

С. К. Малыбаев, д-р техн. наук, проф., **Т. Ы. Маткеримов**, д-р техн. наук, проф.,
Т. К. Балгабеков, канд. техн. наук, доц.

Карагандинский государственный технический университет,
Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова
Тел. +7 (7212) 357339; E-mail: tdi_kstu@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КОНТАКТНЫХ НАГРУЗОК В ЭЛЕМЕНТАХ ПЛАСТИНЧАТОГО КОНВЕЙЕРА

В статье разработана методика расчета при погрузке крупнокусковых горнорудных грузов на пластинчатый конвейер. При транспортировании горнорудных грузов возникают значительные динамические контактные нагрузки, которые часто приводят к повреждениям полотна конвейера. Исследованиями доказано, что особенно наибольшие нагрузки, возникают, когда груз падает на опорную пластину пластинчатого конвейера. При попадании горнорудных грузов на пластинчатый конвейер величина давления в области контакта зависит от многих факторов и при превышении допустимых значений может вызвать контактные процессы в несущем полотне такие как: продавливание, порезы, деформацию оси пластины и др.

Ключевые слова: пластинчатый конвейер, транспортировка горнорудных грузов, динамические контактные нагрузки, скорость полотна, загрузочные узлы, контактные процессы, деформация пластины.

S. K. Malybaev, T. Y. Matkerimov, T. K. Balgabekov

RESEARCH OF DYNAMIC CONTACT LOADS CELL LAMINATE CONVEYOR

In the article developed the method of calculation when loading lumpy mining cargo on the plate conveyor. When transporting cargo of mining there are significant dynamic contact load, which often lead to damage to the canvas of the conveyor. Studies have shown that especially the largest load occurs when the load falls to the base plate of the laminate conveyor. After contact mining conveyor loads on the pressure plate in contact depends on many factors and is in excess of the permissible value may cause the contact carrier web processes such as punching, cuts, deformation axis of the plate and others.

Key words: laminate conveyor, mining transportation of goods, the dynamic contact load, web speed, charging units, contact processes, deformation of the plate.

1. Введение

При разработке рудных месторождений добываемые полезные ископаемые можно классифицировать по химическому составу и направлению использования по следующим группам [1]:

- группа металлических полезных ископаемых, в которую входят: руды черных металлов, содержащие железо, марганец, хром и др.; руды цветных металлов, содержащие медь, свинец, цинк, алюминий и др.; руды благородных металлов – золота, серебра и платины; руды радиоактивных металлов – урана и тория; руды редких, легких и рассеянных элементов – циркония, тантала, бериллия и др;

- группа неметаллических полезных ископаемых, в которую входят: сырье для металлургической промышленности - известняки, доломит, магнезит и др.; промышленное сырье – асбест, слюда, алмазы, корунд и др.; сырье для химической и пищевой промышленности – фосфориты, апатиты, ископаемые соли и др.

На сегодняшний день среди разведанных мировых рудных месторождений наибольшее количество приходится на железные руды (13-15 трлн. т), из них 95% - изме-

ряются сотнями миллиардов тонн. Порядка сотен миллионов тонн – запасы меди и цинка, единицами миллиардов тонн измеряются запасы марганца, хрома и фосфатов.

Технический прогресс, а также развитие телекоммуникаций, радио, телевидения, электроники, автоматики, ядерной, реактивной и космической техники требуют роста добычи руды и в первую очередь, железной руды, вольфрама, меди, молибдена, марганцевых руд, а также руд редкоземельных и радиоактивных элементов – бериллия, лития, тантала, урана и т.д. Исследованиями установлено [2], что доля полимеров и других материалов при создании техники в обозримом будущем не превысит 7,5 %, а 92,5 % конструкционных материалов останется за черными и цветными металлами.

