УДК 001.8:622.256.75:622.45: 622.678.53 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-133-142

Исследование влияния изменения параметров свободного падения скипа на устойчивость предохранительных полков при углубке вертикальных стволов

Копытов А. И.[1]*, Першин В. В.[1], Вети А. А.[1]
[1] Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия
e-mail: L01BDV@yandex.ru

Реферат

Введение. *Для защиты рабочих, занятых в процессе производства работ по углубке стволов, используются искусственные предохранительные устройства (полки) с опорным элементом из мощных двутавровых балок или ферменных конструкций. Они должны выдерживать огромную ударную нагрузку, быть прочными, простыми по конструкции, иметь меньшую трудоемкость при сооружении и демонтаже.*

Цель работы. *На основе полученных результатов математического моделирования повысить эффективность оснащения углубки вертикальных стволов шахт путем обоснования динамических нагрузок на предохранительные полки и определения их рациональных параметров, обеспечивающих сокращение материалоемкости и трудоемкости работ.*

Методология. *Для обоснования параметров и разработки конструкции предохранительных полков при углубке вертикальных стволов в условиях эксплуатационного подъема с помощью математического моделирования установлены зависимости времени падения скипа при изменении высоты его падения с учетом скорости и направления воздушной струи в стволе.*

Результаты. *Компанией «СибГорКомплексИнжиниринг» (г. Новокузнецк) совместно с кафедрой «Строительство подземных сооружений и шахт» КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева разработано несколько вариантов новых конструкций предохранительных полков для углубки вертикальных стволов в условиях работы эксплуатационного подъема. Они представляют собой Z-образную конструкцию из смещенных по высоте, параллельных друг другу верхнего и нижнего предохранительных полков, футерованных наклонными отражательными металлическими листами и соединенными между собой вертикальной разделительной стенкой.*

Выводы. *Разработанная конструкция полка позволяет многократно снизить воздействие ударной нагрузки за счет изменения направления движения и гашения кинетической энергии падающих тел. Промышленные испытания новой конструкции клинового предохранительного полка подтвердили ее высокую надежность, эффективность и безопасность работ при углубке ствола «Скиповой» Горно-Шорского филиала АО «Евразруда».*

Ключевые слова: *вертикальный ствол; углубка; клиновой предохранительный полок; обрыв скипа; динамическая нагрузка.*

Введение. При углубке вертикальных стволов действующих шахт в них возможно падение различных предметов, что представляет большую опасность для проходчиков, работающих в забое углубляемой части стволов [1, 2]. Для безопасного ведения работ углубляемая часть стволов ограждается от действующей защитными устройствами – предохранительными полками. Наибольшие динамические нагрузки на предохранительный полок следует ожидать при падении подъемных сосудов с нулевой отметки.

Для решения вопросов устойчивости предохранительных полков особое значение имеет определение скорости падающего сосуда в момент его соударения с поверхностью предохранительного полка. 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 [3]. 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 [4].

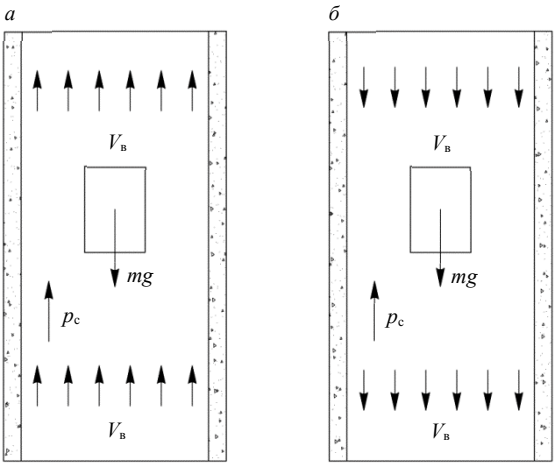

Рис. 1. Схема действующих сил при свободном падении сосуда в вертикальном стволе:
а – вентиляционный поток направлен против падения; *б* – направление вентиляционного потока совпадает с направлением падения

Fig. 1. Scheme of the acting forces with the free fall of a vessel in a vertical shaft:
а – the ventilation flow is directed against falling; *б* – the direction of the ventilation flow coincides with the direction of fall

