

УДК 001.8:622.256

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА КОНСТРУКЦИЮ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ УГЛУБКЕ СКИПОВЫХ СТВОЛОВ

А. И. КОПЫТОВ, проф., д-р техн. наук, L01BDV@yandex.ru

В. В. ПЕРШИН, зав. кафедрой, проф., д-р техн. наук

Ю. А. ФАДЕЕВ, проф., д-р физ.-мат. наук

А. А. ВЕТИ, аспирант

Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, Кемерово, Россия

Введение

Минерально-сырьевые ресурсы являются важнейшим потенциалом инновационного развития экономики России. Технология добычи полезных ископаемых должна обеспечивать их высокую конкурентоспособность на мировом рынке. Решение этой задачи требует особых подходов при принятии новых технических и технологических решений для повышения эффективности и безопасности горных работ при подземной разработке месторождений.

В отечественной и зарубежной практике добычи полезных ископаемых подземным способом широко применяется вскрытие месторождений вертикальными стволами, глубина которых может достигать более 3 км. При строительстве и эксплуатации таких стволов используется большое число различных машин и оборудования. С учетом этого разработаны типовые сечения стволов с размещением подъемных сосудов, армировки и оборудования на основе минимизации типоразмеров, надежности, безопасности и удобства эксплуатации.

Горное предприятие (шахта или рудник) в соответствии с проектными решениями, с целью поддержания или наращивания производственной мощности и максимального извлечения полезного ископаемого на горном отводе, как правило, проходит несколько этапов реконструкции в течение всего периода работы предприятия; это требует меньших финансовых затрат и трудовых ресурсов, чем строительство новых предприятий. В ходе реконструкции приходится углублять вертикальные стволы, так как только после завершения этой операции появляется возможность выполнять горнопроходческие работы на очередном горизонте по подготовке новых, зачастую более богатых по содержанию полезного компонента запасов к очистной выемке.

При углубке действующего ствола для защиты рабочих в его углубляемой части от возможного падения подъемных сосудов или их содержимого требуется сооружение предохранительных устройств, которые могут перекрывать все поперечное сечение ствола или же его часть и должны выдерживать огромную ударную нагрузку, а также быть прочными, простыми по конструкции, иметь меньшую трудоемкость при сооружении и последующем демонтаже [1].

На основе расчета силового воздействия кусков падающей горной массы при аварийной разгрузке сколов предложены конструкции клиновых предохранительных устройств для использования в процессе углубки вертикальных стволов шахт.

Ключевые слова: вертикальный ствол, углубка, клиновой предохранительный полок, динамическая нагрузка, саморазгрузка ската.

DOI: 10.17580/gzh.2019.04.06

Расчет динамических нагрузок на предохранительные устройства

В зависимости от вида основного несущего элемента предохранительные устройства подразделяются на три типа [2]: естественные (породные целики); искусственные, выполняемые из металла, бетона, железобетона, стальных канатов и других материалов; комбинированные, представляющие собой сочетание искусственных полок. Опыт реконструкции шахт и рудников Кузбасса показывает, что при углубке вертикальных стволов круглого сечения наибольшее распространение получили искусственные предохранительные полки. В каждом конкретном случае конструктивные элементы предохранительного полка, главными из которых являются горизонтальные опорные балки, рассчитывают, исходя из назначения и технических условий, принятых для организации работ по углубке ствола. Анализ опыта углубки вертикальных стволов показывает, что в большинстве проектных решений предлагается использовать искусственные горизонтальные предохранительные полки с опорным элементом из мощных двутавровых балок или ферменных конструкций с полным перекрытием сечения ствола.

Наиболее высокие требования для расчета конструктивных элементов предохранительных полок и их сооружения предъявляют при организации работ при углубке стволов, оснащенных сколовым подъемом. Данный полок должен выдерживать воздействие высоких динамических нагрузок от удара в случае обрыва груженого ската или просыпи его содержимого, а конструкция – обеспечивать возможности сооружения в наиболее сжатые сроки с целью сокращения времени остановки эксплуатационного подъема и избежания снижения производительности предприятия.

