

5. Перегон В.А., Ольшанский В.П., Ларин А.Н. Температурное поле боковины шины в области дефекта на ее поверхности // Автомобильный транспорт: Сб. научн. тр. – Харьков: ХГАДТУ, 2000. – Вып. 4. – С. 17-19.
6. Крайндраль П. Зависимость между теплообразованием в грузовых шинах 11.00-20 и динамическими свойствами резин // Kautschuk und Gummi. – 1966. – № 1. – С. 21-36.
7. Григолюк Э.И., Куликов Г.М. Многослойные армированные оболочки. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.
8. Толок В., Козуб Г., Грибанов В. Розв'язання задач термопружності шаруватих конструкцій у тривимірній постановці // Машинознавство. – 2007. – №1. – С. 3-7.
9. Киричевский В.В., Козуб Г.А. Матрица теплопроводности конечного элемента для решения задач термоупругости слоистых композитов // Геотехническая механика. – 2006. – Вып. 63. – С. 172-177.
10. Метод конечных элементов в вычислительном комплексе «МИРЕЛА+» / Под общ. ред. Киричевского В.В. – К.: Наук. думка, 2005. – 403 с.

УДК 622.232.72.001.57:658.386

Шевченко В.Г.

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЗАТРАТ И ЭКОНОМИЧНОСТИ СИСТЕМЫ «МАШИНИСТ – ВЫЕМОЧНЫЙ КОМБАЙН» В ПРОЦЕССЕ ДОБЫЧИ УГЛЯ

Дано оцінку енерговитрат і економічності системи «машиніст – виїмковий комбайн» у процесі видобутку вугілля з пологих і пологопохилих пластів. Установлено залежності зміни показника її економічності функціонування від основних технологічних параметрів процесу видобутку.

ESTIMATION OF ENERGY CONSUMPTIONS AND ECONOMY OF A SYSTEM «OPERATOR – CUTTER-LOADER» DURING A COAL MINING

The estimation of energy consumptions and economy of a system «operator – cutter-loader» during a coal mining from flat seams is executed. The relations of change of economy parameter of a system «operator – cutter-loader» from the basic technological parameters of process of a mining are established.

Основной структурной единицей современной технологии комплексно-механизированной подземной угледобычи, параметры которой существенно определяют как производительность механизированных комплексов нового технического уровня (НТУ), так и безопасность и эффективность всего процесса добычи, остается система «машинист – выемочный комбайн». Поскольку человек является неотъемлемой частью технологии комплексно-механизированной угледобычи, а процесс выемки угля происходит при его непосредственном участии, параметры, характеризующие подсистему «человек», могут накладывать ограничения на эффективность работы очистного забоя. Поэтому, исследование и установление закономерностей влияния параметров горнорабочих на эффективность и экономичность функционирования системы «машинист – выемочный комбайн» в процессе добычи угля является актуальной научной задачей.

На рис. 1 приведены зависимости энерговооруженности P и удельных энергозатрат H_w отечественных и зарубежных очистных комбайнов, предназначенных для выемки угля из пологих и пологонаклонных пластов, от вынимаемой мощности пласта m , а также удельных энергозатрат от скорости подачи комбайна v_f . Анализ данных свидетельствуют, что с увеличением вынимаемой

мощности пластов энерговооруженность современных очистных комбайнов возрастает, а удельные энергозатраты на тонну добытого угля снижаются, как с увеличением мощности пластов, так и скорости подачи комбайнов.

Увеличение скорости подачи очистных комбайнов, а, следовательно, и скорости перемещения по лаве требует от горнорабочего увеличения энергозатрат. Для реализации технических возможностей комплексов НТУ должно обеспечиваться условие $v \geq v_n$, т.е. скорость перемещения машиниста v должна быть равной скорости подачи очистного комбайна v_n .