Результаты исследований. Так как аварийные ситуации в стволах действующих шахт полностью ликвидировать не 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 скорость свободного падения сосуда в момент соударения. Общеизвестно, что скорость падения сосудов в стволе будет меньше теоретической. Этому способствуют факторы как механического, так и аэродинамического характера. Факторы механического характера практически предсказать невозможно, и их следует отнести к запасу 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 рассматривать его 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 рассматриваются два случая движения, представленные на рис. 1, когда направление движения падающего сосуда не совпадает с направлением вентиляционного потока и когда направление движения падающего сосуда совпадает

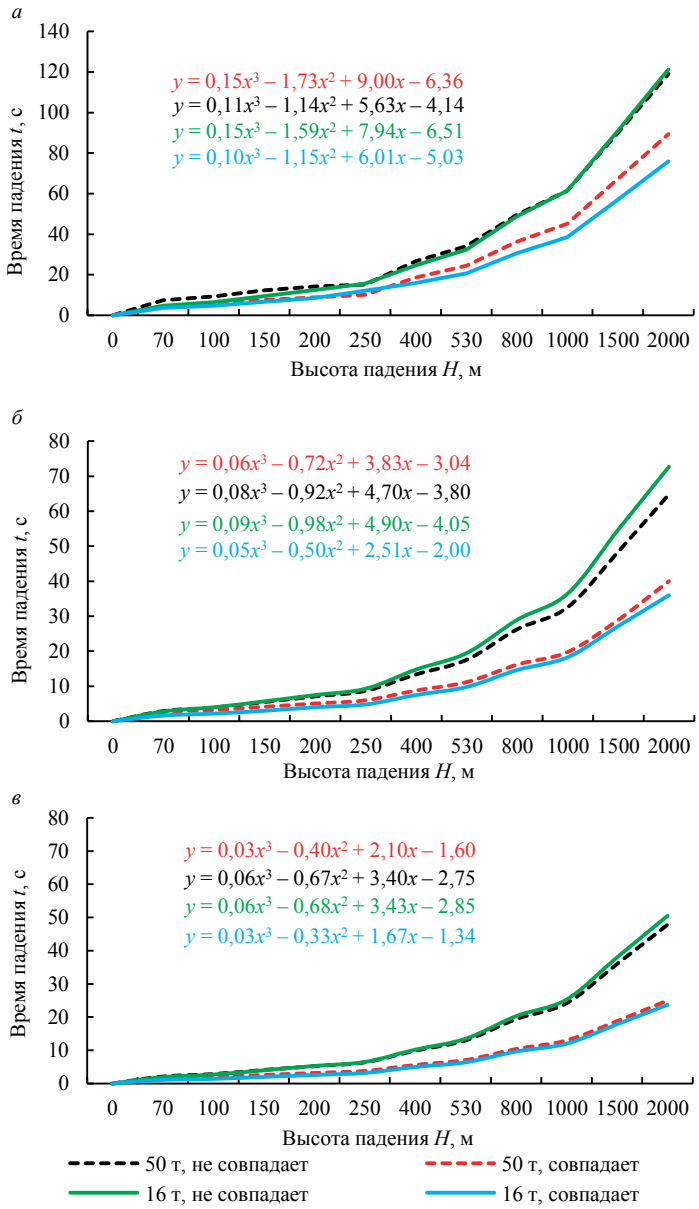

Рис. 2. Изменение времени падения скипа 1СН-20 в зависимости от высоты падения при скорости воздушной струи в стволе:
а – 5 м/с; *б* – 10 м/с; *в* – 15 м/с (50 т – вес груженого скипа; 16 т – вес порожнего скипа)

Fig. 2. Change in the time of 1CH-20 skip fall depending on the height of the fall at the speed of the air flow in the shaft:
а – 5 m/s; *б* – 10 m/s; *в* – 15 m/s (50 t – loaded skip weight; 16 t – empty skip weight)

с направлением вентиляционного потока (*Временная инструкция по защите забоев вертикальных стволов шахт / Минчермет СССР; ВО «Союзшахтопроходка»; МВССО УССР; Криворожкий горный институт. Кривой Рог, 1985. 104 с.; Опреде-*

ление вероятных нагрузок и разработка эффективных способов защиты забоев углубляемых стволов шахт для условий Горной Шории: отчет о НИР / КГРИ. Руководитель А. М. Задорожний. № ГР68053180. Кривой Рог, 1983. 200 с.).