По величине возможной нагрузки на предохранительные полки стволов, оснащенные сколовым подъемом, могут быть с одноканатной подвеской подъемных сосудов или с многоканатной. Характерны следующие виды динамического воздействия на полок: обрыв груженого ската; аварийная саморазгрузка

скипа; падение кусков горной массы (просыпи). Стволы большинства современных шахт и рудников оснащены мощными подъемными установками с многоканатной подвеской сколов, где одновременный обрыв канатов и падение груженого ската практически исключены. Остается считать, что предохранительный полок при углубке ствола в условиях работы эксплуатационного подъема постоянно подвергается воздействию отдельно падающих кусков, а также может испытывать динамическое воздействие потока горной массы в случае аварийной разгрузки ската.

Для расчета конструкции предохранительного полка по силовому воздействию в случае аварийной саморазгрузки сколов при углубке ствола в условиях эксплуатационного подъема горнорудного предприятия авторами статьи принята методика, разработанная для шахт Кривбасса, позволяющая определить вероятностную величину динамической нагрузки потока горной массы на предохранительный полок, полностью перекрывающий забой углубляемой части в одном уровне поперечного сечения [3, 4] (рис. 1).

Падающий на предохранительный полок при саморазгрузке ската поток кусков породы является телом переменной массы, которая за некоторое время Δt возрастает от нуля до конечного значения. Методика определения силового воздействия на предохранительный полок основывается на расчетной модели, предусматривающей представление потока выпавших кусков породы в виде тела переменной массы, а процесс соударения – в виде кратковременного импульса воздействия силы на защитное устройство. Процесс ударного воздействия на это устройство можно разделить на три взаимосвязанных этапа: саморазгрузка ската, падение кусков породы в стволе и непосредственное ударное воздействие.

Очевидно, что от процесса саморазгрузки ската зависит плотность потока кусков породы, которая является одним из основных факторов силового воздействия. При аварийном открытии затвора ската процесс высыпания его содержимого является не мгновенным, а изменяющимся во времени. В связи с этим объемная плотность потока кусков породы будет меньше объемной плотности породы в кузове ската. Величину силового воздействия P_{nm} на защитное устройство определяется выражением [4]

$$P_{nm} = \rho_{nm} S_{nm} V_{nm}^2, \quad (1)$$

где ρ_{nm} – плотность потока кусков горной массы, t/m^3 ; S_{nm} – площадь потока кусков горной массы, m^2 ; V_{nm} – скорость падения горной массы, m/s .

Поток горной массы, по сути, представляет собой совокупность падающих тел сферической формы. Описание движения сферических тел в газовом потоке является одной из классических задач в аэродинамике [5]. В случае свободного падения сферического тела в вертикальном стволе на его движение одновременно будут влиять несколько сил: сила тяжести, сила ударного воздействия молекул о поверхность тела; сила, обусловленная пониженным давлением в конусе срыва течения; центробежная сила воздушного слоя вблизи поверхности сферы [6, 7]. Влияние этих сил на движение тела будет различным, так как они

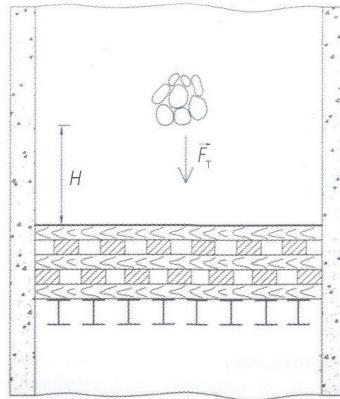


Рис. 1. Расчетная схема

зависят от его геометрических и динамических характеристик. В частном случае масса сферического тела в свободном падении может быть определена

$$m = 4/3\pi R^3 \rho_{r.m}, \quad (2)$$

где R – радиус сферы, м; $\rho_{r.m}$ – средняя плотность горной массы, t/m^3 .