С точки зрения биомеханики общие энергозатраты человека составляют затраты метаболической энергии на перемещение [1]. Зависимость общих энергозатрат (E , Вт) от скорости перемещения для человека выражается следующей зависимостью [1,2]:

$$E = E_0 + b_1v + b_2v^2, \quad (1)$$

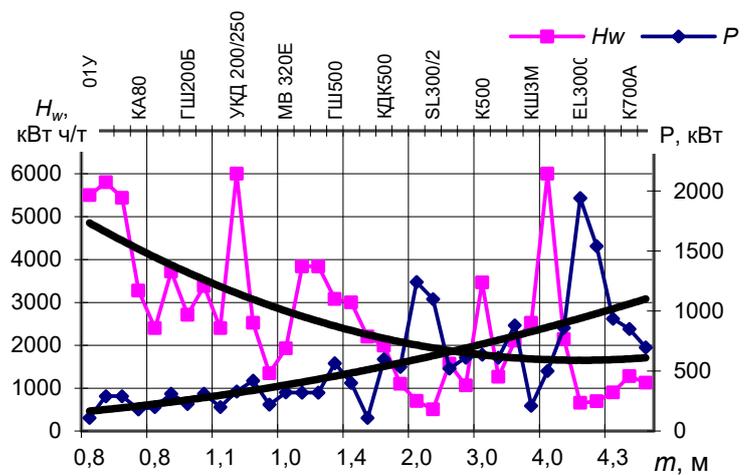
где v – скорость передвижения, м/мин;
 E_0 – затраты энергии в состоянии покоя, Вт;
 b_1, b_2 – коэффициенты, характеризующие соответственно линейный и квадратичный компоненты реакции организма на нагрузку, преобладающую в зоне нагрузок умеренной, большой и субмаксимальной относительной мощности (согласно [1, 3] параметры приняты:

$$E_0 = (240 \div 280) \text{ Вт},$$

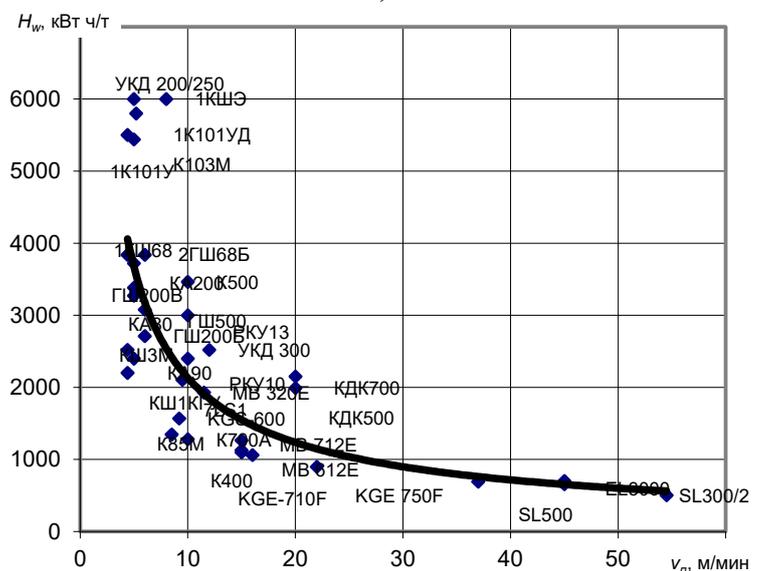
$$b_1 = 0,3 \div 6, \quad b_2 = 0,1 \div 2).$$

Квадратичный характер зависимости (1) свидетельствует о том, что перемещение с постоянной скоростью всегда более экономично, чем перемещение с переменной скоростью при одинаковой величине средней скорости.

Таким образом, для высоконагруженных забоев, при высоком коэффициенте го-



а)



б)

Рис. 1 – Зависимости энерговооруженности и удельных энергозатрат от вынимаемой мощности пластов (а) и удельных энергозатрат от скорости подачи очистных комбайнов (б)

товности процесса угледобычи, рациональным будет такой режим работы очистного комбайна, при котором обеспечивается постоянство его скорости подачи $v = \text{const}$, что обеспечит экономию энергозатрат машиниста при функционировании системы «машинист – выемочный комбайн НТУ».

