

УДК 622.673.6:517.9

Бережинский В. И., Федоров Е. М.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ОДНОКОНЦЕВОГО ПОДЪЕМА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЖЕСТКОЙ ПОСАДКИ СОСУДА ПРИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОМ ТОРМОЖЕНИИ

В настоящее время срок службы барабанных подъемных машин превышает нормативный в 1,5–2 раза и более [1]. Поэтому актуальна их замена, при которой зачастую необходимо увеличить канатоемкость машин, повисить концевую нагрузку и т. д. При использовании современного электропривода целесообразен отказ от редуктора, что приводит к значительному снижению маховых масс машины. В связи с изменением параметров подъема возникают трудности в предотвращении жесткой посадки в режиме предохранительного торможения. Особенно остро этот вопрос стоит на одноконцевых подъемных установках (клетевых, проходческих бадьевых).

При использовании подъемных машин с малой массой вращающихся частей в режиме предохранительного торможения, возникшего при нахождении опускающегося сосуда вблизи нижней приемной площадки, прирост скорости сосуда может превысить допустимую скорость посадки, что объясняется недостаточно высоким быстродействием тормоза и большим ускорением свободного выбега. Минимальная уставка защитных тахограмм серийно выпускаемых ограничителей скорости равна максимально допустимой скорости посадки людей. Таким образом, быстродействие предохранительного тормоза и характеристики существующих ограничителей скорости не гарантируют предотвращение жесткой посадки в случае срабатывания предохранительного тормоза при нахождении опускающегося сосуда вблизи нижней приемной площадки. Вопрос предотвращения жесткой посадки сосуда при срабатывании предохранительного тормоза на участке пути рабочего замедления решен и на нем останавливаться не будем [1].

Для улучшения характеристик предохранительного тормоза НПФ «Мидиэл» оборудует поставляемые фирмой подъемные машины дисковыми тормозами фирмы АВВ, а также устанавливает их на действующие машины. Фирма разрабатывает дисковые тормоза своей конструкции [1, 2].

В настоящее время разрабатываются автоматизированные системы управления и комплексной защиты шахтной подъемной установки ЗАО «Новокраматорский машиностроительный завод», ООО «Улис Системс», СКБ «Электрощит» и др. В их состав входят ограничители скорости [1-3]. Они позволяют контролировать скорость дотягивания подъемного сосуда ниже 1,0 м/с, создавая условия для предотвращения жесткой посадки.

Целью настоящей работы является определение характеристик предохранительного тормоза и ограничителя скорости, позволяющих в режиме предохранительного торможения обеспечить допустимую скорость посадки сосуда одноконцевого подъема, если предохранительный тормоз сработал при нахождении опускающегося сосуда в непосредственной близости от нижнего посадочного устройства.

На данном участке движения опускающегося сосуда максимальная скорость его посадки равна сумме двух составляющих. К первой относится скорость в момент срабатывания предохранительного тормоза, ко второй – максимальный прирост скорости до момента начала замедления сосуда. Для снижения скорости посадки сосуда на жесткое основание (посадочные брусья, грудь проходческого забоя) каждую из ее составляющих следует ограничить. Решение задачи осложняется колебаниями сосуда на канате.

В рабочем режиме скорость движения опускающегося сосуда, находящегося в непосредственной близости от нижней приемной площадки, не должна превышать максимально допустимую скорость посадки 0,25 м/с клетки и 0,3 бадьи м/с [4]. При этом ограничитель скорости должен быть настроен на срабатывание с включением предохранительного тормоза на скорость 0,5 м/с для бадьи и на скорость 0,7 м/с для клетки [4]. Разницу в уставках ограничителей скорости, предусмотренную в [4], трудно считать обоснованной.

Максимально допустимый прирост скорости равен разности максимально допустимой скорости посадки и скорости, при которой происходит разрыв цепи защиты. В режиме предохранительного торможения максимально допустимая скорость посадки сосуда с людьми составляет 1,0 м/с, а с грузом – 1,5 м/с. Поэтому максимально допустимый прирост скорости составляет 0,5 и 1,0 м/с при посадке людей и груза соответственно для бадьевого подъема. Для клетового подъема эти значения равны соответственно 0,3 и 0,8 м/с. Отсюда вытекают требования для определения характеристик предохранительного тормоза, при которых прирост скорости сосуда не превысит допустимую величину.