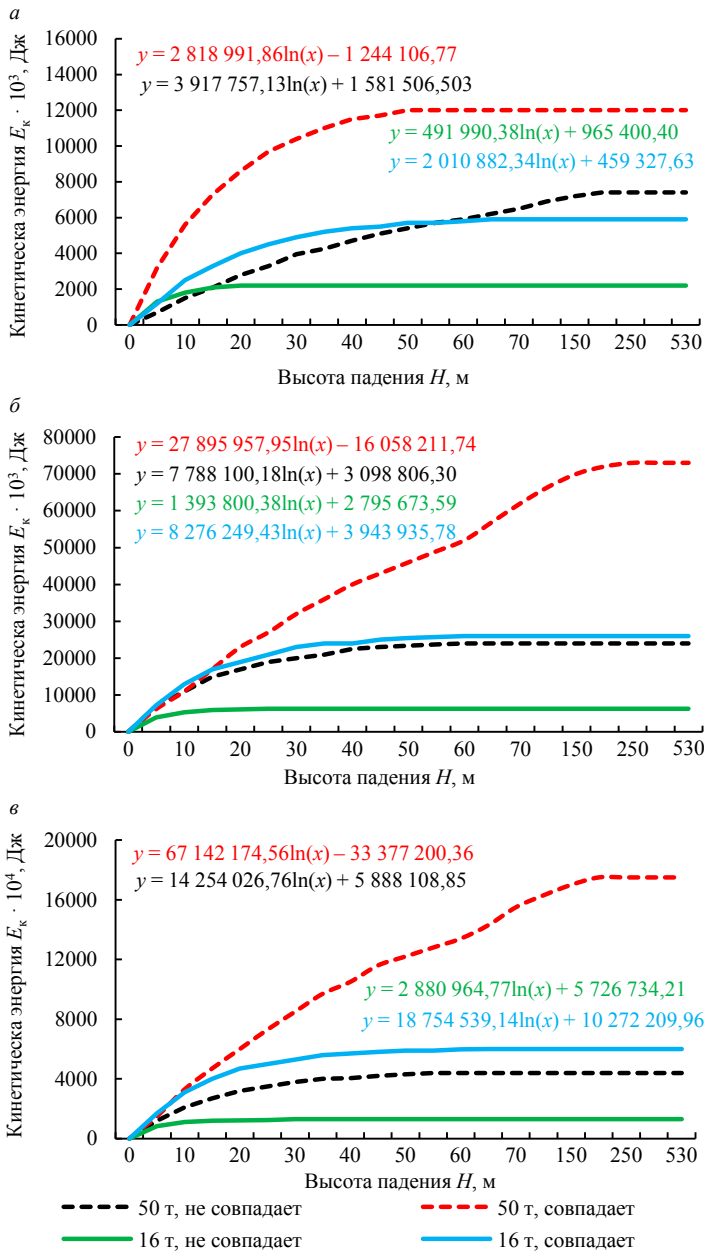

Рис. 3. Изменение кинетической энергии падения скипа 1СН-20 в зависимости от высоты падения при скорости воздушной струи в стволе: *а* – 5 м/с; *б* – 10 м/с; *в* – 15 м/с (50 т – вес груженого скипа; 16 т – вес порожнего скипа)

Fig. 3. 1CH-20 skip fall kinetic energy change depending on the height of the fall at the speed of the air flow in the shaft: *а* – 5 m/s; *б* – 10 m/s; *в* – 15 m/s (50 t – loaded skip weight; 16 t – empty skip weight)

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 (*Инструкция по расчету, сооружению и ликвидации предохранительных устройств для углубки вертикальных стволов шахт / ВНИИОМШС. Харьков, 1979. 91 с.*).

Определение скорости падения сосудов в стволе можно произвести с учетом аэродинамического сопротивления движению, которое возникает в ограниченной воздушной среде. Это сопротивление существенно влияет на скорость падения, а следовательно и на величину динамических нагрузок. Оно наиболее часто определяется с помощью коэффициента лобового сопротивления. Определение этого коэффициента сложно, 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 $p_с$ является функцией скорости:

$$p_с = f(V) = p_с(V).$$

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

$$p_с(V) = h_л\left(S_с - S_м\right), \tag{1}$$

где $S_с$ – площадь сечения ствола в свету, м; $S_м$ – площадь миделевого сечения сосуда, м.