Падение сферического тела на первом этапе полета траектории происходит с небольшими скоростями ($\sim 20 \text{ м/с}$), и поэтому обтекающие потоки воздуха носят ламинарный характер. На завершающем этапе падения скорость тела возрастает до $80\text{--}90 \text{ м/с}$, но движение кратковременно ($\sim 1\text{--}2 \text{ с}$) и практически не влияет на характер движения. Таким образом, на тело действуют две силы: сила тяжести $P = mg$ ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения) и сила лобового сопротивления

$$F = 1/2 C \rho_B v^2 S, \quad (3)$$

где C – коэффициент сопротивления для сферы; ρ_B – плотность воздуха, kg/m^3 ; v – скорость тела относительно воздушного потока, м/с ; $S = \pi R^2$, м^2 – миделева площадь, обозначающая наибольшее по площади поперечное сечение тела, движущегося в воде или воздухе.

Необходимо отметить, что если первая сила (сила тяжести) во время падения не изменяется, то сила сопротивления будет возрастать до момента равновесия сил и установления постоянной скорости. Рассматривая вертикальное падение тела с начальными условиями $x = 0$ и $v = 0$, где за x принимаем начало координатной оси, совпадающей с направлением движения тела, а за v – его скорость, согласно [8] и, исходя из выражения $\ln(a^2 - v^2) = -2xg/a^2 + \ln a^2$ (где $a^2 = 2mg/c\rho_B S$; ρ_B – плотность воздуха; m – масса тела), следует, что по мере падения тела и увеличения x ($x = H$) оно достигает значения предельной скорости по логарифмической зависимости от высоты. Кроме того, поскольку величина e^{-2xg/a^2} быстро убывает, то в пределе скорость достигает величины a . Поскольку динамическая нагрузка зависит от квадрата скорости тела, то ее зависимость будет носить аналогичный характер. Приравнивая эти две силы, нетрудно получить значение устоявшейся скорости для выбранной модели сферического тела. В условиях встречного потока со скоростью 20 м/с скорость падения должна составлять 90 м/с .

В случае аварийного опорожнения ската поток примет форму цилиндра с площадью основания S_{nm} и высотой h_{nm} . За площадь основания принимается площадь истечения породы. С учетом

того, что масса потока равна массе содержимого скипа, соотношение примет вид

(4)

$$\rho_{nm} = \rho_n k_p,$$

где ρ_n – плотность горной массы в разрыхленном виде, кг/м³; k_p – коэффициент уменьшения скорости потока.

Коэффициент k_p определяется из выражения

$$k_p = X^2 S_h / (2X^2 S_h + S_{ck}),$$

где X – коэффициент истечения ($X = 0,3 \div 0,6$); S_h – площадь истечения кусков горной массы из скипа, м²; S_{ck} – площадь скипа в плане, м².

На скорость падения кусков породы в стволе будут влиять ряд факторов. Основными из них являются сопротивление воздуха и соударение с элементами армировки. Точно учесть изменения скорости потока за счет ударов кусков с элементами армировки невозможно, так как этот процесс носит случайный характер. Снижение скорости кусков породы за счет сопротивления воздуха можно определить на основании предположения, что они имеют шарообразную форму [9]. В этом случае скорость потока можно определить следующим образом:

$$V_{nm} = \sqrt{m_k g / \xi} \cdot \sqrt{1 - e^{-2Hn\xi/m_k}},$$

где m_k – масса наибольшего куска породы, получаемого при дроблении, кг; ξ – коэффициент пропорциональности, который определяется из выражения

$$\xi = \sqrt[3]{9\pi \cdot c_{\eta}^2 \rho_b^3 m_k / 16\rho_n^2},$$

где ρ_b – плотность воздуха, кг/м³; c_{η} – безразмерный коэффициент, учитывающий форму падающего тела ($c_{\eta} = 0,12 \div 0,24$).