Для аналитической оценки прироста скорости в качестве модели одноконцевого подъема используем весомую упругую нить, на обоих концах которой находятся жесткие тела. Масса одного из тел равна массе вращающихся частей подъемной машины, приведенной к ободу навивки. Масса другого тела равна массе концевого груза. Эта общепринятая модель подъема, которая использована и в наших работах [5, 6]. Будем считать, что до начала предохранительного торможения подъем двигался с постоянной скоростью и динамические усилия в его элементах отсутствовали.

Величину прироста скорости $\Delta V(0, t)$ находим как максимум разности двух составляющих:

$$\Delta V(t) = \Delta V_g(t) - \Delta V_m(t), \quad (1)$$

где $\Delta V_g(t)$ – прирост скорости концевого груза, возникший под действием неуравновешенной статической нагрузки после отключения двигателя, м/с;

$\Delta V_m(t)$ – снижение скорости, возникшее под действием приложения усилия предохранительного тормоза, м/с;

t – текущая координата времени, с. В момент начала предохранительного торможения $t = 0$.

Каждую из этих составляющих находим, в свою очередь, как сумму двух составляющих, первая из которых соответствует движению системы как жесткого тела, а вторая описывает изменение скорости бадьи под действием колебаний усилий в канате.

Прирост скорости $\Delta V_g(t)$ определяем зависимостью:

$$\Delta V_g(t) = a_g t + 4a_g t (1 + a_1 + a_2) \sum_{i=1}^{\infty} \frac{R_i}{N_i} \sin b_i \frac{t}{\tau}, \quad (2)$$

где a_g – ускорение свободного выбега, с которым разгоняется система как жесткое тело под действием неуравновешенной статической нагрузки, м/с²;

τ – время распространения упругой волны в канате от одного его конца к другому. Находится как отношение длины каната к скорости распространения упругой волны в канате, с;

a_1 – отношение массы вращающихся частей к массе отвеса каната;

a_2 – отношение массы концевого груза к массе отвеса каната.

Промежуточные функции R_i , N_i и собственные числа b_i описаны в литературе по теории колебаний. Они приведены в [5, 6]. В формуле (2) первая составляющая суммы соответствует движению системы как жесткого тела, вторая – изменению скорости сосуда под действием колебаний усилий в канате.

По окончании холостого хода прикладывается усилие предохранительного тормоза. Величину $\Delta V_m(t)$ находим из выражения:

$$\Delta V_m(t) = \Delta v_m(t) + \sum_{i=1}^{\infty} q_{iT}(t), \tag{3}$$

где $\Delta v_m(t)$ – изменение скорости системы как жесткого тела под действием тормозного усилия, м/с;

$q_{iT}(t)$ – функция, зависящая только от времени t .

Как видно из формулы (2), с увеличением ускорения свободного выбега прирост скорости повышается. Наиболее он высок при двухступенчатом торможении и составляет, согласно справочнику по шахтным подъемным машинам, разработанному специалистами завода им. ЛКУ (ныне ОАО «Донецгормаш») [7], $1,67 \text{ м/с}^2$. Эта норма была включена в нормативный документ, утвержденный в 1991 г. Минуглепромом СССР [8].

Указанная выше норма по допустимому ускорению свободного выбега получена для установившегося замедления, хотя на практике имеет место постепенное увеличение тормозного момента. Если принять, что рост тормозного момента происходит по экспоненте, то $a_{в.н} = 1,8 \text{ м/с}^2$ (индекс «н» обозначает, что сосуд с номинальным грузом находится на нижней приемной площадке). Этому ускорению соответствует кратность k_m тормозного усилия по отношению к номинальному статическому неуравновешенному, равная 2.

Рассмотрим минимально допустимое быстроедействие, при котором продолжительность холостого хода t_x предохранительного тормоза равна 0,5 с, а время его срабатывания t_c составляет 0,8 с.

