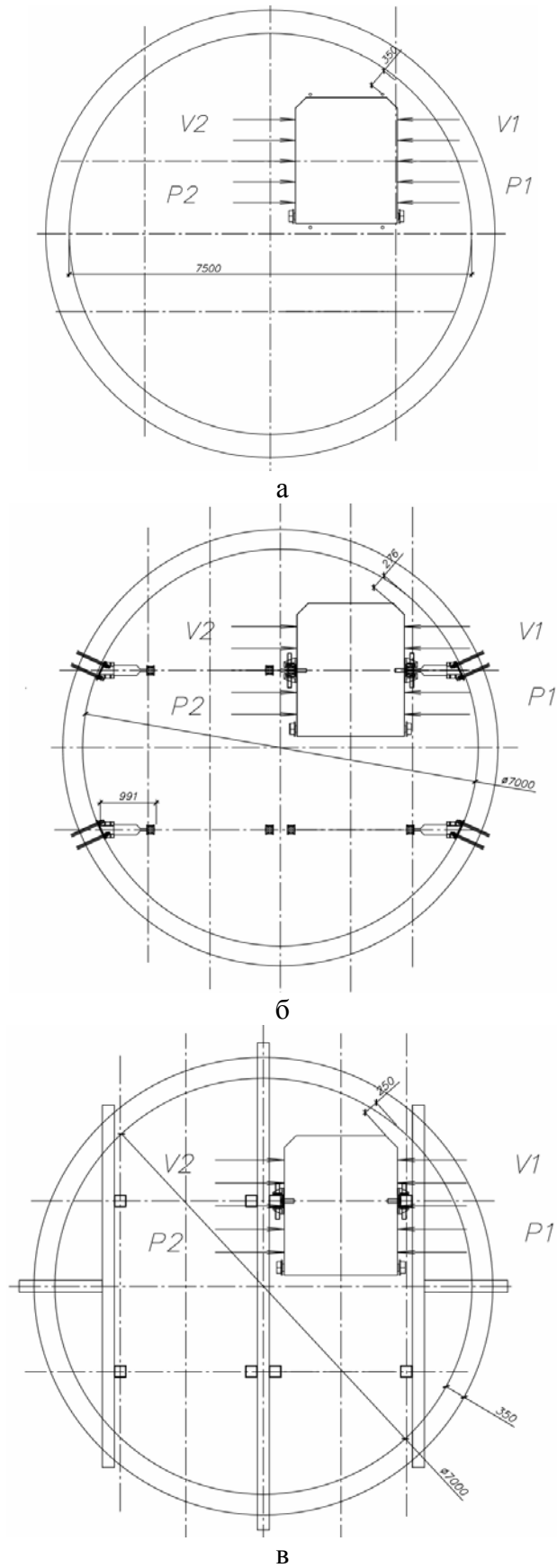
В конструкциях армировки с канатно-профильными проводниками [3] (далее КПП) и консольно-демпфирующими расстрелами (КДР) [4] изгибная жесткость проводников обеспечивается за счет канатов, а поворотная - за счет ограждающего профиля проводника и КДР. Влияние аэродинамических сил на демпфирующую армировку меньше, чем для гибкой армировки.

Исследование влияния аэродинамических сил на различные виды армировки стволов и разработка мероприятий, снижающих это влияние является перспективной научной и практической задачей.

Цель исследований – определение и расчет аэродинамических сил и их воздействия на систему «сосуд-армировка» с различными видами проводников и расстрелов.

Материалы и результаты исследования.

При движении в различных армировках ствола скип испытывает неравномерные аэродинамические характеристики, воздушная струя, обтекая скип, создает давление на боковые стенки сосуда.



а – гибкая армировка; б – канатно-профильная, в – жесткая балочная.
Рисунок 1 - Обтекание воздушной струей сосуда, движущегося в стволе

На рис.1. показано обтекание сосуда при движении его в стволе при

различных схемах армировки ствола; давление воздушной струи на сосуд определяется согласно уравнению Бернулли:

$$P = P_2 - P_1 = \frac{\gamma}{2g}(V_2^2 - V_1^2); \quad (1)$$

где γ – удельный вес воздуха при нормальных условиях, Н/м³.