Для определения потерь давления $h_л$ наиболее целесообразно использовать формулы, предложенные К. А. Корепановым. Подставив их в (1), после соответствующих преобразований получаем 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 [4, 5]:

$$p_с(V) = AV^2 + BV + D,$$

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 рис. 1, по следующим формулам.

Если направление движения падающего сосуда не совпадает с направлением вентиляционного потока в стволе:

$$A = \frac{153\alpha S_м(0{,}5S_с - S_м)}{S_с - S_м} + \frac{\alpha P l_с S_м^2}{(S_с - S_м)^2} + \frac{\alpha_с P_с l_с S_с^2}{(S_с - S_м)^2}; \tag{2}$$

$$B = \frac{306\alpha V_в S_м(0{,}5S_с - S_м)}{S_с - S_м} + \frac{2\alpha P l_с V_в S_м S_с}{(S_с - S_м)^2} + \frac{2\alpha_с P_с l_с V_в S_с^2}{(S_с - S_м)^2}; \tag{3}$$

$$D = \frac{153\alpha S_м V_в^2(0{,}5S_с - S_м)}{S_с - S_м} + \frac{\alpha P l_с V_в S_с^2}{(S_с - S_м)^2} + \frac{\alpha_с P_с l_с V_в^2 S_с^2}{(S_с - S_м)^2} - \frac{\alpha P l_с V_в^2 S_с^2}{S_с}. \tag{4}$$

Если направление движения падающего сосуда совпадает с направлением вентиляционного потока в стволе:

$$A = \frac{153\alpha S_{\text{м}}(0{,}5S_{\text{с}} - S_{\text{м}})}{S_{\text{с}} - S_{\text{м}}} - \frac{\alpha P l_{\text{с}} S_{\text{м}}^2}{(S_{\text{с}} - S_{\text{м}})^2} + \frac{\alpha_{\text{с}} P_{\text{с}} l_{\text{с}} S_{\text{с}}^2}{(S_{\text{с}} - S_{\text{м}})^2}; \tag{5}$$

$$B = -\frac{306\alpha S_{\text{м}}(0{,}5S_{\text{с}} - S_{\text{м}})}{S_{\text{с}} - S_{\text{м}}} - \frac{2\alpha P l_{\text{с}} V_{\text{в}} S_{\text{м}} S_{\text{с}}}{(S_{\text{с}} - S_{\text{м}})^2} - \frac{2\alpha_{\text{с}} P_{\text{с}} l_{\text{с}} V_{\text{в}} S_{\text{с}}^2}{(S_{\text{с}} - S_{\text{м}})^2}; \tag{6}$$

$$D = \frac{153\alpha S_{\text{м}} V_{\text{в}}^2 (0{,}5S_{\text{с}} - S_{\text{м}})}{S_{\text{с}} - S_{\text{м}}} - \frac{\alpha P l_{\text{с}} V_{\text{в}}^2 S_{\text{с}}^2}{(S_c - S_{\text{м}})^2} + \\ + \frac{\alpha_{\text{с}} P_{\text{с}} l_{\text{с}} V_{\text{в}}^2 S_{\text{с}}^2}{(S_{\text{с}} - S_{\text{м}})^2} + \frac{\alpha P l_{\text{с}} V_{\text{в}}^2 (S_{\text{с}} - S_{\text{м}})}{S_{\text{с}}}, \tag{7}$$

где α – коэффициент аэродинамического сопротивления ствола; $V_{\text{в}}$ – скорость движения воздушной струи в стволе, м/с; $\alpha_{\text{с}}$ – коэффициент аэродинамического сопротивления сосуда; P – периметр ствола в свету, м; $P_{\text{с}}$ – периметр сосуда по площади миделевого сечения, м; $l_{\text{с}}$ – длина сосуда, м.

Зная геометрические и аэродинамические характеристики ствола и подъемного сосуда, по формулам (2)–(7) находим 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

$$m\frac{dV}{dt} = mg - (AV^2 + BV + D), \tag{8}$$

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

Уравнение (8) является дифференциальным уравнением с разделяющими переменными. Его решение позволило получить расчетные формулы для нахождения скорости падения сосуда в стволе в любой промежуток времени с любой высоты:

$$H = a_5 \ln\left|\frac{a_4 e^{a1t} - a_2}{a_4 - a_2}\right| - a_6 t; \tag{9}$$

$$V_u = a_3 \frac{1 - e^{a1t}}{a_4 e^{a1t} - a_2}, \tag{10}$$

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:

$$a_1 = \frac{\sqrt{|\Delta|}}{m}; \qquad a_2 = 2A\left(B - \sqrt{|\Delta|}\right); \qquad a_3 = B^2 + |\Delta|;$$

$$a_4 = 2A\left(B + \sqrt{|\Delta|}\right); \qquad a_5 = \frac{a_3\left(a_4 - a_2\right)}{a_1 a_2 a_4}; \qquad a_6 = \frac{a_3}{a_2},$$

где $\Delta = -\left[4A(mg - D) + B^2\right]$.