Установлено, что скорость плотности потока совпадает с расчетами, выполненными по методике [4].

Наиболее сложно протекает этап непосредственного ударного воздействия. Это связано с тем, что необходимо рассматривать процесс деформирования амортизирующего устройства полка под ударным воздействием тела переменной массы. В качестве расчетной модели для упрощенной инженерной методики определения силового воздействия на полок от саморазгрузки скипа принимают удар потока частиц о неподвижную, абсолютно жесткую преграду. Согласно этой расчетной схеме, динамическое силовое воздействие определяют на основании закона сохранения импульса [10].

Импульс силы, действующий на полок в течение некоторого малого промежутка времени Δt , определяют из выражения

$$J_F = F_{\text{дин}} \Delta t,$$

где $F_{\text{дин}}$ – величина динамического воздействия, тс.

Импульс тела массой m_{nm} , нагружившей конструкцию за тот же промежуток времени, будет равен

$$J_m = m_{nm} V_{nm},$$

где m_{nm} – масса кусков породы, прилетевшей на полок за время Δt , кг.

Массу кусков породы определяют как

$$m_{nm} = \rho_{nm} V_{\text{об.} nm} S_{nm} \Delta t,$$

где $V_{\text{об.} nm}$ – объем потока кусков, прилетевших за время Δt , м³.

Таким образом, основными определяющими параметрами $F_{\text{дин}}$ описывающего процесс ударного взаимодействия, являются: время воздействия потока (Δt), скорость соударения (V_{nm}), плотность (ρ_{nm}), а также площадь потока (S_{nm}). С учетом ранее

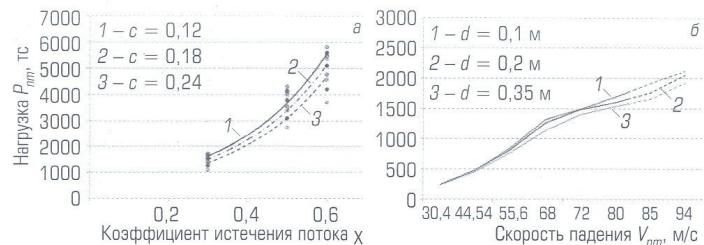


Рис. 2. Зависимость изменения величины силового воздействия P_{nm} от коэффициента истечения потока X (а) и от скорости падения V_{nm} (б) для рудной прослойки разной фракции дробления

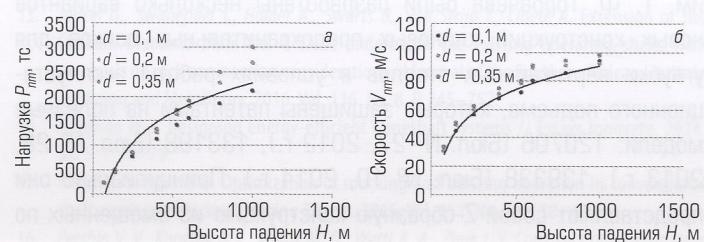


Рис. 3. Зависимость изменения величин нагрузки P_{nm} (а) и скорости V_{nm} (б) от высоты падения тела

установленных зависимостей (1), (4)–(7) величину динамической нагрузки $F_{\text{дин}}$ на предохранительный полок определяют из выражения

$$F_{\text{дин}} = \rho_{nm} X^2 S_h^2 V_{nm}^2 / (2X^2 S_h + S_{ck}).$$

Исследования воздействия динамических нагрузок на конструкцию предохранительного устройства позволили установить величины нагрузки в зависимости от коэффициента истечения потока X (рис. 2, а), скорости падения V_{nm} (см. рис. 2, б) и высоты падения тела H (рис. 3, а), а также определить изменение скорости V_{nm} в зависимости от высоты падения тела H (см. рис. 3, б).