Принимая коэффициент неравномерности распределения скоростей $\eta = \frac{V_1 - V_2}{V_2}$, и считая ее малой величиной ($\eta = 0,015 - 0,017$), можно определить аэродинамическую силу, действующую на стенку сосуда $S_{бок}, м^2$.

$$P = \frac{\eta\gamma V_2^2}{g} S_{бок}; Н [5] \quad (2)$$

Выполним расчет влияния аэродинамических сил на движущийся сосуд по глубине ствола:

- тип угольного скипа – СНМ 35-235-1,1 (СМУ 35.00.000);
- геометрические размеры скип $L \times l_2 \times l_1$, м – 14,24x7,11x7,23;
- максимальная скорость движения угольного скипа – 12м/с;
- скорость исходящей воздушной струи – 12м/с;
- удельный вес воздуха – $\gamma=1,4$ Н/м³.

- схема обтекания воздушной струей сосуда изображена на рис. 1а, б, в;

- боковая площадь сосуда $S_{бок}=103$ м²;

- скорость движения воздушного потока принимаем как сумма скорости исходящей воздушной струи и встречного движение сосуда $V_2=12+12=24$ м/с.

По этим данным можно определить воздействие горизонтальной аэродинамической силы на стенки сосуда за счет неравномерного распределения воздуха в стволе в координатах Z и Y:

$$P_z = \frac{\eta\gamma V_2^2}{g} S_{бок} = \frac{0,017 \cdot 1,4 \cdot 24^2}{10} \cdot 103 = 141,2 Н$$

$$P_y = \frac{\eta\gamma V_2^2}{g} S_{бок} = \frac{0,017 \cdot 1,4 \cdot 24^2}{10} \cdot 27,25 = 37,35 Н$$

Проведено экспериментальное исследование воздействия аэродинамических сил на движущейся сосуд по глубине ствола, так как подобные исследования в натуральных условиях значительно трудозатратны, и невозможно исключить вредное влияние многих факторов, таких как эксцентриситет сосуда и его загрузки, неравномерное натяжение канатов, искривление проводников армировки ствола, влияние кручения канатов и прочих, на получаемый результат. С этой целью было проведено моделирование данного процесса с помощью программы ANSYS R17.2, без учета влияния сторонних факторов (как бы в «идеальных условиях» для схемы армирования ствола (рис. 1а, б) для гибкой или канатно-профильной армировки). На рис. 2 показаны поля распределения скоростей движения воздуха в стволе вокруг движущегося

сосуда, где скорость движения воздушного потока принимается как сумма скорости исходящей воздушной струи и встречного движения сосуда $V_2=12+12=24\text{м/с}$.

