

УДК 629.44

С. М. ВАСИЛЬЕВ, ассистент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## ЗАВИСИМОСТЬ УСКОРЕНИЙ ГРУЗА ОТ ПАРАМЕТРОВ ГРАВИТАЦИОННЫХ ТУРНИКЕТНО-КРЕПЁЖНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ СОУДАРЕНИЯХ ЕДИНИЦ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Выполнено моделирование силовых характеристик катковых, ползковых и клиновых турникетно-крепёжных устройств. Составлена математическая модель для исследования динамических воздействий на длинномерные грузы, укрепленные различными способами на опорных вагонах, при различных вариантах соударения опорных вагонов с другими единицами подвижного состава. Определена расчетная схема для анализа влияния параметров крепёжных устройств на повреждаемость вагонов и длинномерных грузов. Получены зависимости максимального продольного ускорения груза от параметров катковых, ползковых и клиновых турникетно-крепёжных устройств.

Стремление снизить уровень динамических воздействий на длинномерный груз и опорные вагоны сцепы при ударном взаимодействии последнего с другими единицами подвижного состава, и тем самым повысить сохранность вагонов и грузов, привело к созданию так называемых подвижных турникетно-крепёжных устройств (ТКУ). Использование таких устройств позволяет выполнять обе опоры длинномерного груза на вагоны подвижно-центрируемыми, допускающими более или менее значительный сдвиг груза относительно опорных вагонов в продольном направлении и обеспечивающими последующее его возвращение после удара в первоначальное положение.

Известна большая группа гравитационных устройств, работоспособность которых обеспечивается за счёт использования собственного веса перевозимого груза. Возвращающая сила в таких устройствах образуется за счёт повышения уровня центра опирающихся на них масс, обеспечивающегося кинематическим путем при их горизонтальном отклонении из равновесного положения. В настоящее время известны следующие разновидности гравитационных устройств: катковые, ползковые, клиновые, секторные, маятниковые и колесные.

Совершенствованию методов расчета продольных инертных сил, передаваемых грузам при соударении вагонов, посвящен ряд работ А. Д. Малова, В. А. Каблукова, И. К. Мороза, А. В. Шатунова, В. А. Калашника, А. Д. Железнякова, Б. Г. Кеглина, Е. Ф. Стуся, Г. Б. Крайзгура, Г. В. Костина, В. А. Лазаряна, Е. П. Блохина, Л. А. Манашкина и др. [2–8, 11, 12, 14].

Следует указать на недостаточность исследований динамики систем «вагон – груз» с подвижными ТКУ, поскольку при рассмотрении подобных задач прибегали к значительному упрощению расчетных схем. Развитие вычислительной техники позволяет разрешать сложные механические сис-

темы, поэтому выбор расчетных схем для моделирования процессов соударений должен реализовывать адекватные реальным условиям математические модели.

**Силовые характеристики подвижных опорно-крепёжных устройств.** Рассмотрим работу подвижной опоры произвольного вида в механической системе «опорные вагоны – груз». В процессе соударения исходное положение груза относительно опорных вагонов восстанавливается за счёт действия на него возвращающей силы, функционально зависящей в общем случае от относительного перемещения груза и опорных вагонов. Под силовой характеристикой некоторого устройства, передающего нагрузку от одного элемента механической системы другому, понимается зависимость указанной нагрузки от относительных перемещений этих элементов. Таким образом, силовая характеристика подвижной опоры крепёжного устройства может быть представлена силовой диаграммой зависимости продольной нагрузки  $N$  (она же возвращающая сила для консервативной системы, передающаяся грузу через эту опору) от продольных относительных груза и опорного вагона  $\Delta$  при заданном законе движения элементов механической системы в процессе соударения. В общем случае направления действия передаваемой нагрузки и относительных перемещений могут не совпадать между собой, поэтому для устройств, предназначенных для работы вдоль определённого направления, рассматриваемую зависимость целесообразно представить в проекциях нагрузки и перемещений на указанное направление.

