

**ГЕОТЕХНОЛОГИЯ
(ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ)
GEOTECHNOLOGY
(UNDERGROUND, OPEN AND CONSTRUCTION)**

Научная статья

УДК 001.8 : 622.256.75 : 622.45: 622.678.53

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-4-76-86

**ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВАРИЙНОГО ГРУЗА НА
КОНСТРУКЦИЮ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ПОЛКОВ ПРИ УГЛУБКЕ
СКИПОВЫХ СТВОЛОВ**

**Копытов Александр Иванович,
Вети Ахмед Аиманович**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: L01BDV@yandex.ru



Информация о статье

Поступила:

26 мая 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 августа 2022 г.

Принята к публикации:

31 августа 2022 г.

Ключевые слова:

вертикальный ствол, углубка,
клиновой предохранительный
полок, обрыв скипа,
динамическая нагрузка,
аэродинамическая модель

Аннотация.

На основании проекта реконструкции Горно-Шорского филиала АО «Евраз ЗСМК», разработанного АО «Гипроруда» для поддержания производственной мощности предприятия 6 млн т в год ствол «Скиповой» необходимо углубить с отметки + 115 м до отметки – 85 м. Согласно требованиям правил безопасности, при углубке ствола в процессе эксплуатационного подъема для защиты рабочих в его углубляемой части от возможного падения подъемных сосудов или их содержимого, требуется сооружение предохранительных устройств. Анализ отечественного и зарубежного опыта показал, что за последние 35 лет разработкой новых конструкций предохранительных устройств для углубки вертикальных стволов шахт ни в России, ни за рубежом никто не занимался, а последние методические указания по их проектированию были разработаны и внедрены еще в 1979 году ВНИИОМШСом и в 1985 году Криворожским горнорудным институтом.

В статье приведены результаты исследования изменения величины динамического воздействия на предохранительный полок при аварийном обрыве скипа с учетом скорости и направления вентиляционного потока в стволе для обоснования вероятных нагрузок при проектировании защитных устройств.

Для цитирования: Копытов А.И., Вети А.А. Влияние динамического воздействия аварийного груза на конструкцию предохранительных полков при углубке скиповых стволов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 4 (152). С. 76-86. doi: 10.26730/1999-4125-2022-4-76-86

Современное состояние добычи полезных ископаемых показывает, что подземная разработка рудных месторождений характеризуется ежегодным понижением горных работ на 20-40 м [1].

Так проведение вскрывающих выработок на рудниках:

– США, Канады, ЮАР, и Индии осуществляется на глубине – 2-2,5 км;

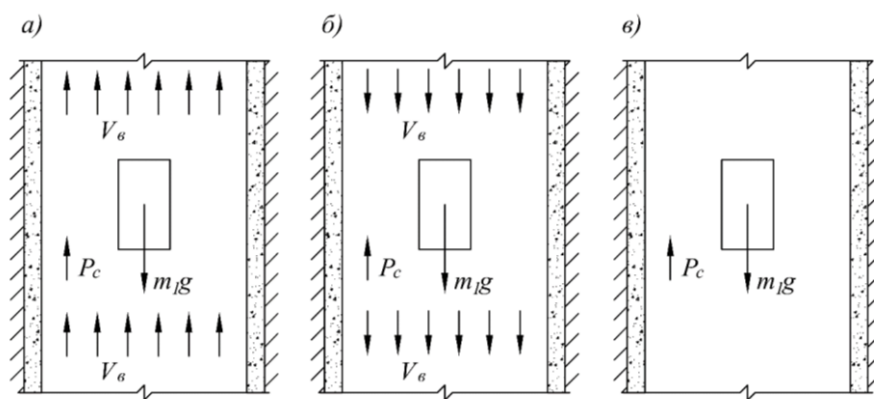
– Республики Казахстан – 800-1000 м;
 – Украины – до 1,5 км;
 – на горных предприятиях России (Урал, Горная Шория, Дальний Восток, Норильский никель) – 1-2,5 км.

Переход на большие глубины обусловлен особенностью геологического строения месторождения и связан с необходимостью поддержания и наращивания производственной мощности и максимального извлечения полезных ископаемых. Определяющее значение в решении данной задачи имеют вертикальные стволы шахт, оснащенные скиповым подъемом, так как только после их углубки появляется возможность осуществлять очистную выемку на очередном горизонте рудного поля [2, 3, 4].

Как правило, горнопроходческие работы в углубляемой части скипового ствола совмещаются с выполнением в верхней его части эксплуатационных функций по выдаче полезного ископаемого. В связи с этим в соответствии с требованиями правил безопасности появляется необходимость сооружения и ликвидации предохранительных полков, обеспечивающих защиту людей в забое углубляемого ствола от возможного падения в них различных предметов [5, 6].