В результате проведенных исследований и математического моделирования установлено, что величина силового воздействия на предохранительный полок увеличивается по экспоненте (см. рис. 2, а). В свою очередь, динамическая нагрузка и скорость падения тела возрастают прямо пропорционально в логарифмической зависимости от высоты падения (см. рис. 3). Таким образом, изменение значения коэффициента истечения X , принимаемого в зависимости от фракции дробления, влияет на силу соударения тел о предохранительный полок. Оптимальным размером кусков при этом является величина, не превышающая диаметра фракции 0,2 м.

Прикладная часть

Расчеты элементов предохранительного устройства с использованием данной методики показывают, что для сплошного перекрытия углубляемой части ствола в одном уровне потребуются большие трудозатраты и расход материалов, особенно на сооружение горизонтальных опорных балок. Изучение практики сооружения и применения искусственных предохранительных полок

при углубке вертикальных стволов шахт показывает, что для принятой технологической схемы возможно использовать элементы конструкции клиновых предохранительных полков, предложенные С. А. Федоровым, в которых динамическое воздействие на горизонтальные несущие балки значительно снижается за счет наклонных отражательных стенок [11–15].

Кроме того, по сравнению с горизонтальными полками, рассчитанными на полное гашение кинетической энергии, расход материалов в клиновых полках меньше. Учитывая данные преимущества таких полков и результаты математического моделирования, ООО «СибГорКомплекс Инжиниринг» совместно с кафедрой строительства подземных сооружений и шахт КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева были разработаны несколько вариантов новых конструкций клиновых предохранительных полков для углубки вертикальных стволов в условиях работы эксплуатационного подъема, которые защищены патентами на полезные модели: 120706 (Бюл. № 27, 2012 г.), 133198 (Бюл. № 28, 2013 г.), 139338 (Бюл. № 10, 2014 г.). Принципиально они представляют собой Z-образную конструкцию из смещенных по высоте и параллельных друг другу верхнего и нижнего предохранительных полков, которые за счет углов наклона выполняют функцию отражательной стенки.

Такая конструкция была предложена для применения при углубке ствола «Скиповской» в процессе реализации проекта реконструкции Шерегешской шахты Горно-Шорского филиала ОАО «Евразруд» (рис. 4). Ствол, который необходимо было углубить с отметки +115 м до отметки –85 м (шаг углубки 200 м), предназначен для выдачи руды двумя скипами вместимостью 50 т и двумя скипами для выдачи породы вместимостью 15 т из расчета обеспечения производительности 6 млн т рудной массы в год. Предварительно с горизонта –85 м, который был вскрыт ранее стволом «Ново-Клетевой», в центральной части ствола «Скиповской» буровзрывным способом с использованием комплекса КПВ-2 был пройден восстающий размерами 2×2 м. Далее работы по углубке ствола выполняли в направлении сверху вниз полным сечением, с переспуском породы через восстающий на гор. –85 м и последующей погрузкой в вагонетки ВБ-2,5 с помощью породопогрузочной машины ППМ-2.

Конструктивное исполнение комбинированного предохранительного полка состоит в следующем. На опорных балках, размещенных в основании полков, сооружены буферные распределительно-утяжелительные бетонные плиты и амортизирующие элементы из деревянного бруса, футерованные наклонными отражательными металлическими листами. Верхняя и нижняя части предохранительного полка соединены между собой разделительной стенкой, которая полностью перекрывает сечение углубляемой части вертикального ствола. Верхний полок, рассчитанный под большую ударную нагрузку, монтируется под отделением рудных скипов. Под отделением меньших по объему породных скипов сооружается нижняя часть предохранительного полка, воспринимающая значительно меньшие динамические нагрузки.