Будем считать, что рост тормозного усилия осуществляется по экспоненциальному закону. В этом случае:

$$\Delta v_{m.э}(t-t_x) = \frac{k_m g (a_{2н} + 1)}{a_{2н} (h_1 + \frac{1}{h_2}) + 1} \left[t - t_x - T (1 - \exp(-\frac{t-t_x}{T})) \right]; \tag{4}$$

$$q_{iэ}(t) = 4t^2 k_m g (a_{2н} + 1) \frac{R_i}{N_i b_i} \{ 1 - \exp(-\frac{t-t_x}{T}) + \frac{1}{T^2} \frac{\exp(-\frac{t-t_x}{T}) - \cos b_i \frac{t-t_x}{t} - \frac{b_i T}{t} \sin b_i \frac{t-t_x}{t}}{\frac{1}{T^2} + \frac{b_i^2}{t^2}} \}, \tag{5}$$

где h_1 – отношение массы вращающихся частей к массе номинального концевого груза при нахождении сосуда в нижней проектной отметке ствола;

h_2 – отношение массы номинального концевого груза к массе концевого груза (степень загрузки сосуда);

$a_{2н}$ – отношение массы номинального концевого груза к массе отвеса каната при нахождении сосуда в нижней проектной отметке ствола.

В рамках полученного решения рассмотрим пример посадки проходческой бадьи. Бадье с номинальным грузом отвечает $h_2 = 1$, а порожней – $h_2 = 4$. Примем, что используется малокрутящийся канат конструкции по ГОСТ 16828-81 с маркировочной группой по временному сопротивлению разрыву 1570 МПа. Принимаем среднее значение скорости распространения упругой волны для обтянутого каната с износом $b = 3000$ м/с. Результаты расчетов по определению прироста скорости показаны на графиках рис. 1.

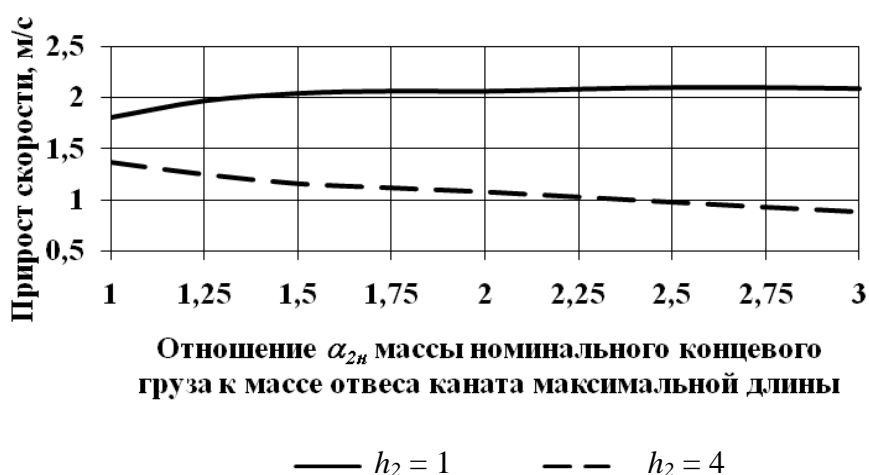


Рис. 1. Максимальный прирост скорости опускающейся бадьи при $t_x = 0,5$ с, $t_c = 0,8$ с, $k_m = 2$ (допустимое значение 0,5 м/с при перевозке людей и 1 м/с при транспортировке груза)

Анализ графиков показывает, что прирост скорости превышает допустимую величину (1 м/с для груза и 0,5 м/с для людей).

В настоящее время на одноконцевых подъемах используется асинхронный электропривод с фазным ротором. Посадка сосуда осуществляется обычно в режиме подтормаживания ручным тормозом. Поэтому при возникновении предохранительного торможения холостой ход, как правило, отсутствует и имеется предварительно созданное тормозное усилие. Рассмотрим худший при подтормаживании случай: $t_x = 0$ и тормозное усилие равно нулю.

Результаты расчетов по определению максимального прироста скорости при отсутствии холостого хода (при подтормаживании) и прежних значениях остальных параметров показаны на графиках рис. 2.

Как видно из сравнения графиков на рис. 1 и 2, прирост скорости сосуда во время холостого хода в несколько раз превышает прирост скорости за время роста тормозного усилия. Подтормаживание позволяет снизить прирост скорости до допустимой величины. Если $t_x = 0,3$ с и $t_c = 0,8$ с, то в случае отсутствия холостого хода время роста тормозного усилия до статической неуравновешенной величины увеличится и прирост скорости бадьи в режиме предохранительного торможения повысится, однако останется в допустимых пределах.

Вновь создаваемые конструкции тормозов должны обладать более высоким быстродействием по сравнению с серийно выпускаемыми. Их целесообразно использовать в первую очередь в системах автоматически регулируемого предохранительного торможения (АРПТ). Система АРПТ используется за рубежом на подъемных установках с большим ускорением свободного выбега.