Помимо энергозатрат другим важным критерием эффективности двигательной деятельности человека является механическая производительность. При циклических движениях (к которым относятся все виды перемещений машиниста по лаве при различных его положениях) механическая производительность оценивается временем преодоления расстояния либо скоростью передвижения. Важным биомеханическим критерием, характеризующим эффективность двигательных действий человека при перемещении, является энергетическая стоимость метра пути [1]. Разделив обе части уравнения (1) на скорость v получим зависимость энергетической стоимости метра пути от скорости перемещения машиниста по лаве:

$$\frac{E}{v} = \frac{E_0}{v} + b_1 + b_2 v. \quad (2)$$

Для различной вынимаемой мощности пласта характерны различные положения машиниста при перемещении по лаве и управлении комбайном. Так, при мощности пласта до 0,9 м машинист, как правило, вынужден перемещаться по лаве вслед за комбайном в положении полулежа (ползком), при мощности пласта от 0,9 до 1,4 м наиболее удобным способом перемещения является перемещение на коленях (четвереньках), при мощности от 1,4 до 1,8 м машинист перемещается в положении согнувшись и лишь при мощности более 1,8 м – в наиболее привычном для человека положении – в полный рост. Продифференцировав правую часть (2) по dv , получим уравнение, указывающее на существование экстремума функции (2) в точке оптимальной скорости передвижения, обеспечивающей минимальную энергетическую стоимость метра пути. Решение уравнения $E/v = b_2 - E_0/v^2 = 0$ позволяет получить оптимальную (для среднестатистического человека и «идеальных» условий внешней среды) скорость перемещения машиниста по лаве: при перемещении ползком $v_{i\delta r} \approx 0,7 \text{ м/с} \approx 12 \text{ м/мин}$; на коленях – $v_{i\delta r} \approx 0,97 \text{ м/с} \approx 16 \text{ м/мин}$; в полный рост – $v_{i\delta r} \approx 3 \text{ м/с} \approx 50 \text{ м/мин}$.

Следует отметить, что значение оптимальной скорости перемещения машиниста может существенно отличаться как для различных внешних условий (температуры окружающей среды, влажности, скорости и направления движения воздуха, типа поверхности перемещения, схемы выемки, угла наклона выработки, мощности пласта и пр.), так и зависеть от индивидуальных особенностей горнорабочего (возраста, опыта, квалификации, навыков, антропометрических и физиологических данных и пр.).

Для общей оценки экономичности двигательной деятельности человека применяют показатель, подобный коэффициенту полезного действия (КПД) в общей механике, – коэффициент механической эффективности [1], равный:

$$\hat{E} \dot{Y} = \frac{\dot{A}}{\dot{E}} \times 100\% = \frac{N}{\dot{E}} \times 100\% ,$$

где A – механическая работа, Дж;
 N – мощность, Вт;
 E – общее количество затраченной (метаболической) энергии, Дж;
 \dot{E} – скорость расходования метаболической энергии, Вт.

В циклических перемещениях для характеристики экономичности техники также используют величину энерготрат, приходящуюся на 1 метр пути (2). Важнейшим критерием оптимальности при перемещении человека является экономичность двигательной деятельности, обратно пропорциональная энергии, затрачиваемой на единицу выполняемой работы или метр пройденного пути, а наиболее важным принципом двигательной деятельности человека является принцип минимума энергозатрат. При перемещении машиниста в забое полезной является работа на перемещение в продольном направлении. Таким образом, коэффициент экономичности машиниста обратно пропорционален удельным энергозатратам на единицу (метр) пути:

$$\hat{E} \dot{Y} = (E/v)^{-1} = 1/[(E_0/v) + b_1 + b_2 v] . \quad (3)$$

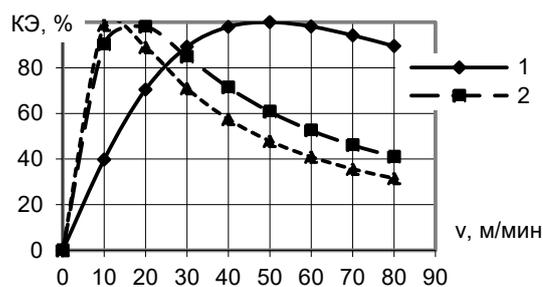
Формула (3) характеризует КПД машиниста выемочного комбайна по биомеханическим характеристикам. Нормируя показатель (3) относительно оптимальной скорости перемещения получим зависимость коэффициента экономичности машиниста выемочного комбайна от скорости его перемещения по лаве (рис. 2).

Функция (3) имеет экстремум в точке оптимальной скорости, обеспечивающей минимальные энергозатраты на 1 м пути (максимальное значение коэффициента экономичности). Приведенные выше расчеты указывают, что при прочих равных условиях экстремум будет достигнут при оптимальной скорости перемещения.

Для оценки экономичности перемещения машиниста в процессе выемки угля целесообразно ввести показатель энергозатрат машиниста на тонну добытого угля (горной массы) либо показатель энергетической стоимости тонны горной массы равный:

$$\frac{E}{Q} = \frac{E}{vmr\gamma} = \frac{(E_0/v) + b_1 + b_2 v}{mr\gamma} ,$$

где m – вынимаемая мощность пласта, м;
 r – ширина захвата комбайна, м;
 γ – плотность горной массы, т/м³.



1 – при $m > 1,8$ м, перемещение в полный рост; 2 – при $m = 0,91-1,4$ м, перемещение на коленях; 3 – при $m = 0,7-0,9$ м, перемещение ползком

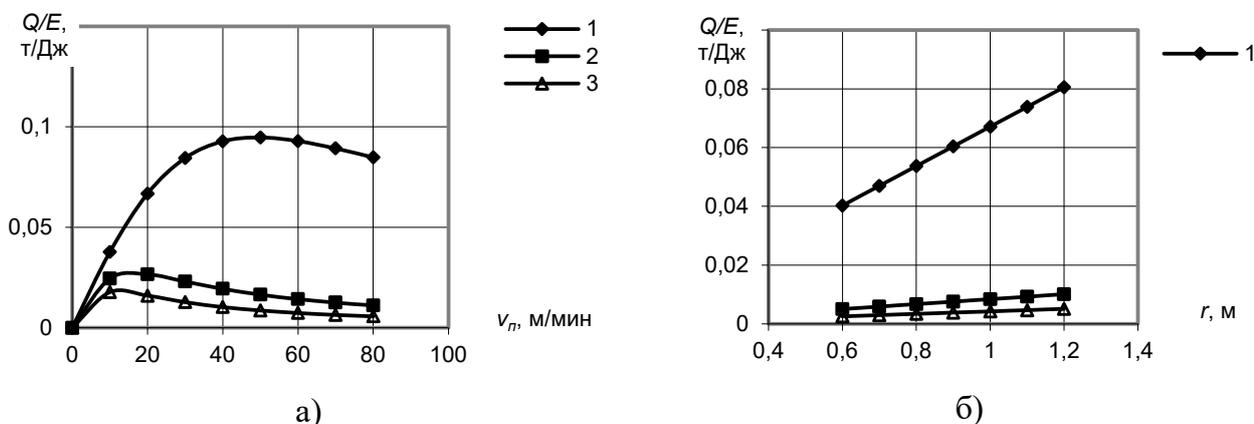
Рис. 2 – Зависимость нормированного коэффициента экономичности машиниста от скорости перемещения по лаве

Зависимость $E/Q = f(r)$ имеет гиперболический характер и свидетельствует об уменьшении затрат энергии машиниста на 1 тонну горной массы с увеличением ширины захвата. Так, с увеличением ширины захвата с 0,63 до 1 м энергозатраты машиниста на тонну горной массы уменьшаются в 1,5 раза.