Широкое распространение получили методы определения скорости свободного падения в безвоздушном пространстве в зависимости от высоты падения или же определение скорости падения с учетом сопротивления воздуха. Ограниченность пространства, в котором происходит падение, не учитывается. В этом случае все виды сопротивления воздуха, кроме лобового, также не учитываются, а его значение определяется с помощью коэффициента лобового сопротивления c_x [7]. Принимаемые значения c_x , равные 1-1,1, обеспечивают решения, которые идентичны на 95-100% классическому решению механики о свободном падении тела с учетом воздушной среды неограниченных размеров. Однако известно, что площадь вытеснения потока падающим телом в ограниченной среде больше площади миделева сечения самого тела. Это приводит к повышению местных скоростей и к значительному возрастанию c_x . Таким образом c_x при падении сосудов в стволе будет существенно больше принимаемых значений [8].

Так как аварийные ситуации в стволах действующих шахт полностью ликвидировать не



а – вентиляционный поток направлен против падения; б – вентиляционный поток направлен за падением; в – воздушный поток отсутствует.

Рис. 1. Схема действующих сил при свободном падении сосуда в вертикальном стволе

Fig. 1. A force diagram for the vehicle's free fall in a vertical shaft

удается, при проектировании предохранительных полков приходится определять величину динамической нагрузки, возникновение которой возможно в данном стволе. Существенное влияние на величину динамического нагружения, а, следовательно, и на устойчивость предохранительных полков оказывает величина скорости свободного падения сосуда в момент соударения. Общеизвестно, что скорость падения сосудов в стволе будет меньше теоретической. Этому способствует ряд факторов как механического, так и аэродинамического характера. Факторы механического характера практически предсказать невозможно и их следует отнести в запас прочности. Фактически при падении тел с большими скоростями в ограниченной среде общая величина сопротивления воздуха является величиной переменной, зависящей от скорости

падения, и описать ее достаточно сложно. При учете сопротивления воздуха падению оборвавшегося сосуда необходимо его рассматривать как силу, действующую в направлении, противоположном движению. В данном случае решается задача определения параметров движения оборвавшегося в стволе сосуда с учетом ограниченной среды и направления вентиляционного потока воздуха. При этом рассматривается три случая движения, представленные на рисунке 1 [9, 10]:

- направление движения падающего сосуда не совпадает с направлением вентиляционного потока (рисунок 1, а);
- направление движения падающего сосуда совпадает с направлением вентиляционного потока (рисунок 1, б);
- воздушный поток в стволе отсутствует (рисунок 1, в).

Для более точного определения скорости и величины кинетической энергии падающего тела была принята методика, разработанная Криворожским горнорудным институтом для шахт Кривбасса на основании инструкции ВНИИОМШС, позволяющая в полной мере оценить характер движения тела в воздушном потоке, ограниченном стенками вертикального ствола [11].

Определение величины скорости падения сосудов в стволе возможно произвести с учетом аэродинамического сопротивления движению, которое возникает в ограниченной воздушной среде. Это сопротивление существенно влияет на величину скорости падения, а, следовательно, и на величину динамических нагрузок. Оно наиболее часто определяется с помощью коэффициента лобового сопротивления. Определение этого коэффициента сложное, и получаемые его значения не обеспечивают достаточной точности решений. Более точно величину сопротивления ограниченной воздушной среды при свободном падении подъемного сосуда можно определить аналитическим методом на основе обобщения решений шахтной аэродинамики и математической физики, согласно которым сопротивление ограниченной воздушной среды (p_c) является функцией скорости.

$$p_c = f(V) = p_c(V), \quad (1)$$

Сопротивление ограниченной воздушной среды $p_c(V)$ и потерю давления воздуха в горной выработке (h_n) при обтекании воздушным потоком оборудования связывает зависимость

$$p_c(V) = h_n(S_c - S_m), \quad (2)$$

где S_c – площадь сечения ствола в свету, м; S_m – площадь миделевого сечения сосуда, м.

Для определения потерь давления (h_n) наиболее целесообразно использовать формулы, предложенные К. А. Корепановым. Подставив их в (2), после соответствующих преобразований получили выражение для правой части относительно скорости падения (V), позволившее определять величину сопротивления воздуха свободному падению сосуда в стволе как функцию скорости. Полученное выражение устанавливает закономерность, связывающую скорость падения сосуда в стволе с сопротивлением ограниченной воздушной среды [10, 12]

$$p_c(V) = Av^2 + Bv + D, \quad (3)$$

где A, B, D – величины, зависящие от аэродинамических и геометрических характеристик ствола и сосуда.