Сырьевой базой черной и цветной металлургии является горнометаллургический комплекс [3], представленные карьерами, шахтами и обогатительными фабриками. Для современного развития горнодобывающей отрасли характерен опережающий рост открытой добычи руд. В то же время при снижении удельного веса подземных работ в общем объеме добычи наблюдается тенденция увеличения добычи подземным способом в абсолютных цифрах [4], что говорит об актуальности исследований по повышению эффективности работы горнометаллургических комплексов.

2. Исследования динамических контактных нагрузок

При погрузке крупнокусковых горнорудных грузов на пластинчатый конвейер возникают значительные динамические контактные нагрузки, которые часто приводят к повреждениям полотна, особенно наибольшие нагрузки, возникают, когда груз падает на опорную пластину. Величина давления в области контакта зависит от многих факторов и при превышении допустимых значений может вызвать контактные процессы в несущем полотне (продавливание, порезы, деформацию оси пластины и так далее).

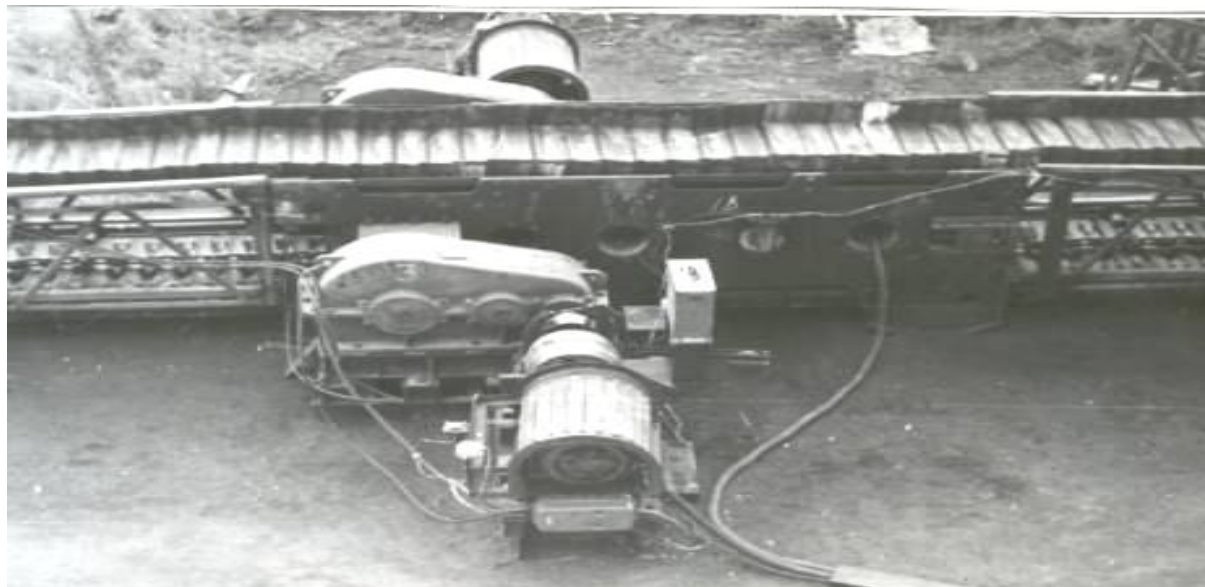


Рис. 1. Промежуточный привод пластинчатого конвейера П-80К

Развитие современного пластинчатого конвейерного транспорта характеризуется увеличением производительности и длины конвейерных линий. Пластинчатый конвейерный транспорт (рисунок 1) на большие расстояния, достигающие нередко не-

скольких километров, осуществляется как установкой в одну линию группы сопряженных конвейеров, так и увеличением длины конвейера в одном составе [5].

При определении контактных нагрузок, учитываем только массу и жесткость соударяемых тел, так как согласно экспериментальным исследованиям [6] время соударения значительно меньше периода собственных колебаний полотна с грузом; не учитывается также скорость полотна и составляющую скорости груза в направлении движения конвейера.