Для определения $V_и$ необходимо по формуле (9), зная высоту H, найти время падения t, а затем по формуле (10) определить скорость падения, соответствующую данной высоте и времени.

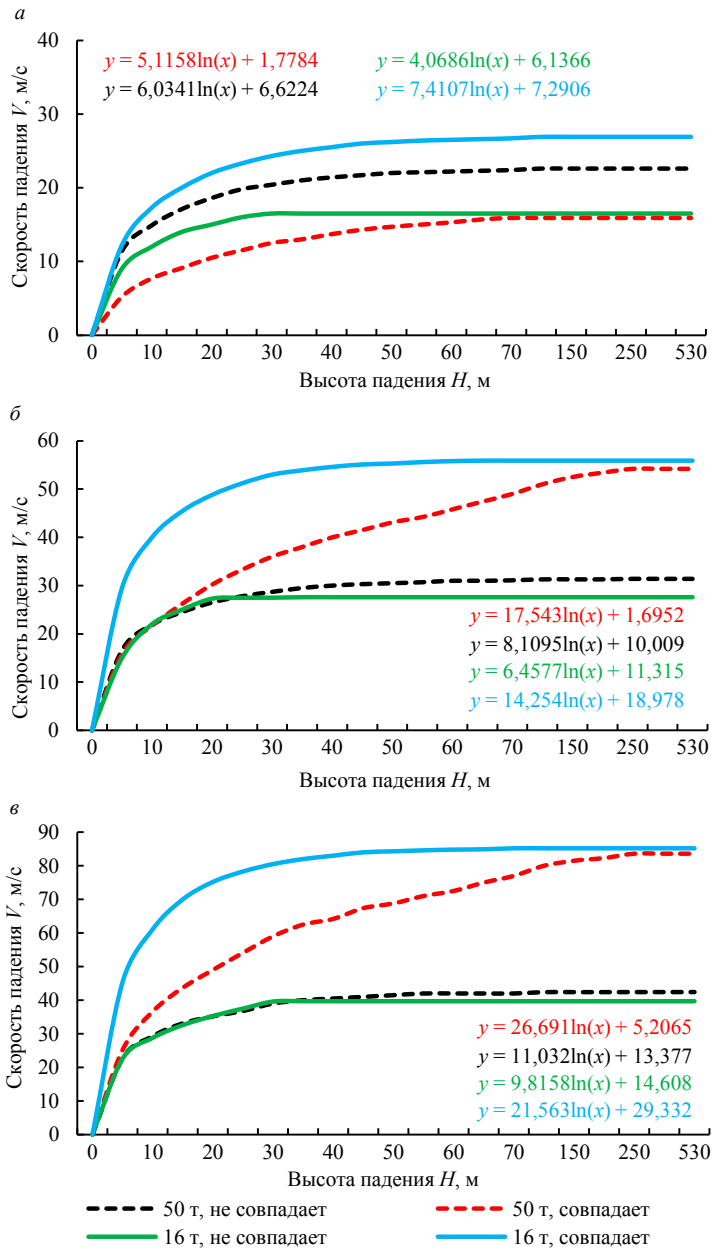

Рис. 4. Изменение скорости падения скипа 1СН-20 в зависимости от высоты падения при скорости воздушной струи в стволе:
а – 5 м/с; *б* – 10 м/с; *в* – 15 м/с (50 т – вес груженого скипа; 16 т – вес порожнего скипа)
Fig. 4. Change in the speed of 1CH-20 skip fall depending on the height of the fall at the speed of the air flow in the shaft:
а – 5 m/s; *б* – 10 m/s; *в* – 15 m/s (50 t – loaded skip weight; 16 t – empty skip weight)

В соответствии с предложенной методикой [5, 6] авторами выполнены расчеты по определению времени падения (рис. 2), величины кинетической энергии (рис. 3) и скорости (рис. 4) в зависимости от высоты падения скипа в условиях

реализации проекта по углубке ствола «Скиповой» Шерегешской шахты Горно-Шорского филиала АО «Евразруда» [7, 8].