Определение A, B, D следует производить с учетом направления вентиляционного потока в стволе согласно расчетной схеме, представленной на рисунке 1 (а, б), по формулам:

а) Направление движения падающего сосуда не совпадает с направлением вентиляционного потока в стволе:

$$A = \frac{153\alpha S_m (0,5S + S_m)}{S - S_m} + \frac{\alpha Pl_c S_m^2}{(S - S_m)^2} + \frac{\alpha_c Pl_c S_c^2}{(S - S_m)^2}; \quad (4)$$

$$B = \frac{306\alpha V_B S_m (0,5S + S_m)}{S - S_m} + \frac{2\alpha Pl_c V_B S_m S}{(S - S_m)^2} + \frac{2\alpha_c Pl_c V_B S^2}{(S - S_m)^2}; \quad (5)$$

$$D = \frac{153\alpha S_m V_B^2 (0,5S + S_m)}{S - S_m} + \frac{\alpha Pl_c V_B S^2}{(S - S_m)^2} + \frac{\alpha_c Pl_c V_B^2 S^2}{(S - S_m)^2} - \frac{\alpha Pl_c V_B^2 (S - S_m^2)}{S}. \quad (6)$$

б) Направление движения падающего сосуда совпадает с направлением вентиляционного потока в стволе:

$$A = \frac{153\alpha S_M (0,5S + S_M)}{S - S_M} - \frac{\alpha P l_c S_M^2}{(S - S_M)^2} + \frac{\alpha_c P_c l_c S^2}{(S - S_M)^2}; \quad (7)$$

$$B = -\frac{306\alpha V_B S_M (0,5S + S_M)}{S - S_M} - \frac{2\alpha P l_c V_B S_M S}{(S - S_M)^2} - \frac{2\alpha_c P_c l_c V_B S^2}{(S - S_M)^2}; \quad (8)$$

$$D = \frac{153\alpha S_M V_B^2 (0,5S + S_M)}{S - S_M} - \frac{\alpha P l_c V_B^2 S^2}{(S - S_M)^2} + \frac{\alpha_c P_c l_c V_B^2 S^2}{(S - S_M)^2} + \frac{\alpha P l_c V_B^2 (S - S_M)}{S}. \quad (9)$$

где S_M – площадь миделевого сечения сосуда, м²; l_c – длина сосуда, м; S – площадь сечения ствола, м²; V_B – скорость движения воздушной струи в стволе, м/с; P_c – периметр сосуда по площади миделевого сечения, м; α – коэффициент аэродинамического сопротивления ствола; α_c – коэффициент аэродинамического сопротивления сосуда.

Зная геометрические и аэродинамические характеристики ствола и подъемного сосуда, по формулам (4-9) находятся числовые значения A , B , D .

Найденное выражение для определения сопротивления ограниченной воздушной среды при свободном падении в ней подъемного сосуда позволяет определить скорость падения. Дифференциальное уравнение движения оборвавшегося сосуда в стволе с учетом ограниченности пространства примет вид

$$m \frac{dv}{dt} = mg - (Av^2 + Bv + D), \quad (10)$$

где t – время падения сосуда, с; m – масса падающего сосуда, кг; g – ускорение свободного падения.

Уравнение (10) является дифференциальным уравнением с разделяющимися переменными. Его решение позволило получить расчетные формулы для нахождения скорости падения сосуда в стволе в любой промежуток времени с любой высоты:

$$H = a_5 \ln \left| \frac{a_4 e^{a_1 t} - a_2}{a_4 - a_2} \right| - a_6 t; \quad (11)$$

$$V_u = a_3 \frac{1 - e^{a_1 t}}{a_4 e^{a_1 t} - a_2} \quad (12)$$

где e – основание натурального логарифма; H – высота падения, м; V_u – скорость свободного падения сосуда в вертикальном стволе, м/с; a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 – величины постоянные для конкретных условий, определяемые по формулам:

$$a_1 = \frac{\sqrt{|\Delta|}}{m} \quad (13)$$

$$a_2 = 2A(B - \sqrt{|\Delta|}) \quad (14)$$

$$a_3 = B^2 + |\Delta| \quad (15)$$

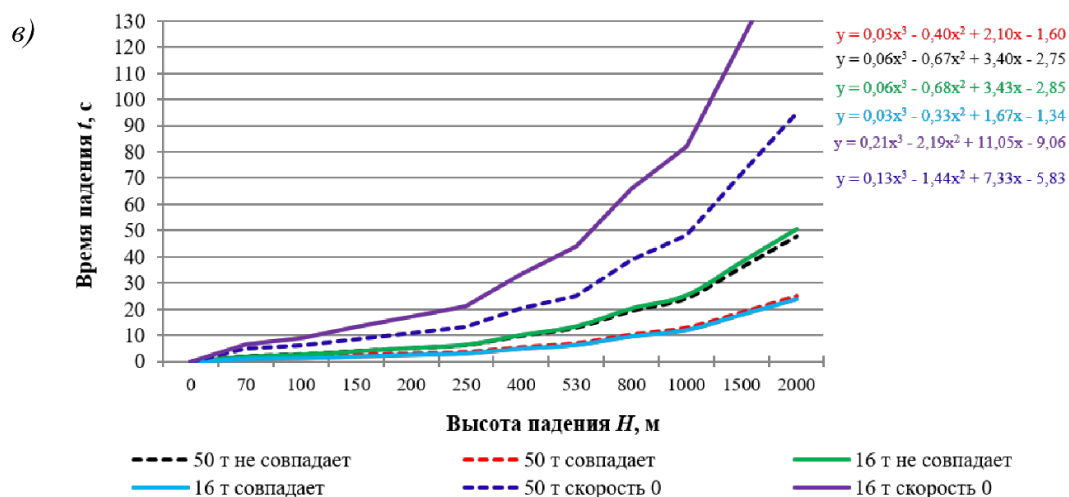
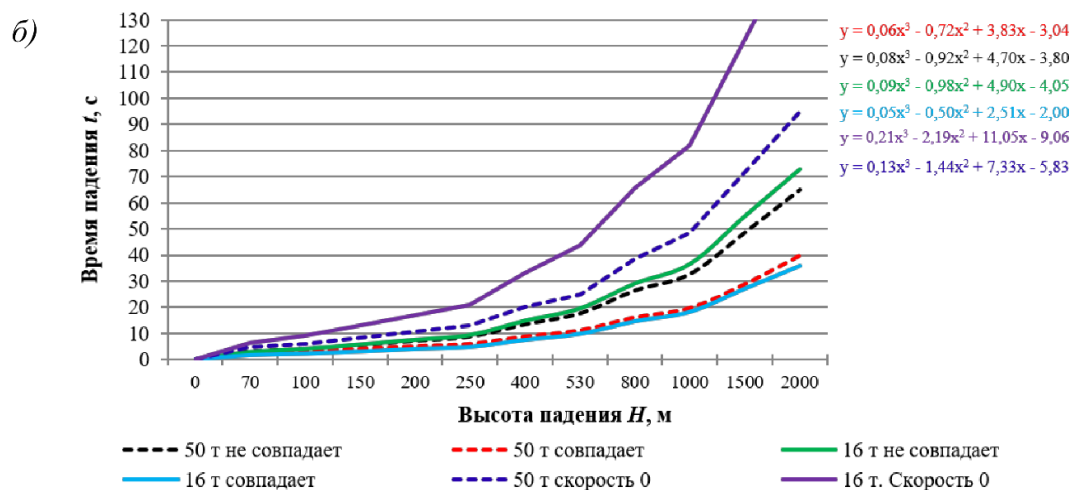
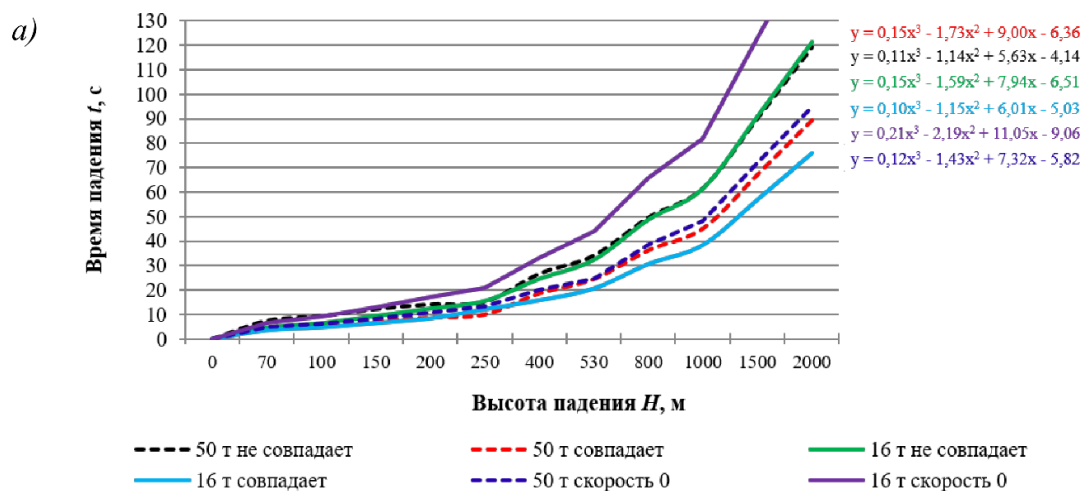
$$a_4 = 2A(B + \sqrt{|\Delta|}) \quad (16)$$

$$a_5 = \frac{a_3(a_4 - a_2)}{a_1 a_2 a_4} \quad (17)$$

$$a_6 = \frac{a_3}{a_2} \quad (18)$$

где $\Delta = -[4A(mg - D) + B^2]$

Для определения V_u необходимо по формуле (11), зная высоту H , найти время падения t , а затем по формуле (12) определить скорость падения, соответствующую данной высоте и времени.