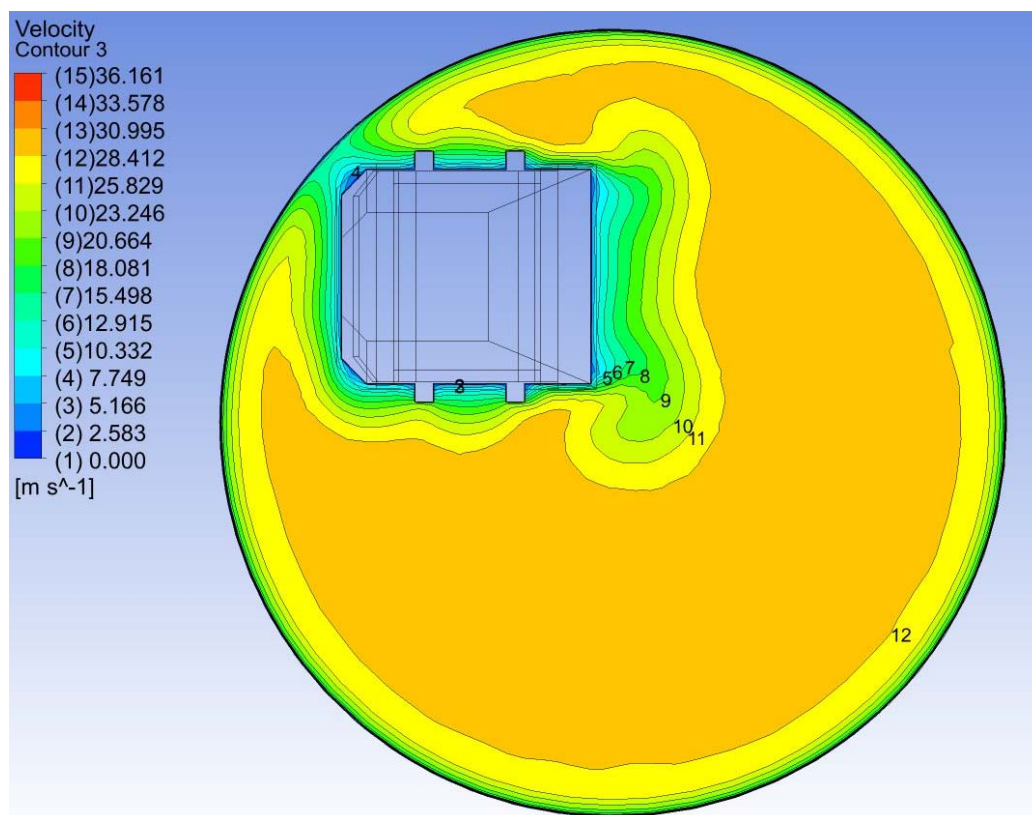


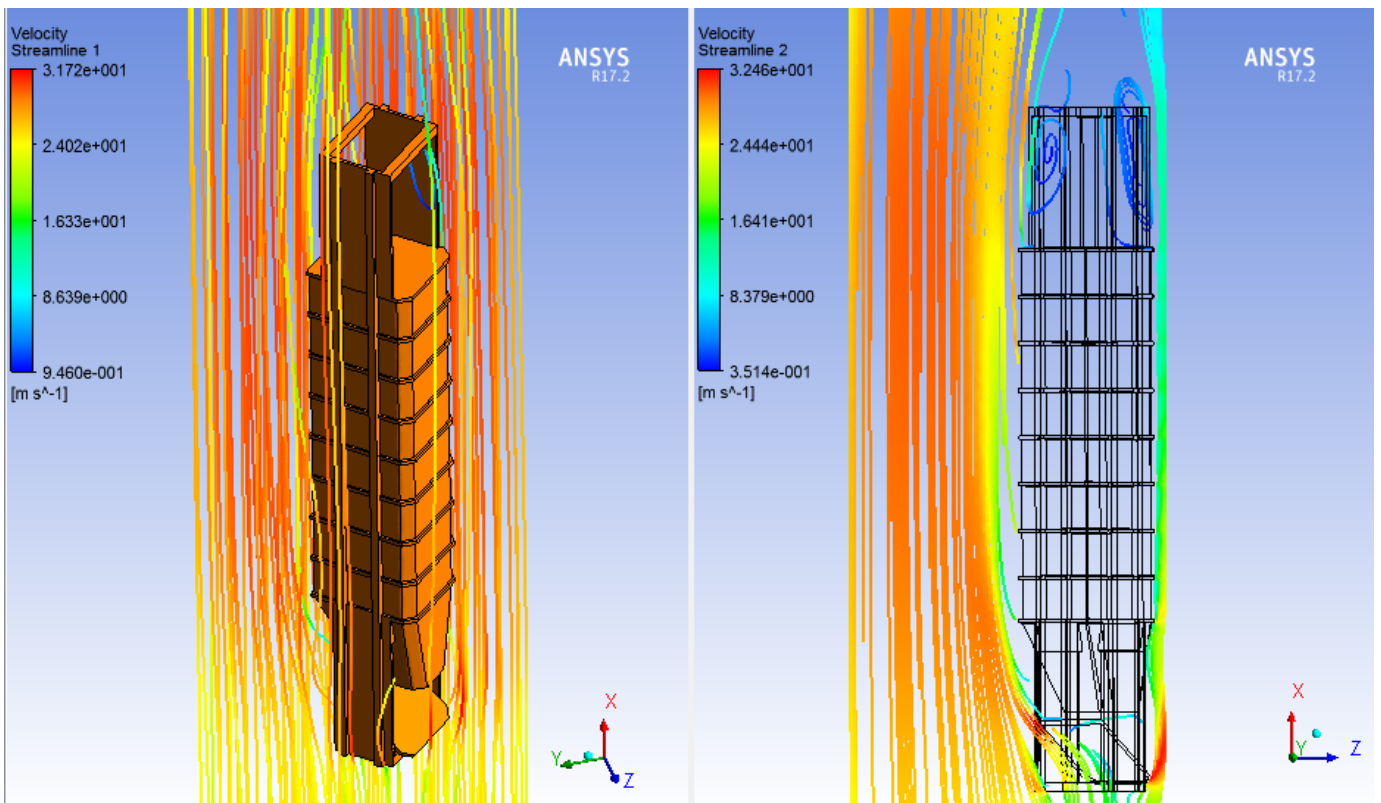
Рисунок 2 - Поле распределения скоростей движения воздуха в стволе

Как видно из рис. 2, средняя скорость воздуха в стволе вокруг сосуда составляет – $V_1=24\text{м/с}$, и $V_2=19\text{м/с}$, т.е. по формуле (2) получим значения $P_z=141,2\text{ Н}$, $P_y=23,25\text{Н}$; из результатов экспериментальных исследований принимаем для расчета $V_2 = k \cdot V_1$, где $k=0,6-0,8$.