Такое допущение приемлемо [7], так как эту скорость можно учитывать, если она близка к скорости распространения упругой волны в этих телах (примерно (400...600) м/с). Рассмотрим два возможных случая контакта груза с полотном: груз падает на пластину одной из своих острых вершин (кривизна груза намного больше кривизны оси пластины рисунок 2, а) или плоской гранью (рисунок 2, б). В связи с этим рассмотрим решение двух различных задач.

Падение груза остроугольным концом на опорную пластину, при котором возможны наибольшие контактные нагрузки, рассмотрим с помощью общего уравнения статической осесимметричной контактной задачи в следующем виде:

$$2\pi \int_0^{\rho} q(r_1) r_1 dr_1 = P;$$

$$(v_1 - v_2) \int_0^{2\pi} \int_0^{\rho} \frac{q(r_1) r_1 dr_1 d\varphi}{\sqrt{r^2 - 2rr_1 \cos \varphi + r_1^2}} = \delta - Ar^{2n}, \quad (1)$$

где P – равнодействующая сил, сжимающих тела, кН;

ρ – радиус круга сжатия двух тел, мм;

v_1 и v_2 – константы контактирующих сил.

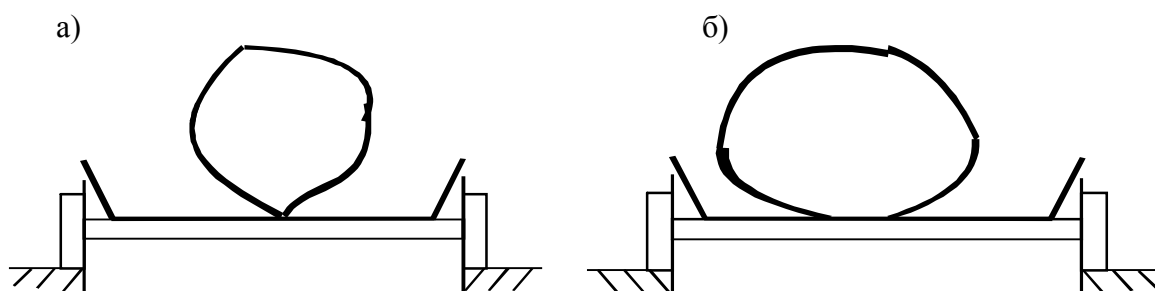


Рис. 2. Различные варианты падения крупнокускового груза на опорную пластину: а- острой гранью; б- плоской гранью

Изучение процесса удара осложняется еще тем обстоятельством, что до настоящего времени нет достаточных данных для предела упругости и текучести при динамическом нагружении, а также по затрате энергии, расходуемой на волновой процесс. Расчет процесса удара пригоден для сравнительно небольших скоростей до тех пор, пока не возникают значительные пластические деформации в зоне контакта. Рассмотрим решение задач и об ударе по опорной пластине при существующих скоростях соударения, при которых не возникают значительные пластические деформации.

$$v_1 = (1 - \mu_1^2) / \pi E_1; \quad v_2 = (1 - \mu_2^2) / \pi E_2;$$

где μ_i и E_i – коэффициенты Пуансона и модули упругости тел;

$q(r)$ – функция распределения давления по области контакта и являющаяся функцией r ;

δ – глубина вдавливания, мм;

A – коэффициент, определяемый по выражению

$$A = \frac{1}{2n!} \left(\frac{d^{2n} Z_{1,2}}{dr^{2n}} \right) r = 0,$$

при условии, что уравнение индикатрисы поверхности тел в точке касания можно представить в виде:

$$Z_{1,2} = Ar^{2n} + \dots$$

При падении куска острой вершиной, когда кривизна его поверхности значительно меньше кривизны оси пластины, можно приближенно принять

$$Z_{1,2} = Z_1 = Ar^{2n} + \dots,$$

где A , n – константы, характеризующие остроугольность вершин кусков.