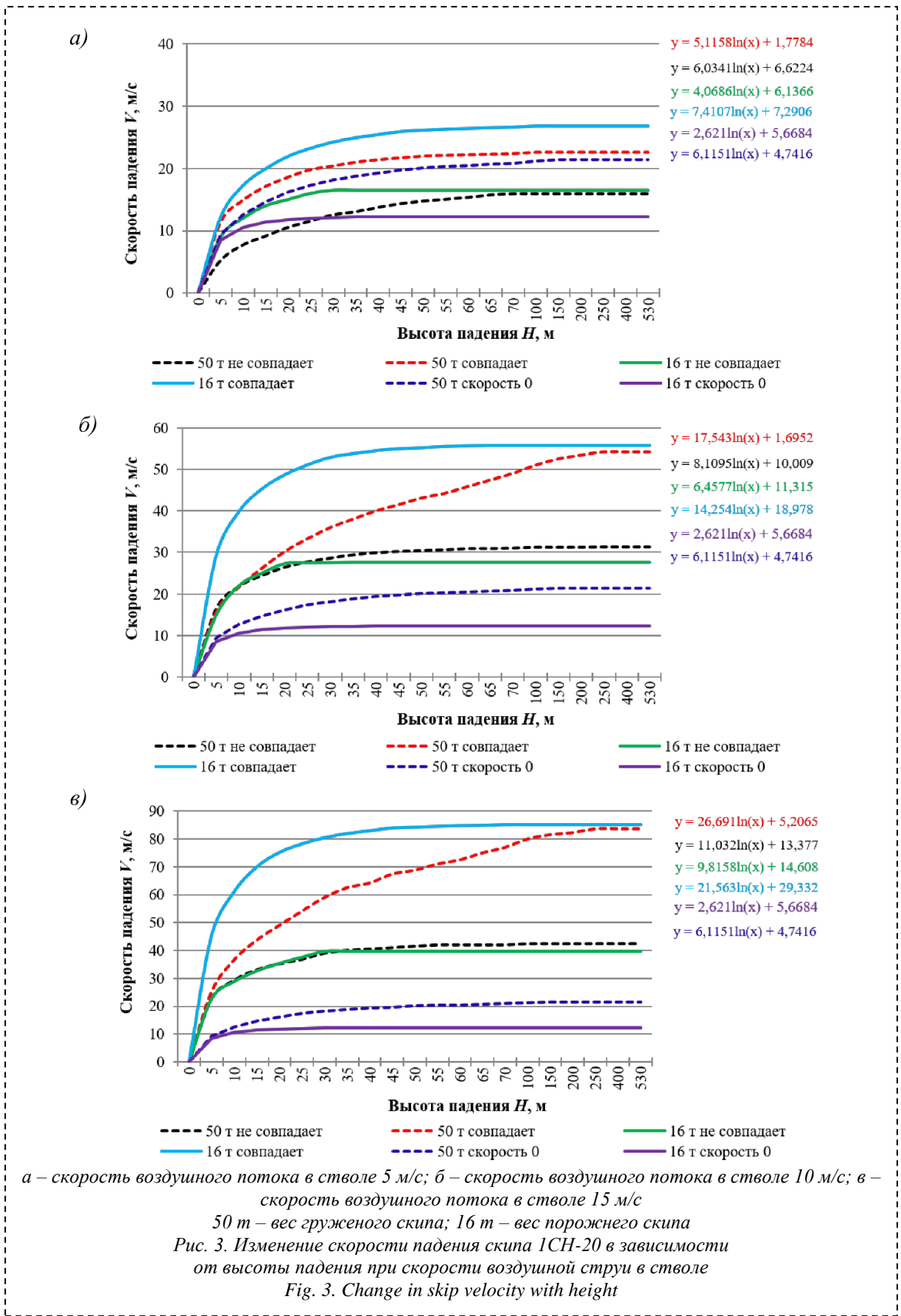


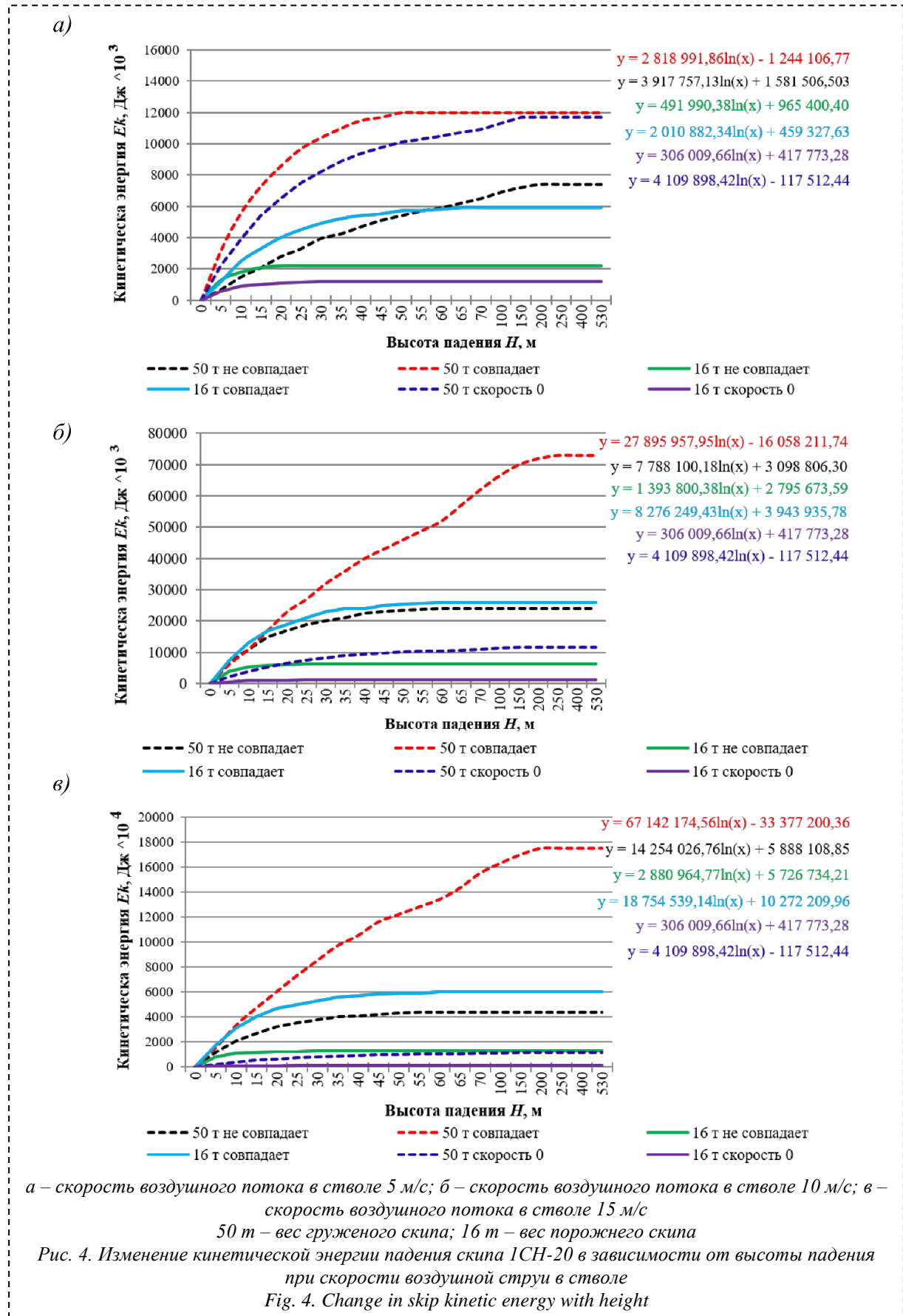
a – скорость воздушного потока в стволе 5 м/с; *б* – скорость воздушного потока в стволе 10 м/с; *в* – скорость воздушного потока в стволе 15 м/с

50 т – вес груженого скипа; 16 т – вес порожнего скипа

Рис. 2. Изменение времени падения скипа 1СН-20 в зависимости от высоты падения при скорости воздушной струи в стволе

Fig. 2. Change in skip fall time with height





Для обоснования параметров и разработки конструкции предохранительного полка в условиях реализации проекта по углубке ствола «Скиповой» Шерегешской шахты Горно-Шорского филиала АО «Евраз ЗСМК» в соответствии с предложенной методикой выполнены расчеты по определению времени падения (рисунок 2), скорости (рисунок 3) и величины кинетической энергии (рисунок 4) в зависимости от высоты падения скипа [9, 13, 14, 15]

С помощью математического моделирования установлено, что при проектировании конструкции предохранительных полков при углубке вертикальных стволов в условиях эксплуатационного подъема необходимо учитывать:

1. При увеличении скорости воздушной струи время падения скипа описывается уравнением кубической функции. При изменении направления воздушной струи время, затраченное на прохождение того же участка скипом, увеличивается в 1,4 раза для груженого скипа массой 50 т, и в 2,1 раза для порожнего скипа массой 16,6 т (см. рисунок 2.а, 2.б, 2.в).

2. Кинетическая энергия падающего скипа изменяется логарифмически и зависит от высоты падения, направления и скорости воздушной струи, а также его (скипа) массы и соотношения площадей миделевого сечения скипа к общей площади сечения ствола (см. рисунок 3.а, 3.б, 3.в).

3. Скорость падающего скипа логарифмически зависит от высоты падения (см. рисунок 4.а, 4.б, 4.в). При этом сопротивление воздуха в глубоких стволах обеспечивает существенное снижение скорости падения. Наибольшее влияние на ее снижение оказывает отношение миделевого сечения скипа к площади сечения ствола. Фактически меньшая по отношению к теоретической скорость свободного падения скипа обеспечивает существенное снижение его кинетической энергии, что в свою очередь снижает величину динамической нагрузки на предохранительный полк.