Промышленные испытания новой конструкции клинового предохранительного полка, разработанной и рассчитанной

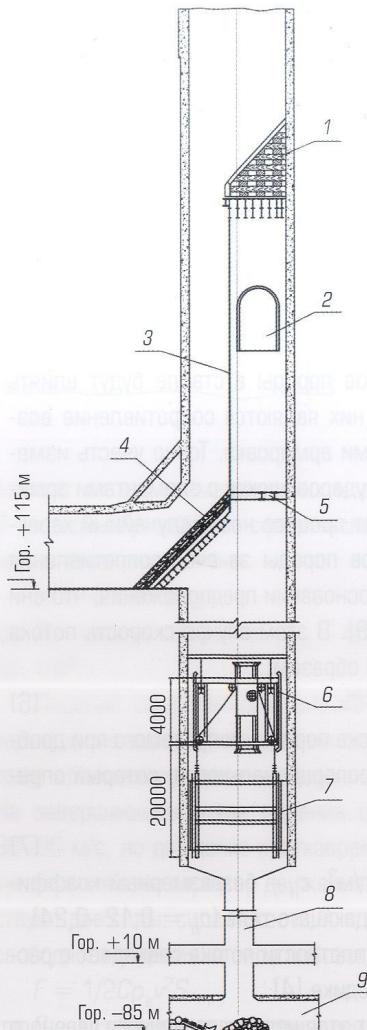


Рис. 4. Технологическая схема углубки ствола «Скиповской»:

- 1 – верхний предохранительный полок;
- 2 – канатный ходок;
- 3 – разделительная стенка;
- 4 – нижний предохранительный полок;
- 5 – подшивная площадка;
- 6 – подвесной полок;
- 7 – опалубка;
- 8 – восстающий гезенк;
- 9 – подводящая выработка

с использованием методики влияния силового воздействия на его главный элемент – опорные балки, в случае аварийной саморазгрузки скипа подтвердили высокую надежность конструкции. Ударная нагрузка в результате неизбежной просыпи рудной массы в объеме до 40 м³ в сутки в процессе работы скипового подъема с весом одного куска, достигающим 200 кг, в первую очередь воспринимается наклонной плоскостью верхнего предохранительного полка, затем наклонной плоскостью нижнего предохранительного полка, который также воспринимает нагрузку от просыпи скипов порожнего подъема. Вследствие изменения траектории движения падающих рудных и породных кусков ударная нагрузка в десятки раз меньше, чем при полном гашении кинетической энергии падающих тел о горизонтальный полок.

Вся просыпь скатывается в специальную отбойную нишу, в качестве которой может быть использована проектная горная выработка из комплекса околосвольных сооружений.

Применение новой конструкции предохранительного полка позволило обеспечить надежную безопасность работ при углубке ствола «Скиповской», получить экономический эффект в размере 70 млн руб. за счет снижения расхода материалов, меньшей трудоемкости монтажа-демонтажа и сокращения времени остановки скипового подъема [16, 17].

Заключение

Анализ результатов, полученных при использовании методики, позволяющей определить вероятную величину динамической нагрузки потока горной массы на предохранительный полок, и данные математического моделирования движения шарообразных тел в ламинарном газовом потоке показывает,

что расчеты аэродинамической модели коррелируют между собой и могут быть использованы для обоснования параметров, разработки конструкции и методических рекомендаций по проектированию клиновых предохранительных полков Z-образной конструкции при углубке вертикальных стволов в условиях эксплуатационного подъема.