Уравнения (1) решают в элементарных функциях, за исключением, когда r приводится в нечетной степени. Согласно [8] распределение давления $q(r')$ по области контакта запишется в следующем виде:

$$q(r') = \frac{A\rho^{2n+1}}{\pi^2(v_1 + v_2)} \left[\frac{2 \cdot 4 \cdot \dots \cdot 2n}{1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)} \right]^2 q_n \left(\frac{r'}{\rho} \right), \quad (2)$$

$$\text{где } q_n \left(\frac{r'}{\rho} \right) = \left[\left(\frac{r'}{\rho} \right)^{2n-2} + \frac{1}{2} \left(\frac{r'}{\rho} \right)^{2n-4} + \dots + \frac{1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)}{2 \cdot 4 \cdot \dots \cdot 2n} \right] \sqrt{1 - \left(\frac{r'}{\rho} \right)^2};$$

$$\rho = \left[\frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)}{2 \cdot 4 \cdot \dots \cdot 2n} \cdot \frac{\pi(v_1 + v_2)}{2A} \right]^{\frac{1}{2n+1}}. \quad (3)$$

Из соотношения (2) и (3) можно определить глубину вдавливания

$$\delta = \left[\frac{2 \cdot 4 \cdot \dots \cdot 2n}{1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)} A \right] \left[\frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)}{2 \cdot 4 \cdot \dots \cdot 2n} \cdot \frac{\pi(v_1 + v_2)}{2A} \right]^{\frac{2n}{2n+1}} \cdot \rho^{\frac{2n}{2n+1}};$$

или

$$\delta = K\rho^{2n/(2n+1)}.$$

Принимая, что соударения носят упругий характер, а размер площадки контакта мал, по сравнению с другими размерами тел, можно эти соотношения использовать для определения динамической контактной нагрузки $P_{дин}$, конечной скорости падения v_k в зависимости от формы соударяемых тел (A и n) [9]:

$$P_{дин} = K_1 \left(\frac{4n+1}{4n} \cdot \frac{1}{K_1 K_2} \right)^{\frac{2n}{4n+1}} \cdot V_k^{\frac{4n+2}{4n+1}}, \quad (4)$$

где

$$K_1 = \left[\frac{2 \cdot 4 \cdot \dots \cdot 2n}{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n-1)} A \right]^{\frac{2n+1}{2n}} \cdot \left[\frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n-1)}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot \dots \cdot 2n} \cdot \frac{\pi(v_1 + v_2)}{2A} \right]^{-1};$$

$$K_2 = \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2};$$

m_1 – масса загружаемого груза, кг;

m_2 – приведенная масса опорной пластины и зависящая от ее конструкции, кг.

Зная значение $P_{дин}$, можно найти распределение давлений по области контакта $q(r')$. По формуле (3) определяем радиус круга сжатия, а затем по формуле (2) – $q(r')$. Изменяя r' в пределах $0 \leq r' \leq \rho$, находим распределение давления в области контакта. Максимальное давление достигается не обязательно в точке $r = 0$ (рисунок 3). Если значение $q(r')$ в какой-либо точке контакта будет больше предельно допустимого значения $q_{кр}$, то в пластине произойдет деформация, в этом случае необходимо принять специальные меры для снижения контактной нагрузки.

3. Исследование влияние различных факторов на величину контактных динамических нагрузок

Постоянные константы A и n (A_1 входит в коэффициент K_1) заданы и изменяться не могут, так как параметры кусков определяются технологическими процессами. Рассмотрим влияние массы опорной пластины на процесс соударения. Для этого уравнение (4) запишем в виде

$$P_{дин}' = K_1 \left(\frac{4n-1}{4n} \cdot \frac{1}{K_2} \right)^{\frac{2n}{4n+1}} \cdot V_k^{\frac{4n+2}{4n+1}} = C \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)^{\frac{2n+1}{4n+1}},$$

где C – произведение всех членов, не зависящих от m_1 и m_2 .