Таким образом, результаты исследований позволили обосновать новую конструкцию предохранительного полка и ее модификации, которая при углубке ствола «Скиповой» шахты «Шерегешской» АО «Евраз ЗСМК» позволила на 23 дня сократить сроки останковки скипового подъема на период монтажа и демонтажа по отношению к срокам, предусмотренным проектом реконструкции, и получить экономический эффект в размере 70 млн рублей (в ценах 2015 года) [16].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Першин В. В. Реконструкция, ремонт, восстановление и ликвидация горных выработок. Кемерово : Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Кузбасский государственный технический университет Т. Ф. Горбачева, 2021. 520 с.
2. Kopytov A. I., Kupriyanov O. A., Manakov Yu. A., Kupriyanov A. N. Coal mining in Kuzbass and new technologies for revegetation of dumps // E3S web of conferences, Volume, 315 VIth International Innovative Mining Symposium, 2021. Article Number 02016.
3. Kempson W. J. Designing energy-efficient mineshaft systems // Essays Innovate. 2014. № 9. P. 76-79.
4. Kratz T., Martens P. N. Optimization of mucking and hoisting operation in conventional shaft sinking // Glückauf. 2015. No. 2. P. 16-22.
5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» : издательство официальное : утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 г. №507 : зарегистрировано в министерстве юстиции Российской Федерации 18 декабря 2020г. №61587 : дата введения 01 января 2021г. – Москва : ЦЕНТРМАГ, 2021. – 156 с. ISBN 978-5-903060-68-9. – Текст : непосредственный.
6. Pershin V. V., Kopytov A. I., Fadeev Yu. A., Wetti A. A. Study of the dynamic loading impact on the design of pentices when sinking vertical mine shafts // E3S web of conferences, Volume, 41. IIIrd international innovative mining symposium, 2018. Pp. 105-109.
7. Шутько Ю. П., Морозов А. Е., Мордухович В. Д. Углубка вертикальных стволов шахт. Москва : Недра, 1978. 277 с.
8. Ксенофонтова А. И. Справочник по рудничной вентиляции. Москва : Госгортехиздат, 1962. 688 с.
9. Временная инструкция по защите забоев вертикальных стволов шахт / Минчермет СССР; ВО «Союзшахтопроходка»; МВССО УССР, Криворожский горный институт. Кривой рог, 1985. 104 с.
10. Определение вероятных нагрузок и разработка эффективных способов защиты забоев углубляемых стволов шахт для условий Горной Шории : Отчет о НИР / КГРИ; А. М. Задорожний. Руководитель № ГР68053180. Кривой Рог, 1983. 200 с.
11. Инструкция по расчету, сооружению и ликвидации предохранительных устройств для углубки

вертикальных стволов шахт. Харьков : ВНИИОМШС, 1979. 91 с.

12. Ушаков К. З Справочник по рудничной вентиляции. Москва : Недра, 1977. 327 с.

13. Задорожный А. М., Липовик В. В., Козариз В. Я. Определение параметров движения свободного сосуда в стволе шахты // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, 1979. №5. С. 24-28.

14. Копытов А. И., Войтов М. Д., Вети А. А. Новые технологические решения предохранительных устройств для углубки вертикальных стволов шахт // Горный журнал, 2015. № 1 С. 67-70.

15. Копытов А. И., Першин В. В., Войтов М. Д., Вети А. А. Разработка защитных устройств, технологии их сооружения и демонтажа при углубке вертикальных стволов // Журнал «Уголь». 2015. №9. С. 51-55.

16. Патент на полезную модель № 133198 «Клиновой предохранительный полок» Авторы: Жук И. В. и [др.], Заявл. 06.05.13. Опубл. 10.10.13. Бюлл. №28.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Копытов Александр Иванович, президент Сибирского отделения Академии горных наук, д.т.н., профессор кафедры СПСиШ, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), доктор технических наук, L01BDV@yandex.ru

Вети Ахмед Аиманович, горный инженер, ассистент кафедры СПСиШ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), wetti_a@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Копытов Александр Иванович – обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы, написание текста, постановка исследовательской задачи, научный менеджмент.

Вети Ахмед Аиманович – обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы, написание текста, постановка исследовательской задачи, научный менеджмент.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

INFLUENCE OF THE DYNAMIC IMPACT OF EMERGENCY LOAD ON THE PARAMETERS OF PENTICE DESIGNS WHEN SINKING SKIP SHAFTS

Aleksandr I. Kopytov,
Akhmed A. Veti

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: L01BDV@yandex.ru



Article info

Submitted:
26 May 2022Approved after reviewing:
01 August 2022Accepted for publication:
31 August 2022

Keywords: Vertical shaft, shafts sinking, wedge protective bunton, dynamic load, full skip run, aerodynamic model

Abstract.

Based on the reconstruction project of the Gorno-Shorsky Branch of JSC «Evraz ZSMK» developed by JSC "Giproruda" to maintain the production capacity of the enterprise of 6 million tons per year, it is necessary to deepen Skipovoy shaft from the mark + 115 m to the mark – 85 m. When sinking the active hoisting shaft, to protect workers in its sunk part from the possible fall of vehicles or their contents, it is necessary to construct safety devices. The analysis of domestic and foreign experience has shown that over the past 30 years, nobody whether it is in Russia or abroad has been doing any studies in the development of new designs of safety devices for deepening vertical shafts in Russia, and the latest methodological guidelines for their design were developed and implemented in 1979 by VNIOMSHS and in 1985 by the Krivoy Rog Mining Institute.