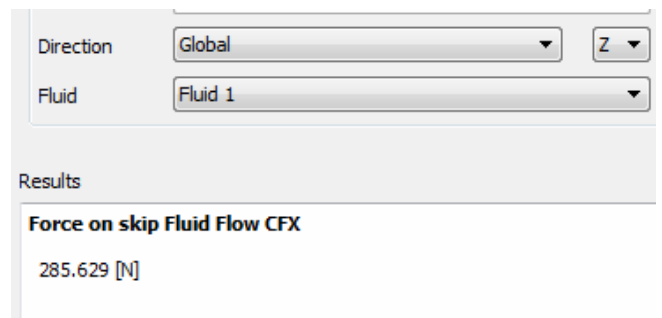
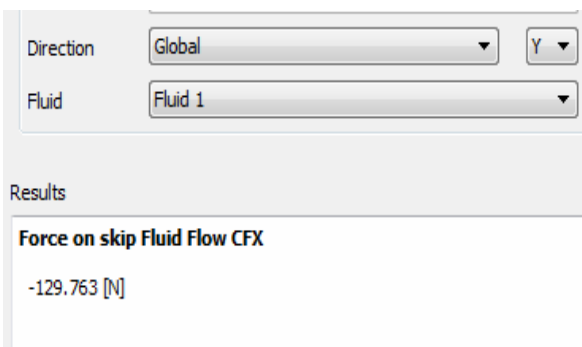
Структура обтекания воздушной струей движущегося угольного скипа СНМ 35-235-1,1 по глубине ствола при всех приведенных выше исходных данных приведено на рис. 3а,б,в.

Сравним полученные данные расчета аэродинамических усилий эмпирическим и программным методом. Из рис 3б видно, что $P_z=285,63\text{ Н}$, $P_y=129,76\text{Н}$. разница между расчетными значениями обусловлена влиянием на сосуд аэродинамических сил, которые не только толкают его к стенке по оси Z, но и, обтекая секторный затвор разгрузки скипа, формируют значительное усилие по оси Y.

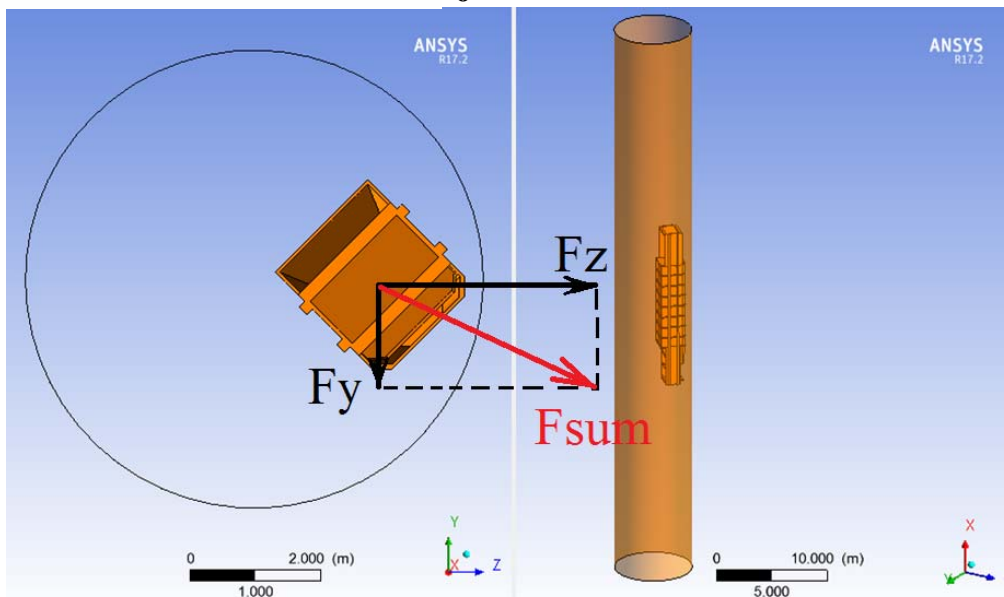
Сила горизонтального воздействия составляет по оси Z=285,629Н, по оси Y=129,763Н в 3.; сила, действующая на крышку скипа по оси X=2074,1Н; суммарная сила в горизонтальной плоскости составляет Fsum= 314Н и направлена под углом 45° к осям Y и Z, что вносит основной вклад в смещение сосуда в горизонтальной плоскости.