Ввиду того, что в подвижных гравитационных опорах консервативная возвращающая сила при перемещениях груза относительно опорных вагонов в продольном направлении возникает вследствие подъёма груза, задачей аналитического определения силовых характеристик подвижной опоры является установление количественной зависимо-

сти между законом движения центра тяжести груза в вертикальной продольной плоскости и продольными силами, сообщаемыми грузу через эту опору. Деформациями рессорных комплектов опорных вагонов, а также угловыми смещениями груза за счёт возможного изменения уровней его опор в процессе соударения пренебрегаем. В этом случае можно считать, что груз при соударении вагонов перемещается поступательно, и все точки груза повторяют траекторию движения его центра тяжести. Исходя из этого, при определении силовых характеристик отдельных подвижных опор ТКУ или опорно-крепёжных устройств (ОКУ) груз можно представить в виде материальной точки с массой  $m$ , находящейся на рассматриваемую опору.

Уравнение динамической силовой характеристики подвижной опоры гравитационного крепёжного устройства выглядит следующим образом:

$$N = m \left( g + \frac{d^2 H}{d\Delta^2} (\Delta')^2 + \frac{dH}{d\Delta} \Delta'' \right) \frac{\frac{dH}{d\Delta} + \mu \operatorname{sign} \Delta'}{1 - \mu \frac{dH}{d\Delta} \operatorname{sign} \Delta'}, \quad (1)$$

где  $H$  – величина подъёма груза;  $\Delta$  – продольное перемещение груза относительно указанного вагона;  $\operatorname{sign} \Delta'$  – знак скорости, равный  $+1$  при  $\Delta' \geq 0$  и  $-1$  при  $\Delta' < 0$ ;  $g$  – ускорение свободного падения.

Как видно из этого уравнения, продольная нагрузка, сообщаемая грузу со стороны подвижной опоры гравитационного устройства, зависит от траектории относительных перемещений груза и опорных вагонов, их скорости и ускорения, а также от массы груза и неконсервативных сил сопротивления его перемещениям.

Значение приведенного коэффициента трения между грузом и опорой  $\mu$  принимается равным: для клиновых и ползковых устройств – коэффициенту трения скольжения на опорных поверхностях, т. е.  $\mu = \mu_c$ ; для катковых устройств – эквивалентному коэффициенту сопротивления  $\mu_k$ .

Полученное уравнение (1) динамической силовой характеристики гравитационной опоры произвольного типа использовано для определения динамических силовых характеристик устройств конкретных типов. Динамическая силовая характеристика катковой опоры с цилиндрическими профилями катка и опорных элементов записывается в математическом пакете Mathcad следующим образом:

$$N_{\text{кат}}(R, r, \mu, m, \Delta, \Delta', \Delta'') := mg + \frac{4(R-r)^2}{[4(R-r)^2 - \Delta^2]^{\frac{3}{2}}} + \frac{\Delta \Delta''}{\sqrt{4(R-r)^2 - \Delta^2}} \times$$

$$\times \frac{\frac{\Delta}{\sqrt{4(R-r)^2 - \Delta^2}} + \mu \operatorname{sign}(\Delta')}{1 - \mu \frac{\Delta}{\sqrt{4(R-r)^2 - \Delta^2}} \operatorname{sign}(\Delta')}, \quad (2)$$

где  $R$  – радиус опорных поверхностей, м;  $r$  – радиус тела качения (катка), м.

Силовая характеристика гравитационной опоры ползкового или роликового типа:

$$N_{\text{полт}}(R, r, \mu, m, \Delta, \Delta', \Delta'') := mg + \frac{R^2}{(R-r)^{\frac{3}{2}}} + \frac{\Delta \Delta''}{\sqrt{R-\Delta^2}} \times \frac{\frac{\Delta}{\sqrt{R^2 - \Delta^2}} + \mu \operatorname{sign}(\Delta')}{1 - \mu \frac{\Delta}{\sqrt{R^2 - \Delta^2}} \operatorname{sign}(\Delta')}, \quad (3)$$

где  $R$  – радиус опорной поверхности, м.

Силовая характеристика гравитационной опоры клинового типа:

$$N_{\text{кл}}(\alpha, \mu, m, \Delta, \Delta', \Delta'') := m(g + \tan(\alpha) \Delta'') \frac{\tan(\alpha) + \mu \operatorname{sign}(\Delta')}{1 - \mu \tan(\alpha) \operatorname{sign}(\Delta')}, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – угол наклона к горизонту опорных поверхностей.