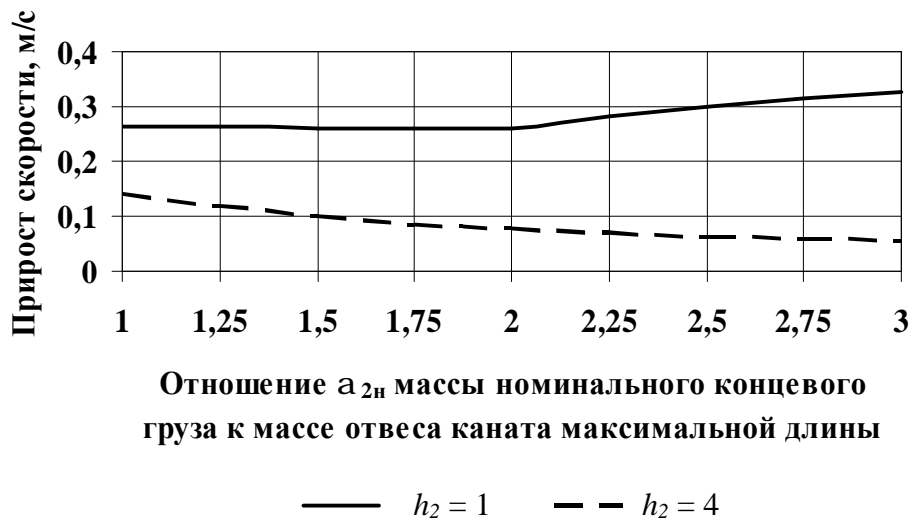


Рис. 2. Максимальный прирост скорости опускающейся бады при $t_c - t_x = 0,3$ с, $t_x = 0$, $k_m = 2$ (допустимое значение 0,5 м/с при перевозке людей и 1 м/с при транспортировке груза)

Максимально допустимое значение $a_{в.н}$ будет при $h_1 = 3$. Повторный расчет прироста скорости $\Delta V(t)$ выполним при следующих значениях параметров: $h_1 = 3$, $k_m = 3$, $t_x = 0,2$ с (максимальное значение для дисковых тормозов), $t_c = 0,3$ с. Остальные параметры будут те же, что при построении графиков на рис. 1.

Результаты расчетов показаны на рис. 3. Как видно, прирост скорости превышает допустимую величину.

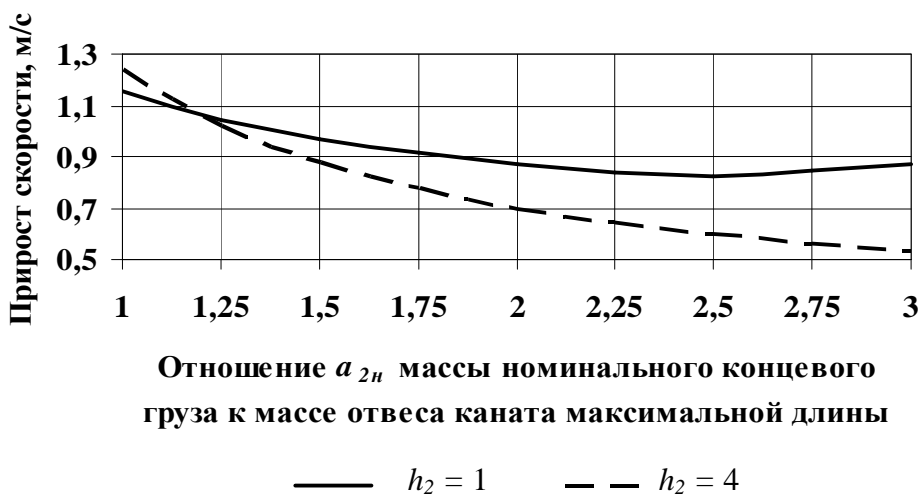


Рис. 3. Максимальный прирост скорости опускающейся бады при $t_x = 0,2$ с, $t_c = 0,8$ с, $k_m = 3$ (допустимое значение 0,5 м/с при перевозке людей и 1 м/с при транспортировке груза)

Эффективность подтормаживания при использовании дисковых тормозов подтверждается графиками на рис. 4, построенными для меньшего, чем на рис. 3 быстродействия.