Коэффициент экономичности в данном случае будет равен:

$$\hat{E}Y = \frac{Q}{E} = \frac{vmr\gamma}{E} = \frac{mr\gamma}{(E_0/v) + b_1 + b_2v} \quad (4)$$

Зависимость коэффициента экономичности (параметра обратного показателю энергетической стоимости 1 тонны горной массы) от скорости подачи и ширины захвата приведены на рис. 3. Анализ данных указывает на возрастание коэффициента экономичности с увеличением, как скорости подачи, так и ширины захвата. Однако, для скорости подачи будет достигнут экстремум при достижении оптимального значения.



1 – при $m > 1,8$ м, перемещение в полный рост; 2 – при $m = 0,91-1,4$ м, перемещение на коленях; 3 – при $m = 0,7-0,9$ м, перемещение ползком

Рис. 3 – Зависимость коэффициента экономичности добычи 1 тонны горной массы от скорости подачи (а) и ширины захвата выемочного комбайна (б)

В свою очередь, для выемочного комбайна удельные энергозатраты (H_w , кВт·ч/т) на разрушение угля (энергоёмкость добычи) определяются согласно следующей методике [4]:

$$H_w = \frac{P_{\dot{\sigma}\dot{\delta}}}{60v_i mr\gamma},$$

где $P_{\dot{\sigma}\dot{\delta}}$ – устойчивая мощность двигателей комбайна, кВт.

Энергоёмкость добычи снижается, а потребляемая мощность возрастает с увеличением скорости подачи комбайна. Экономичность работы комбайна по разрушению угля обратно пропорциональна энергоёмкости:

$$H_w^{-1} = 60v_i mr\gamma / P_{\dot{\sigma}\dot{\delta}} \quad (5)$$

Таким образом, для современной технологии угледобычи зависимость экономичности разрушения горного массива комбайном от скорости подачи возрастает линейно, в то время как для зависимости экономичности перемещения машиниста от скорости подачи имеет место параболический характер.

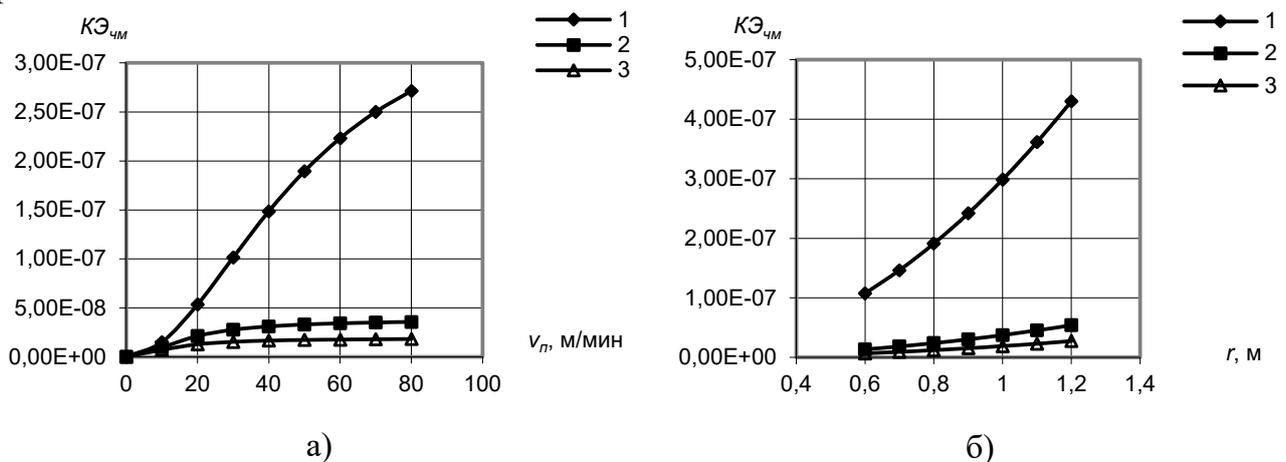
Элементы системы «машинист – выемочный комбайн» в процессе выемки угля функционируют последовательно, так при отказе одного из элементов исключается работа другого. В системе «машинист – выемочный комбайн» следует различать КПД отдельного элемента (комбайна и человека) и КПД, характеризующего всю цепь преобразований энергии в данной системе. При последовательном взаимодействии элементов системы общий $\hat{E}\dot{I}\ddot{A}_{i\dot{a}i}$ равен произведению частных $\hat{E}\dot{I}\ddot{A}_i$. Коэффициент полезного действия системы «машинист – выемочный комбайн» равен произведению КПД выемочного комбайна и КПД машиниста:

$$\hat{E}\dot{I}\ddot{A}_{i\dot{a}i} = \hat{E}\dot{I}\ddot{A}_i \hat{E}\dot{I}\ddot{A}_{\dot{a}i}. \quad (6)$$

Учитывая (4), (5), (6) экономичность (эффективность) функционирования системы «машинист - выемочный комбайн» будет определяться выражением:

$$\hat{E}\dot{Y}_{\dot{a}i} = \left(\frac{E}{Q}\right)^{-1} H_w^{-1} = \frac{mr\gamma}{(E_0/v) + b_1 + b_2v} \times \frac{v_i m r \gamma}{60P_{\dot{a}i}}.$$

На рис. 4 приведены зависимости показателя экономичности функционирования системы «машинист – выемочный комбайн» от скорости подачи и ширины захвата комбайна.



1 – при $m > 1,8$ м, перемещение в полный рост; 2 – при $m = 0,91-1,4$ м, перемещение на коленях; 3 – при $m = 0,7-0,9$ м, перемещение ползком

Рис. 4 – Зависимость показателя экономичности системы «машинист – выемочный комбайн» от скорости подачи (а) и ширины захвата (б)

Зависимость показателя экономичности функционирования системы «машинист – выемочный комбайн» от скорости подачи наиболее точно аппроксимируется полиномом четвертой степени. Данный характер обусловлен существованием экстремума функциональной зависимости показателя экономичности машиниста от скорости его перемещения. Таким образом, повышение экономичности функционирования системы «машинист – выемочный комбайн» будет иметь предел, обусловленный физиологическими возможностями (биомеханическими характеристиками) машиниста. Поэтому с целью соблюдения принципа минимума энергозатрат машиниста в технологии комплексно-

механизированной добычи угля необходимо предусмотреть элементы механизации процесса перемещения машиниста по лаве.

С увеличением ширины захвата, при прочих равных условиях, показатель экономичности работы системы «машинист – выемочный комбайн» возрастает в квадратичной зависимости. Так, при увеличении ширины захвата с 0,63 до 1 м показатель экономичности возрастает в 2,7 раза. Поэтому, для повышения экономичности системы «машинист – выемочный комбайн» при достижении оптимальных значений скорости перемещения машиниста по лаве целесообразно управлять таким параметром, как ширина захвата.

Выводы

1. Важнейшим критерием оптимальности при перемещении человека является экономичность двигательной деятельности обратно пропорциональная энергии, затрачиваемой на единицу выполняемой работы или метр пройденного пути, а наиболее важным принципом двигательной деятельности человека является принцип минимума энергозатрат. Зависимость коэффициента экономичности от скорости перемещения машиниста по лаве носит параболический характер и имеет экстремум в точке оптимальной скорости, обеспечивающей минимальные энергозатраты на 1 м пути. Оптимальная скорость перемещения машиниста по лаве (для среднестатистического человека и «идеальных» условий внешней среды) составляет: при мощности пласта до 0,9 м (перемещение ползком) – 12 м/мин; при мощности 0,9-1,4 м (перемещение на коленях) – 16 м/мин; при мощности более 1,8 м (перемещение в полный рост) – 50 м/мин.