The results of the studies of dynamic loads impact for the protective equipment construction under shafts sinking equipped by skip winding are given in the paper.

For citation: Kopytov A.I., Veti A.A. Influence of the dynamic impact of emergency load on the parameters of pentice designs when sinking skip shafts. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 4(152):76-86. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-4-76-86

REFERENCES

1. Pershin V.V. Rekonstruktsiya, remont, vosstanovlenie i likvidatsiya gornykh vyrabotok. Kemerovo: Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii, Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet T. F. Gorbacheva; 2021.
2. Kopytov A.I., Kupriyanov O.A., Manakov Yu.A., Kupriyanov A.N. Coal mining in Kuzbass and new technologies for revegetation of dumps. *E3S web of conferences. Volume, 315 – VIth International Innovative Mining Symposium*, 2021. Article Number 02016.
3. Kempson W.J. Designing energy-efficient mineshaft systems. *Essays Innovate*. 2014; 9:76-79.
4. Kratz T., Martens P.N. Optimization of mucking and hoisting operation in conventional shaft sinking. *Glückauf*. 2015; 2:16-22.
5. Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh»: izdatel'stvo ofitsial'noe : utverzhdeny prikazom Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskemu i atomnomu nadzoru ot 8 dekabrya 2020 g. №507 : zaregistrirvano v ministerstve yustitsii Rossiyskoy Federatsii 18 dekabrya 2020g. №61587 : data vvedeniya 01 yanvarya 2021g. Moskva: TsENTRMAG; 2021.
6. Pershin V.V., Kopytov A.I., Fadeev Yu.A., Wetti A.A. Study of the dynamic loading impact on the design of pentices when sinking vertical mine shafts. *E3S web of conferences, Volume, 41 – III rd international innovative mining symposium*. 2018. P. 105-109.
7. Shut'ko Yu.P., Morozov A.E., Mordukhovich V.D. Uglubka vertikal'nykh stvolov shakht. Moskva: Nedra; 1978.
8. Ksenofontova A. I. Spravochnik po rudnichnoy ventilyatsii. Moskva: Gosgortekhzdat; 1962.
9. Vremennaya instruktsiya po zashchite zaboev vertikal'nykh stvolov shakht / Min-chermet SSSR; VO «Soyuzshakhtoprokhodka»; MVSSO USSR, Krivorozhskiy gornyy in-stitut. Krivoy rog, 1985.
10. Opredelenie veroyatnykh nagruzok i razrabotka effektivnykh sposobov zashchity zaboev uglublyaemykh stvolov shakht dlya usloviy Gornoy Shorii : Otchet o NIR / KGRI; A. M. Zadorozhnyy – Rukovoditel' № GR68053180. Krivoy Rog, 1983.

11. Instruktsiya po raschetu, sooruzheniyu i likvidatsii predokhranitel'nykh ustroystv dlya uglubki vertikal'nykh stvolov shakht. Khar'kov: VNIOMShS; 1979. 91 s.
12. Ushakov K.Z. Spravochnik po rudnichnoy ventilyatsii. Moskva: Nedra; 1977.
13. Zadorozhniy A.M. Lipovik V.V., Kozariz V.Ya. Opredelenie parametrov dvizheniya svobodnogo sosuda v stvole Shakhty. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. *Gornyy zhurnal*, 1979; 5:24-28.
14. Kopytov A.I., Voytov M.D., Veti A.A. Novye tekhnologicheskie resheniya predokhranitel'nykh ustroystv dlya uglubki vertikal'nykh stvolov shakht. *Gornyy zhurnal*. 2015: 1:67-70.
15. Kopytov A.I., Pershin V.V., Voytov M.D., Veti A.A. Razrabotka zashchitnykh ustroystv, tekhnologii ikh sooruzheniya i demontazha pri uglubke vertikal'nykh stvolov. *Zhurnal «Ugol'»*, 2015; 9:51-55.
16. Patent na poleznuyu model' № 133198 «Klinovoy predokhranitel'nyy polok» Avtory: Zhuk I.V. and others, Zayavl. 06.05.13 .Opubl. 10.10.13. Byull. №28.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Aleksandr I. Kopytov, President of the Siberian department of the Academy of Mining Sciences, Dr.-Eng., the professor of the Department of Construction of Underground Structures and Mines, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), L01BDV@yandex.ru

Akhmed A. Veti, mining engineer, graduate teaching assistant of the Department of Construction of Underground Structures and Mines, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), wetti_a@mail.ru

Contribution of the authors:

Aleksandr I. Kopytov – review of relevant literature; conceptualization of research; data collection and analysis; conclusions; writing text, setting a research task; scientific management.

Akhmed A. Veti – review of relevant literature; conceptualization of research; data collection and analysis; conclusions; writing text, setting a research task; scientific management.

All authors have read and approved the final manuscript.