Библиографический список

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». – 5-е изд., испр. и доп. – М. : ЗАО «НТЦ исследований проблем промышленной безопасности», 2017. Сер. 05. Документы по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в угольной промышленности. Вып. 40. – 198 с.
2. Першин В. В., Копытов А. И., Сарычев В. И. Строительство и углубка вертикальных стволов шахт : учеб. пособие. – Новосибирск : Наука, 2014. – 351 с.
3. Инструкция по расчету, сооружению и ликвидации предохранительных устройств для углубки вертикальных стволов шахт. – Харьков : ВНИИОМШС, 1979. – 91 с.
4. Временная инструкция по защите забоев вертикальных стволов действующих шахт. – Кривой Рог, 1985. – 105 с.
5. Лойцянский Л. Г. Механика жидкостей и газов. – М. : Дрофа, 2003. – 846 с.
6. Гречихин Л. И. Газовая динамика при движении шара в неподвижной газовой среде // Vojnotehnički glasnik. 2014. Vol. 62. Iss. 3. P. 26–36.
7. Соболев А. А., Мельников П. А., Тютюнник А. О. Движение частиц в воздушном потоке // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2014. № 3(17). С. 82–86.
8. Лойцянский Л. Г., Лурье А. И. Курс теоретической механики : в 2 т. – М. : Дрофа, 2006. Т. 2. Динамика. – 720 с.
9. Мещерский И. В. Механика тел переменной массы : избранные труды. – М. : Юрайт, 2018. – 220 с.
10. Зубов В. Г. Механика. – М. : Наука, 1978. – 351 с.
11. Федоров С. А. Углубка стволов шахт. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Госгортехиздат, 1963. – 246 с.
12. Смирняков В. В., Вихарев В. И., Очкуров В. И. Технология строительства горных предприятий : учебник. – М. : Недра, 1989. – 573 с.
13. Judeel G., Swanepoel T., Holder A., Swarts B., van Strijp T., Cloete A. Extension of the Cullinan Diamond Mine No. 1 Shaft underneath the existing operating shaft, with emphasis on rock engineering considerations // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2016. Vol. 116. Iss. 8. P. 745–752.
14. Kempson W. J. Designing energy-efficient mineshaft systems // Essays Innovate. 2014. No. 9. P. 76–79.
15. Kratz T., Martens P. N. Optimization of mucking and hoisting operation in conventional shaft sinking // Glückauf. Mining Report. 2015. Vol. 151. No. 1. S. 38–47.
16. Pershin V. V., Kopytov A. I., Voitov M. D., Wetti A. A., Zhuk I. V. Constructions Parameters Updating of Protecting Apron Under Deepening of Vertical Shafts // Taisan Academic Forum: Project on Mine Disaster Prevention and Control. – Paris : Atlantis Press, 2014. Vol. 4. P. 21–26.
17. Kopytov A. I., Pershin V. V., Voitov M. D., Wetti A. A. The improvement of the bunton construction of mine-shaft equipment // Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety : Proceedings of the 8th Russian-Chinese Symposium. – Amsterdam : Atlantis Press, 2016. P. 277–279. 

«GORNYI ZHURNAL», 2019, № 4, pp. 27–31
DOI: 10.17580/gzh.2019.04.06

Influence of dynamic loads on safety appliance design in skip shaft sinking

Information about authors

A. I. Kopytov¹, Professor, Doctor of Engineering Sciences

V. V. Pershin¹, Head of Chair, Professor, Doctor of Engineering Sciences, L01BDV@yandex.ru

Yu. A. Fadeev¹, Professor, Doctor of Physic-Mathematical Sciences

A. A. Wetti¹, Post-Graduate Student

¹Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia

Abstract

In order to protect shaft sinking workers, artificial safety equipment (buntons) with the support element made of powerful I-beams or truss structures is used. The buntons should withstand enormous push loading, be strong, simple in design, have low labor input in construction and dismantling. During servicing skip hoist in the cause of shaft sinking, a protective bunton can be exposed to rock flow in case of accidental self-emptying of the skip.