При уменьшении массы опорных пластин, участвующих в соударении, то есть при возрастании γ динамическая нагрузка продолжает уменьшаться, как это показано на графике (рисунок 4, а). При изменении n кривая зависимости идет более полого, то

есть для кусков с более острыми вершинами уменьшение массы опорной и смежной с ним пластин эффективнее снижает динамические нагрузки.

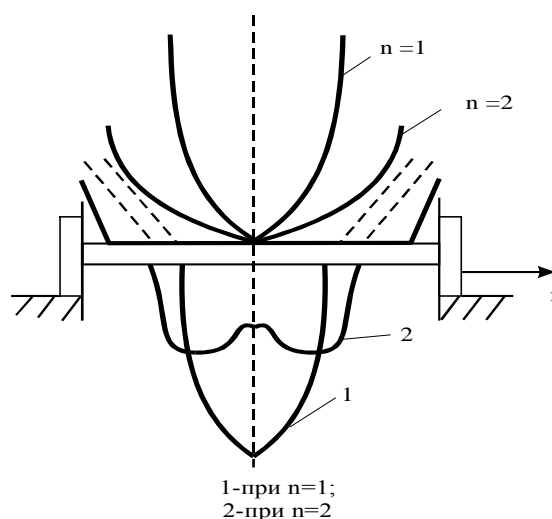


Рис. 3. Зависимость динамических контактных нагрузок от формы падающего куска груза

Влияние высоты загрузки крупных кусков груза можно выявить, анализируя формулу (4). Принятая нами начальная скорость соударения $v_0 = \sqrt{2gh}$, где h - высота загрузки, уравнение (4) можно записать

$$P_{дин}'' = K \left(\frac{4n+1}{4n} \cdot \frac{1}{KK} \right)^{\frac{2n+1}{4n+1}} \cdot \sqrt{(2gh)^{\frac{4n+2}{4n+1}}} = c'h^{\frac{2n+1}{4n+1}},$$

где c' – произведение членов, не зависящих от h .

Зависимость $P_{дин}''$ от h для $n=1$ приведена на рисунке 4, б из которого видно, что увеличение высоты загрузки значительно влияет на динамические нагрузки, если грузы остроугольные.

Для определения влияния жесткости опорных пластин на процесс соударения из формулы (4) запишем:

$$P''' = K_1^{\frac{2n}{4n+1}} \left(\frac{4n+1}{4n} \cdot \frac{1}{K_2} \right)^{\frac{2n+1}{4n+1}} \cdot V_0^{\frac{4n+2}{4n+1}}.$$

Выделяя из K_1 члены, зависящие от модуля упругости соударяемых тел $E_{гр}$ и $E_{пл}$, и учитывая, что модуль упругости пластины $E_{пл}$ много больше модуля упругости груза $E_{гр}$, запишем

$$v_{ep} \gg v_{nl};$$

$$P_{дин}''' = K_1^{\frac{2n}{4n+1}} \left(\frac{4n+1}{4n} K_2 \right)^{\frac{2n+1}{4n+1}} \cdot V_0^{\frac{4n+2}{4n+1}} \cdot E_{\phi}^{\frac{2n}{4n+1}} = K_0 E_{\phi}^{\frac{2n}{4n+1}}.$$

Из зависимости $P_{дин}=f(E,n)$ видно, что с увеличением жесткости опорной пластины нагрузки заметно возрастают, особенно для остроугольных крупнокусковых грузов, поэтому при конструировании загрузочных узлов необходимо учитывать все факторы, снижающие динамические нагрузки, например, кроме амортизирующей секции, нужно применять подсыпку мелкокускового материала, а также армирование пластин резиновыми элементами.