Заключение. Для обоснования параметров и разработки конструкции предохранительных полков при углубке вертикальных стволов в условиях эксплуатационного подъема с помощью математического моделирования установлены зависимости времени падения скипа при изменении высоты его падения с учетом скорости и направления воздушной струи в стволе. При этом установлено следующее.

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. рис. 2).

Кинетическая энергия падающего скипа изменяется логарифмически и зависит от высоты падения, направления и скорости воздушной струи, а также от массы скипа и отношения площади миделевого сечения скипа к общей площади сечения ствола (см. рис. 3).

Скорость падающего скипа логарифмически зависит от высоты падения (см. рис. 4). 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 полок.

Таким образом, результаты исследований позволяют в полной мере обосновать и определить вид и величину вероятных нагрузок при проектировании защитных устройств, что обеспечит сокращение сроков их сооружения, стоимости и материалоемкости [9–12].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kempson W. J. Designing energy-efficient mineshaft systems // Essays Innovate. 2014. No. 9. P. 76–79.

2. Kratz T., Martens P. N. Optimization of mucking and hoisting operation in conventional shaft sinking // Glückauf. 2015. No. 2. P. 16–22.

3. Шутько Ю. П., Морозов А. Е., Мордухович В. Д. Углубка вертикальных стволов шахт. М.: Недра, 1978. 277 с.

4. Ксенофонтова А. И. Справочник по рудничной вентиляции. М.: Госгортехиздат, 1962. 688 с.

5. Ушаков К. З. Справочник по рудничной вентиляции. М.: Недра, 1977. 327 с.

6. Задорожний А. М., Липовик В. В., Козариз В. Я. Определение параметров движения свободного сосуда в стволе шахты // Известия вузов. Горный журнал. 1979. № 5. С. 24–28.

7. 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.

8. 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. IIIrd International Innovative Mining Symposium. 2018. Vol. 41. P. 105–109.

9. Жук И. В., Копытов А. И., Першин В. В., Войтов М. Д., Вети А. А. Клиновой предохранительный полок: пат. 133198 Рос. Федерация. № 2013120745; заявл. 06.05.13; опубл. 10.10.13. Бюл. № 28. 2 с.

10. Копытов А. И., Войтов М. Д., Вети А. А. Клиновой предохранительный полок: пат. 139338 Рос. Федерация. № 2013152988/03; заявл. 28.11.2013; опубл. 14.03.2014. Бюл. № 10. 2 с.

11. Копытов А. И., Першин В. В., Фадеев Ю. А., Вети А. А. Исследование воздействия динамических нагрузок на конструкцию предохранительных устройств при углубке скиповых стволов // Горный журнал. 2019. № 4. С. 27–31.

12. Kopytov A. I., Pershin V. V., Voitov M. D., Wetti A. A. The improvement of the bunton construction of mine-shaft equipment // The 8th Russian-Chines symposium coal in 21st century: mining, processing and safety. 2016. P. 108–111.

Поступила в редакцию 24 мая 2019 года

Сведения об авторах:

Копытов Александр Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства подземных сооружений и шахт Кузбасского государственного технического университета им. Т. Ф. Горбачева. E-mail: L01BDV@yandex.ru
Першин Владимир Викторович – доктор технических наук, заведующий кафедрой строительства подземных сооружений и шахт Кузбасского государственного технического университета им. Т. Ф. Горбачева. E-mail: pvv.spssh@kuzstu.ru
Вети Ахмед Аиманович – аспирант кафедры строительства подземных сооружений и шахт Кузбасского государственного технического университета им. Т. Ф. Горбачева. E-mail: wetti_a@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-133-142

Research on free fall skip parameters variation impact on pentice stability when sinking vertical shafts

Aleksandr I. Kopytov[1], Vladimir V. Pershin[1], Akhmed A. Wetti[1]
[1] T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia.