As a result of research and mathematical modeling of the dynamic load from the power impact of rock flow during accidental self-emptying of skip, SibGorComplexEngineering together with the Chair for Underground Construction and Mines at the Gorbachev Kuzbass State Technical University have developed a new design of protective buntons for vertical shaft sinking in case of servicing skip hoist. This is a Z-shaped structure of the offset height, mutually parallel upper and lower protective buntons, bushed with sloped reflective metal sheets and interconnected by a vertical division wall. The bunton design allows manifold reduction in the push loading impact owing to redirection and kinetic energy dissipation of falling bodies. Industrial testing have proved high reliability, efficiency and safety of the new-design V-shaped protective bunton in Skipovoi shaft sinking sat the Gornaya Shoria division of Evrazruda.

Keywords: vertical shaft, shaft sinking, V-shaped protective bunton, dynamic load, skip self-emptying.

References

1. Federal Rules and Regulations in industrial safety «Coal Mine Safety Regulations». 5th enlarged and revised edition. Moscow : JSC «Nauchno-tehnicheskiy tsentr issledovaniy problem promyshlennoy bezopasnosti», 2017. Series 05. Documents for safety, permitting and supervisory actions in coal industry. Iss. 40. 198 p.
2. Pershin V. V., Kopytov A. I., Sarychev V. I. Construction and sinking of vertical mine shafts: tutorial for universities : Study aid. Novosibirsk : Nauka, 2014. 351 p.
3. Guidelines on calculation, construction and removal of safety facilities in vertical shaft sinking. Kharkov : VNIIOMShS, 1979. 91 p.
4. Temporal guidles on safety of shaft bottoms in operating mines. Krivoi Rog, 1985. 105 p.
5. Loitsiansky L. G. Mechanics of liquids and gases. Moscow : Drofa, 2003. 846 p.
6. Grechikhin L. I. Gas dynamics during the sphere moving in the stationary gaseous environment. Vojnotehnički glasnik. 2014. Vol. 62, Iss. 3. pp. 26–36.
7. Sobolev A. A., Melnikov P. A., Tyutyunnik A. O. The movement of particles in the air stream. Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. No. 3(17). pp. 82–86.
8. Loitsiansky L. G., Lurie A. I. Course on theoretical mechanics. Moscow : Drofa, 2006. Vol. 2: Dynamics. 720 p.
9. Meshchersky I. V. Mechanics of variable mass bodies : Selectals. Moscow : Yurait, 2018. 220 p.
10. Zubov V. G. Mechanics. Moscow : Nauka, 1978. 351 p.
11. Fedorov S. A. Shaft sinking. 3rd enlarged and revised edition. Moscow : Gosgortekhizdat, 1963. 246 p.
12. Smirnyakov V. V., Vikharev V. I., Ochkurov V. I. Mine construction technology : Textbook. Moscow : Nedra, 1989. 573 p.
13. Judeel G., Swanepoel T., Holder A., Swarts B., van Strijp T., Cloete A. Extension of the Cullinan Diamond Mine No. 1 Shaft underneath the existing operating shaft, with emphasis on rock engineering considerations. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2016. Vol. 116, Iss. 8. pp. 745–752.
14. Kempson W. J. Designing energy-efficient mineshaft systems. Essays Innovate. 2014. No. 9. pp. 76–79.
15. Kratz T., Martens P. N. Optimization of mucking and hoisting operation in conventional shaft sinking. Glückauf. Mining Report. 2015. Vol. 151, No. 1. pp. 38–47.
16. Pershin V. V., Kopytov A. I., Voitov M. D., Wetti A. A., Zhuk I. V. Constructions Parameters Updating of Protecting Apron Under Deepening of Vertical Shafts. Taisan Academic Forum: Project on Mine Disaster Prevention and Control. Paris : Atlantis Press, 2014. Vol. 4. pp. 21–26.
17. Kopytov A. I., Pershin V. V., Voitov M. D., Wetti A. A. The improvement of the bunton construction of mine-shaft equipment. Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety : Proceedings of the 8th Russian-Chinese Symposium. Amsterdam : Atlantis Press, 2016. pp. 277–279.