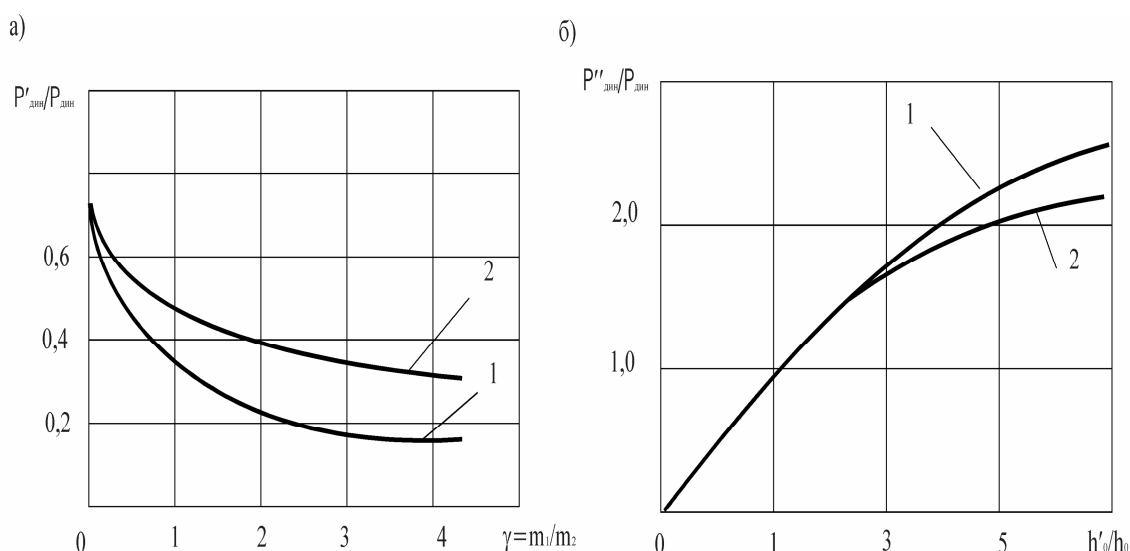


Рис. 4. График относительной зависимости динамических контактных нагрузок от массы опорной пластины и высоты загрузки: а - от массы опорной пластины; б - от высоты загрузки, 1- при $n=1$; 2- при $n=2$

В случае, когда кусок падает на пластину плоской гранью (рисунок 2, б), предполагаем грань достаточно плоской, то есть:

$$Z_1 \approx 0 \text{ и } Z_{1,2} = Z_2 = A' r^{2n} \dots,$$

где A' , n – постоянные, описывающие поверхность пластины.

4. Определение динамическую контактную нагрузку

Используя формулу (4) с подстановкой значений A и n , что несколько упрощает действительную картину соударения, но вполне достаточно для практических расчетов. Таким образом, можно считать, что величина $P_{дин}$ известна. Характер распределения давления по области контакта в плоской и осесимметричных задачах одинаков [10]. Заменяя в решении для объемной задачи $P_{дин}$ на $P'_{дин}/d$, где d – длина контакта, запишем уравнение распределения давления $q(x)$ по области контакта (r заменено на x):

$$q(x) = \frac{\left[\frac{2n+1}{2n} \cdot \frac{1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)}{2n} \cdot \frac{\pi(v_1 + v_2)}{2A'} P \right]^{\frac{2n-1}{2n+1}}}{\pi^2(v_1 + v_2)} \cdot \left[\frac{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot \dots \cdot 2n}{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n-1)} \right] P^n \left(\frac{x}{a} \right), \quad (5)$$

где $0 \leq x \leq a$ (a – ширина контакта).

Если описать поверхность опорной пластины кривой вида $Z = A'x^2$, то есть кривой второго порядка (при $n=1$) и учесть, что $v_{nl} \gg v_{zp}$, можно формулу (5) упростить ($v_{nl} = v$):

$$q(x) = 4,4(A'/v)^{0,66} (q'_{дин})^{0,66} q_n(x/a),$$

тогда максимальное значение $q(x)$ соответствующее $x=0$ (только для $n=1$), равно

$$q_{max}(0) = 2,2 \left(\frac{A'}{v} \right)^{0,66} \left(P'_{дин} \right)^{0,66}.$$

Если q_{max} будет больше допустимого значения для опорных пластин, то произойдет деформация оси или самой пластины, что необходимо учитывать при проектировании или эксплуатации цепных конвейеров.