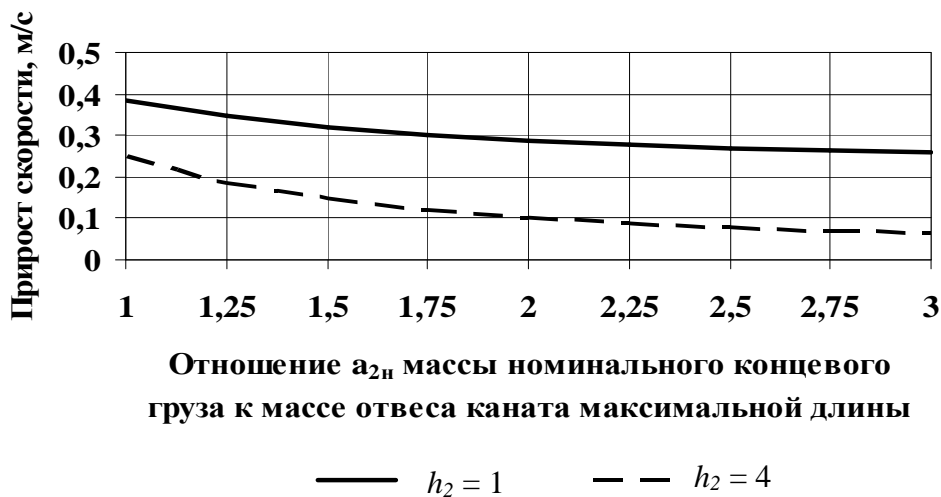


Рис. 4. Максимальний приріст швидкості опускаючого суду при $t_x = 0$, $t_c - t_x = 0,2$ с, $k_m = 3$

ВЫВОДЫ

1. Характеристики вновь создаваемых ограничителей скорости должны обеспечивать их срабатывание на пути дотягивания при скорости не выше 0,5 м/с.
2. Прирост скорости опускающегося суду в режиме предохранительного торможения, возникшего при нахождении его на пути дотягивания, не должен превышать 0,5 м/с при перевозке людей и 1,0 м/с при транспортировке груза.
3. На подъемных установках, оборудованных серийно выпускаемыми тормозами, обязательно должно применяться подтормаживание рабочим тормозом при движении суду на пути дотягивания.
4. На подъемных установках, требующих использования систем АРПТ совместно с дисковыми тормозами, должно применяться автоматическое подтормаживание при движении суду на пути дотягивания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахтный подъем / Бежко В. Р., Дворников В. И., Манец И. Г., Пристром В. А. ; общ. ред. Б. А. Грядущий, В. А. Корсун. – Юго-Восток, 2007. – 624 с.
2. Сергиенко С. Н. Новые технические разработки НПФ «Мидиэл» в области шахтного подъема и вентиляторов главного проветривания // Машиностроение и техносфера XXI века / С. Н. Сергиенко : сб. трудов международной научно-технической конференции в г. Севастополь 12-17 сентября 2005 г. – Донецк : ДонНТУ, 2005. – 281 с. – (часть III, раздел 22). – С. 172–183.
3. Система управления и комплексной защиты шахтной подъемной установки / А. Кашич, А. Мариценко, Н. Божок и др. // Современные технологии автоматизации. – 2005. – № 2. – С. 26–34.
4. СОУ 10.1-00185790-002-2005. Правила технічної експлуатації вугільних шахт. – Взамен НАОП 1.1.30-1.05.-75; Введ. 01.01.2007. – Киев : Минуглепром Украины, 2006. – 353 с.
5. Бережинский В. И. Предотвращение подпрыгивания бадьи при предохранительном торможении одноконцевой проходческой подъемной установки / В. И. Бережинский, Е. М. Федоров // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сб. науч. тр. – Вып. 19. – Макеевка – Донбасс : МакНИИ, 2007. – С. 228–234.
6. Бережинский В. И. Определение масс вращающихся частей и концевой груза одноконцевой проходческой подъемной установки / В. И. Бережинский, Е. М. Федоров // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сб. науч. тр. – Вып. 20. – Макеевка – Донбасс : МакНИИ, 2007. – С. 223–230.
7. Димашко А. Д. Шахтные электрические лебедки и подъемные машины / А. Д. Димашко, И. Я. Гершиков, А. А. Кривневич. – М : Недра, 1973. – 364 с.
8. Руководство по проектированию оснащения проходки вертикальных стволов. Проходческий подъем : РД 12.18.102-91. – Взамен РТМ 12.58.010-82. – Донецк, 1991. – 195 с.