Abstract

Introduction. *In order to protect workers engaged in shaft sinking works, artificial protective equipment (pentices) with the support element from powerful I-beams or truss structures are used. They have to withstand enormous push loading, be strong, simple in design, have less labor input during construction and dismantling.*

Research aim. *On the basis of the obtained results of mathematical modeling, the research aims to increase the efficiency of equipment for the deepening of vertical shafts of mines, by justifying the dynamic loads on the safety shelves and determining their rational parameters, which ensure the reduction of material intensity and labor-intensive work.*

Methodology. *In order to substantiate parameters and develop the design of pentices when sinking vertical shafts in case of operational winding performance, with the help of mathematical modeling, the dependencies between the skip fall time at falling height variation with the account of speed and the direction of the air flow in the shaft were determined.*

Results. *LLC SibGorComplexEngineering (Novokuznetsk) together with the Department of Construction of Underground Structures and Mines of T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University have developed several new design variants of protective pentices for vertical shafts sinking in case of operational winding performance. It is a Z-shaped structure of the offset in height, parallel to each other upper and lower protective pentices, bushed with sloped reflective metal sheets and interconnected by a vertical division wall.*

Summary. *Pentice design allows reducing the impact of push loading due to direction changing and kinetic energy reduction of falling bodies. Industrial testing of a new construction of wedge protective pentices proved their high reliability, efficiency and safety of operations under shaft sinking Skipovoi of Gorno-Shoria branch of OJSC Evrazruda.*

Key words: *vertical shaft; shafts sinking; wedge protective pentice; dynamic load; skip fall.*

REFERENCES

1. Kempson W. J. Designing energy-efficient mineshaft systems. *Essays Innovate*. 2014; 9: 76–79.
2. Kratz T., Martens P. N. Optimization of mucking and hoisting operation in conventional shaft sinking. *Glückauf*. 2015; 2: 16–22.
3. Shutko Iu. P., Morozov A. E., Mordukhovich V. D. *Sinking vertical shafts*. Moscow: Nedra Publishing; 1978. (In Russ.)
4. Ksenofontova A. I. *Reference on shaft ventilation*. Moscow: Gosgortekhizdat Publishing; 1962. (In Russ.)
5. Ushakov K. Z. *Reference on shaft ventilation*. Moscow: Nedra Publishing; 1977. (In Russ.)
6. Zadorozhnii A. M., Lipovik V. V., Kozariz V. Ia. Estimating the parameters of free vessel motion in a shaft. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 1979; 5: 24–28. (In Russ.)
7. Kopytov A. I., Voitov M. D., Veti A. A. New engineering solutions for safety platforms in deepening mine shafts. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2015; 1: 67–70. (In Russ.)
8. 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. In: *E3S web of conferences. IIIrd International Innovative Mining Symposium*. 2018; 41: 105–109.
9. Zhuk I. V., Kopytov A. I., Pershin V. V., Voitov M. D., Veti A. A. *Wedge pentice*. Patent RF no. 2013120745. (In Russ.)
10. Kopytov A. I., Voitov M. D., Veti A. A. *Wedge pentice*. Patent RF no. 2013152988/03. (In Russ.)
11. Kopytov A. I., Pershin V. V., Fadeev Iu. A., Veti A. A. Research on the impact of dynamic load on the structure of safety units when sinking skip shafts. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2019; 4: 27–31. (In Russ.)

12. Kopytov A. I., Pershin V. V., Voitov M. D., Wetti A. A. The improvement of the pentice construction of mine-shaft equipment. In: *The 8th Russian-Chines symposium coal in 21st century: mining, processing and safety*. 2016. P. 108–111.

Received 24 May 2019

Information about authors:

Aleksandr I. Kopytov – DSc (Engineering), Professor, professor of the Department of Construction of Underground Structures and Mines, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: L01BDV@yandex.ru
Vladimir V. Pershin – DSc (Engineering), Head of the Department of Construction of Underground Structures and Mines, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: pvv.spssh@kuzstu.ru
Akhmed A. Wetti – PhD student, Department of Construction of Underground Structures and Mines, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: wetti_a@mail.ru

Для цитирования: Копытов А. И., Першин В. В., Вети А. А. Исследование влияния изменения параметров свободного падения скипа на устойчивость предохранительных полков при углубке вертикальных стволов // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 133–142. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-133-142
For citation: Kopytov A. I., Pershin V. V., Wetti A. A. Research on free fall skip parameters variation impact on pentice stability when sinking vertical shafts. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 133–142 (In Russ.). OI: 10.21440/0536-1028-2019-8-133-142