Транспортная система как система разных видов транспорта обладает эргерджентными свойствами, не присущими составляющим ее элементам и проявляющимися при образовании системы из двух и более видов транспорта. Поэтому для промышленного транспорта необходима координация подсистем для повышения использования всей промышленной транспортной системы. Кроме того, создание крупных промышленных комплексов вызывает необходимость в применении промышленного транспорта, обеспечивающего непрерывную взаимосвязь промышленных предприятий комплекса, так как территориально промышленный транспорт разобщен и подчинен отдельным организациям, предприятиям и объединениям [13].

Различные виды транспорта имеют свои наиболее эффективные сферы применения с учетом комплекса условий производства грузооборота, топографии, расстояния перемещения.

Исследования показывают [13], что наибольший эффект автомобильный транспорт дает при перевозках до 0,5 млн. т на расстояние 5...10 км, канатно-подвесной – 0,5...0,25 млн. т на расстояние до 10...12 км, конвейерный – при перевозке от 1 до 50 млн. т на расстояние до 15 км. При больших значениях расстояния и объема перевозок целесообразно применять железнодорожный транспорт. Однако условия производства, вид перевозимого груза, его физические свойства изменяют сферы применения различных видов транспорта. Вопрос о выборе того или иного вида транспорта должен решаться при проектных разработках. Для промышленных районов республики разрабатываются генеральные схемы комплексного развития промышленного железнодорожного транспорта с учетом взаимодействия с другими видами транспорта.

При расчетах параметров технического оснащения грузового комплекса определяются: количество и суммарная производительность средств механизации и автоматиза-

ции погрузочно-разгрузочных работ; производительность средств транспортирования грузов от фронта и к фронту работ; емкость складов; длина погрузочно-разгрузочных путей; перерабатывающая способность грузового комплекса, т.е. наибольшее количества тонн (вагонов, автомобилей) груза, которое может быть погружено или выгружено за сутки или рабочую смену при имеющемся техническом оснащении и рациональной технологии его использования.

При выборе параметров основных элементов карьерных специальных транспортных средств, предназначенных для транспортирования скальных крупнокусовых грузов, большое значение имеет характеристика поступающего грузопотока: вероятностный характер поступления различных по крупности фракций грузов, размеры и форма наиболее крупных кусков и ряд других показателей, которые необходимы для определения воздействия грузов на элементы транспортных средств. Процесс поступления на транспортные средства крупнокусовых грузов носит случайный характер, то есть в силу своей природы является случайной функцией времени, следовательно, теоретические и практические расчеты элементов транспортных средств на возмущения должны основываться на вероятностных методах расчета.

5. Заключение

Таким образом, выполненный анализ, позволяет сделать следующие рекомендации по конструктивному исполнению мест загрузки пластинчатых конвейеров для крупнокусовых грузов:

1. При погрузке крупнокусовых скальных грузов на пластинчатые конвейеры возникают значительные динамические контактные нагрузки в месте удара, которые часто приводят к повреждениям грузонесущего полотна, особенно они возрастают, когда груз падает на опорные пластины. Величина давления в области контакта зависит от формы и массы ударяемого груза, высоты падения, жесткости грузонесущего полотна и конвейерного става.

2. Уменьшение масс, участвующих в соударении значительно снижает динамические нагрузки и при заданной массе куска грузов снижение нагрузок может быть достигнуто путем уменьшения массы опорных и смежных с ним пластин, участвующих в соударении, введя амортизирующие элементы в опоры става.

3. При увеличении жесткости опорной пластины заметно возрастают контактные нагрузки, особенно для остроугольных кусков груза, для ее снижения необходимо применение специальных резиновых покрытий пластин или подсыпки мелочи загружаемых грузов.