2. В качестве критерия экономичности перемещения машиниста в процессе выемки угля необходимо использовать показатель энергозатрат машиниста на тонну добытой горной массы (энергетической стоимости тонны горной массы). Зависимость энергетической стоимости тонны горной массы от скорости подачи носит параболический, а от ширины захвата – гиперболический характер. Затраты энергии машиниста на тонну горной массы уменьшаются в 1,5 раза с увеличением ширины захвата с 0,63 до 1 м. Для современной технологии угледобычи зависимость экономичности разрушения горного массива комбайном от скорости подачи возрастает линейно, в то время как для зависимости экономичности перемещения машиниста от скорости подачи имеет место параболический характер.

3. Для оценки эффективности процесса выемки угля целесообразно ввести показатель экономичности функционирования системы «машинист – выемочный комбайн», являющийся мультипликативной функцией показателей экономичности машиниста и комбайна. Зависимость показателя экономичности системы «машинист – выемочный комбайн» от скорости подачи имеет предел, обусловленный биомеханическими характеристиками машиниста. С увеличением ширины захвата показатель экономичности системы «машинист – выемочный комбайн» возрастает в квадратичной зависимости: при увеличении ширины захвата с 0,63 до 1 м показатель экономичности возрастает в 2,7 раза.

4. С учетом тенденции непрерывно повышающейся энерговооруженности, производительности и скорости подачи очистных комбайнов с целью соблюде-

ния принципа минимума энергозатрат машиниста и повышения экономичности системы «машиниста – выемочный комбайн» в технологии комплексно-механизированной угледобычи должны быть предусмотрены элементы механизации перемещения машиниста по лаве; для повышения экономичности системы «машинист – выемочный комбайн» в процессе добычи управление таким параметром, как ширина захвата, является более предпочтительным, чем увеличение скорости подачи комбайна. В высоконагруженных забоях, при высоком коэффициенте готовности процесса угледобычи, рациональным будет такой режим работы очистного комбайна, при котором обеспечивается постоянство его скорости подачи $v_n = \text{const}$, что обеспечит значительную экономию энергозатрат машиниста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений: Учеб. пособие. – М.: Просвещение, 1989. – 210 с.
2. Попов Г.И. Прогностическое тестирование спортсменов // Сборник трудов РГАФК. – М. – 1998. – Т. 3. – С. 35-42.
3. Зациорский В.М., Алешинский С.Ю., Якунин Н.А. Биомеханические основы выносливости. – М.: Физкультура и спорт, 1982. – 207 с.
4. Кияшко И.А. Процессы подземных горных работ. – Киев: Вища школа, 1992. – 335 с.

УДК 622.647.2

Лисица Н.И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РОЛИКОВ С ВИБРОИЗОЛИРОВАННЫМ КОРПУСОМ

В статті наведені результати обчислювання раціональних параметрів (мас, жорсткостей) пунктів завантаження стрічкових конвейерів, які транспортують великокусові вантажі.

DEFINITION OF RATIONAL PARAMETERS OF ROLLERS WITH THE VIBROISOLATED CASE

In a paper results of an evaluation of rational parameters (masses, rigidities) items of loading of belt conveyors which transport largelumpy weights are reduced.

Так как при погрузке крупнокусового груза на ленточный конвейер удар неизбежен, то необходимо обратиться к искусственному подбору жесткостей и масс опорных элементов конвейера, принимая в качестве критерия величину энергии, воспринимаемой лентой и роликами в момент соударения с ними груза, превышение которой приводит к местным разрушениям конвейерной ленты.

Теоретические и экспериментальные исследования [1] процесса взаимодействия крупнокусового груза с опорными элементами пунктов нагрузки показывают, что на его динамику существенное влияние оказывает масса роликоопоры, участвующая в соударении. Для уменьшения энергии взаимодействия, расходуемой на местные деформации ленты и роликов, необходимо максимально снижать массу роликоопоры, участвующей в соударении.

Для пунктов погрузки ленточных конвейеров, работающих в тяжелых условиях (максимальный размер падающих кусков – 0,8 м и более; высота па-