a



б



в

Рисунок 3 - Обтекание сосуда исходящей струей

Для корективки расчётов с учётом аэродинамического воздействия конструкции секторной разгрузки необходимо вводить коэффициенты $k_z=2$, $k=3,5$.

На основе исследований аэродинамического моделирования процесса в программе ANSYS R17.2 для движения одного сосуда по глубине ствола определено, что основное влияние аэродинамических сил на скип происходит не в прямолинейном смещении его к стенке крепи ствола, а в повороте его вокруг своей оси по часовой стрелке вследствие конструкции наклонного секторного затвора разгрузки и распределения поля скоростей при приближении скипа к стенке крепи.

Воздействие горизонтальной аэродинамической силы на изгиб проводника при движении сосуда в жесткой армировке незначительно, и не влияет на систему «сосуд-армирование». В случае движения скипа в гибкой армировке ствола, суммарная аэродинамическая сила в горизонтальной плоскости добавляет усилие в моменты кручения сосудов, особенно в месте встречи сосудов в стволе, поэтому ее необходимо учитывать при расчетах кинематики движения сосудов и определении диаметра ствола.

При движении сосудов в канатно-профильной армировке влияние аэродинамических поворотных сил на сосуд в месте встречи сосудов демпфируется с помощью консольных расстрелов, коробчатого профиля проводника, и сниженного дискретного [6] шага армировки с 60м до 8м, но их также необходимо учитывать в расчетах системы «сосуд-армирование».

Выводы.

В результате исследований воздействия аэродинамических сил на движущийся сосуд по глубине ствола установлено, что основное воздействие их происходит на поворот сосуда вследствие его конструкции и схемы расположения. При жесткой и канатно-профильной армировке влияние поворотной аэродинамической силы несущественно, а при движении сосуда в проводниках гибкой армировки, особенно в месте встречи сосудов, влияние существенно, и его необходимо учитывать при расчетах зазоров между сосудами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. 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).
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. Армвання вертикальних шахтних стволів і методи його вдосконалення / А.И. Волошин, А.А. Рубель., А.В. Рубель // Геотехнічна механіка: міжвідомчий збірник наукових праць / ІГЕМ ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2016,. - вип. 126 – С. 137-145.
4. Пат. 110492 Україна, (51) МПК (2016.01), E21D 7/00. Консольно-демпфіруючий розстріл: / Рубель А.О. – 2016. – Бюл. №19.

5. Прокопов, А.Ю. Нагрузки и воздействия на жесткую армировку вертикальных стволов / А.Ю. Прокопов. - Новочеркасск: Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), 2008 – 210стр.
6. Пат. 110518 Україна, (51) МПК (2016.01) E21D 7/00. Дискретне армування стовбура. / А.О. Рубель (Україна) – 2016. – Бюл. №19.