4. При применении специальных амортизирующих грузоприемных устройств необходимо, чтобы они работали в режиме компенсации, чтобы разгрузить тяговые цепи от возможных динамических воздействий.

5. При соударении груза, особенно с опорной пластиной возникают упругие колебания и количество энергии [11], идущая на волновой процесс, зависящая от отношения начальной скорости \mathcal{V}_0 к скорости распространения волн C_0 должна быть учтена при определении сил взаимодействия и интенсивности напряжений.

6. Исследования волнового процесса при соударении показывает [12], что сила взаимодействия P_{\max} уменьшается на (20...30) %, интенсивность напряжения достигает максимума в момент достижения P_{\max} и превышает максимальное значение напряжения $\sigma_{из}$, достигаемое позже. Значение напряжений σ_i при учете волнового характера уда-

ра меньше напряжения σ_i (неволевого уравнения) также на 30 %. Таким образом, волновые процессы при соударении груза с опорными пластинами пластинчатых конвейеров значительно снижает величину P_{\max} и σ_i .

ЛИТЕРАТУРА

1. Малыбаев С. К., Тазабеков И. И., Данияров Н. А., Балгабеков Т. К. Повышение эффективности эксплуатации транспортных систем на карьерах. // *Машиностроение и техносфера 21 века, Сборник трудов, 13 международный научно-технической конференции, том 3, 11-16 сентября 2006г. в городе Севастополе, – Донецк: 2006., – С.306–309.*
2. Малыбаев С. К., Тазабеков И. И., Данияров Н. А., Балгабеков Т. К. и др. Факторы среды, определяющие условия работы горных машин. // *Прогрессивные технологии и системы машиностроения, Донецкий национальный технический университет, Международный сборник научных трудов, – № 37, – Донецк: 2009. – С.143–147.*
3. Балгабеков Т. К. Горнометаллургический комплекс Казахстана. Обеспечение перевозочным процессом. Республиканский научный журнал. Темиртау, Карагандинский государственный индустриальный университет, 2011. – С.23–28.
4. Балгабеков Т. К., Данияров Н. А., Акашев А. З., Балабаев О. Т. Обеспечение перевозочного процесса на горнометаллургическом комплексе Казахстана. Проблемы карьерного транспорта. Материалы XI Международной научно-практической конференции. 12–14 октября 2011г. – Екатеринбург: УрО РАН, – С.22–28.
5. Тазабеков И. И., Данияров Н. А., Балгабеков Т. К. Регулируемый привод магистральных цепных конвейеров. – Караганда: КарГТУ, 2009. – 185с.
6. Данияров А. Н., Малыбаев С. К. Исследование динамических нагрузок в узле загрузки пластинчатых конвейеров // *Горный журнал. Изв. ВУЗов. 1973. – №12, – С. 85–89.*
7. Сагинов А. С., Данияров А. Н., Акашев З. Т. Основы проектирования и расчета пластинчатых карьерных конвейеров. - Алма-Ата: Наука, 1984. – 328с.
8. Галин Л. А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. – М.: Наука, 1980. – 304с.
9. Кильчевский Н. А. Теория соударения твердых тел. 2 -е изд., перераб. – Киев: Наукова думка, 1969. – 246с.
10. Штаерман И. Я. Контактная задача теории упругости. – М.: – Л.: Госгортехиздат, 1949. – 270с.
11. Тимошенко С. П., Янг Д. Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле / Пер. с англ. Л. Г. Корнейчука. Под ред. Э. И. Григальюка. – М.: Машиностроение, 1985. – 472с.
12. Данияров А. Н., Малыбаев С. К. Результаты испытаний специальных загрузочных секции пластинчатых конвейеров // В кн.: Шахтный и карьерный транспорт. Вып. 1. – М.: Недра, 1974. – С.250–254.
13. Малыбаев С. К., Балгабеков Т. К. Организация движения железнодорожного транспорта: Учебное пособие. – Астана: Фолиант, 2010. – 272с.

Поступила в редколлегию 04.12.2015 г.