REFERENCES

1. Ministry of Coal industry of Ukraine (2010), *NRALP 10.0-1.01-10 Pravyla bezpeky u vugilnykh shakhtakh: zatverdzheno Nakazom Derzhavnogo komitetu Ukrainy z promyslovy bezpeky, okhorony pratsi ta girnychogo naglyadu 22.03.2010 № 62* [NRALP 1.01-10 Rules of safety at coal mines: ratified by Order of State Committee of Ukraine by the industrial safety, protection of labour and mining inspectorate 22.03.2010 № 62] (2010), Kiev, UA.
2. Minugleprom SSSR, Gosgortekhnadzor SSSR (1982), *Normy bezopasnosti na proektirovaniye i ekspluatatsiyu kanatnykh provodnikov mnogokanatnykh podyomnykh ustanovok* [Safety standards for the design and operation of cable rope conductors of multi-channel hoisting installations] and *Normy bezopasnosti na proektirovaniye I ekspluatatsiyu kanatnykh provodnikov odnokanatnykh podyomnykh ustanovok* [Safety standards for the design and operation of cable ropes of single-channel hoisting installations] approved by the USSR Ministry of Coal Industry Geophysical Safety 15.01.82 and Gosgortekhnadzor of the USSR 22.02.82, Makeyevka – Donbass, Makeyevka, SU.
3. Voloshin, A.I., Rubel AA. and Rubel AV (2016), «Armuvannia of vertical mine shafts and the method of yogo accumulation», *Geo-Technical Mechanics*, no. 126 - pp. 137-145.
4. Rubel A.O. (2016), *Konsolno-dempfiruyuchy rozstril* [Cantilever-damping rozstril], Ukraine, Pat. 110492.
5. Prokopov A.Yu. (2008), *Nagruzki i vozdeystviya na zhestkuyu armirovku vertikalnykh stvolov* [Loads and effects on rigid reinforcement of vertical shafts], Novocherkassk: South-Russian State Technical University (NPI), Novocherkassk, RU.
6. Rubel, A.O. (2016), *Dyskretne armuvannya stovbura* [Discretely armouring of shaft], Ukraine, Pat. 110518.

Об авторах

1. **Рубель Андрей Александрович**, кандидат технических наук, главный энергетик Государственное предприятие «Объединенная компания «Укруглереструктуризация», Киев, Украина, AORubel@gmail.com.
2. **Рубель Александр Васильевич**, магистр, главный механик, Министерство энергетики и угольной промышленности Украины, Киев, Украина.
3. **Жалілов Олександр Шамілійович**, магістр, головний механік ДП «Селидіввугілля», Селидове, Україна, zhalilov.aleksandr@gmail.com

About the authors

1. **Rubel Andrey Aleksandrovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Chief Power Engineering Specialist of State Enterprise «Associate Company «Ukruglerestrukturizatsiya»», Kiev, Ukraine, AORubel@gmail.com.
2. **Rubel Alexander Vasilievich**, Master of Science, Chief Mechanician, Ministry of Power Engineering and Coal Industry of Ukraine, Kiev, Ukraine.
3. **Zhalilov Oleksandr Shamiliyovych**, Master of Science, Chief Mechanical Engineer of the State Enterprise «Selidovugol», Selidovo, Ukraine, alnat01@mail.ru.

Анотація. В роботі досліджено вплив аеродинамічних сил на рухому посудину в різних типах армування ствола. Виконано розрахунок впливу аеродинамічних сил на рухому посудину окремо по глибині ствола, і визначено їхні напрямки. Проведено моделювання руху скіпа і вплив на нього аеродинамічних сил у програмі ANSYS R17.2. Визначено поворотну аеродинамічну силу, що впливає на поворот судини, що рухається, у горизонтальній площині.

В результаті досліджень впливу аеродинамічних сил на рухому судину по глибині ствола визначено, що основний вплив їх відбувається на поворот судини внаслідок його конструкції і схеми розташування. При жорсткому і канатно-профільному армуванні вплив поворотної аеродинамічної сили несуттєвий, а під час руху судини у провідниках гнучкого армування,

особливо в місці зустрічі судин, вплив є істотним, що необхідно враховувати при розрахунках зазорів між судинами.

Ключові слова: шахтні вертикальні стволи, аеродинамічні сили, канатно-профільні провідники, скіпи.

Annotation. The effect of aerodynamic forces on a moving vessel in various types of armor reinforcement has been studied. The calculation of the effect of aerodynamic forces on a moving vessel is carried out separately along the depth of the trunk and their directions are determined. The skip motion and the effect of aerodynamic forces on it in the ANSYS R17.2 program have been simulated. A rotational aerodynamic force is determined that affects the rotation of the moving vessel in the horizontal plane.

As a result of studies of the effect of aerodynamic forces on a moving vessel on the depth of the trunk, it is determined that their main effect is on turning the vessel because of its design and layout. In the case of rigid and rope-profile reinforcement, the effect of the rotational aerodynamic force is unimportant, and when the vessel moves in the conductors of the flexible reinforcement, especially at the meeting place of the vessels, the effect is significant, which must be taken into account when calculating the gaps between the vessels.

Key words: mine vertical barrels, aerodynamic forces, cable-profile conductors, skips.

Стаття поступила в редакцію 5.09. 2018

Рекомендовано к печати чл.-кор. НАН Украины А.И. Волошиным