**Моделирование различных вариантов соударения вагонов.** В реальных условиях возможны различные варианты соударения вагона или сцепа вагонов с другими единицами подвижного состава. В эксплуатации наиболее вероятным является соударение набегающего вагона или сцепа с другими вагонами, находящимися в составе неподвижной группы.

Составим математическую модель соударения для многомассовой механической системы. При выводе дифференциальных уравнений приняты следующие исходные предпосылки и допущения:

- начало отсчета каждой из координат  $x_i$ , определяющих положение элементов системы, соответствует моменту соприкосновения первого по ходу вагона сцепа со стенкой;
- груз и вагон стенки считаются твердыми телами;
- массы вагонов и груза сосредоточены в их центрах масс;
- угловыми перемещениями вагонов и груза пренебрегаем;
- вертикальными перемещениями вагонов за счет деформации рессорного подвешивания пренебрегаем;
- сопротивление перекачиванию набегающих вагонов при соударении не учитывается.

Пользуясь принципом Даламбера, запишем математическую модель соударения в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} -m_1 x_1'' = P_{12} + P_{14} + N_{13}; \\ -m_2 x_2'' = P_{21} + N_{23}; \\ -m_3 x_3'' = N_{31} + N_{32}; \\ -m_4 x_4'' = P_{41} + P_{45} + F_4 \operatorname{sign} x_4'; \\ \dots \\ -m_i x_i'' = P_{i,i-1} + P_{i,i+1} + F_i \operatorname{sign} x_i'; \\ \dots \\ -m_n x_n'' = P_{n,n-1} + P_{n,n+1} + F_n \operatorname{sign} x_n', \end{array} \right. \quad (5)$$

где  $m_1, m_2$  – массы первого и второго по ходу движения вагонов сцепа;  $m_3$  – масса груза;  $m_4$  – масса первого вагона стенки;  $m_i$  – масса  $i$ -го вагона стенки, начиная со второго;  $x_i$  – координата центра масс  $i$ -го элемента системы, отсчитываемая от его положения в начальный момент соударения;  $P$  – сила реакции межвагонных связей;  $N_{31}, N_{32}$  – сила продольной реакции опор на вагонах 1 и 2 соответственно;  $F_i$  – сила сопротивления перемещениям  $i$ -го вагона, образующего стенку;  $\operatorname{sign} x_4'$  – знак скорости, равный  $+1$  при  $x_i > 0$  и  $-1$  при  $x_i < 0$ .

Моделирование силовой характеристики межвагонной связи можно осуществить в соответствии с [13].

Система уравнений (5) справедлива для различных расчётных вариантов соударения одного вагона и сцепа вагонов с группой заторможенных вагонов. В случае набегания при ударе одного вагона с грузом принимаем  $P_{21} = 0; N_{23} = 0$ . Второе уравнение системы (5) автоматически исключается. При соударении вагона или сцепа с неподвижной преградой используются первые три уравнения системы при  $x_4 = 0$  в течение всего удара.

В случае соударения с одним вагоном, упирающимся в неподвижную преграду, движение

описывается первыми четырьмя уравнениями при  $x_5 = 0$  в течение всего процесса соударения. При отсутствии неподвижного упора дополнительно следует принять  $P_{45} = 0$ . Наконец при соударениях сцепа или вагона с  $n$ , где  $n > 4$ , вагонами стенки используются все уравнения системы (5). В этих уравнениях величины, имеющие индекс (или хотя бы один из индексов)  $i$ , больше  $n$ , равны нулю.

В качестве начальных условий соударения можно принять:

$$t = 0; x_1(0) = x_2(0) = x_3(0) = \dots = x_i(0) = \dots = x_n(0) = 0;$$

$$x_1'(0) = x_2'(0) = x_3'(0) = v;$$

$$x_4'(0) = x_5'(0) = \dots = x_i'(0) = \dots = x_n'(0) = 0,$$

где  $v$  – начальная скорость соударения, соответствующая скорости движения набегающего вагона или сцепа в момент соприкосновения с первым вагоном стенки.

**Выбор расчётной схемы соударения.** В качестве критерия для сравнения различных схем крепления груза могут быть выбраны величины продольных сил и ускорений, воспринимаемых грузом при ударном взаимодействии вагонов, на которых он размещён, с другими единицами подвижного состава [7, 8, 11, 12].

В таблице 1 приведены основные результаты моделирования соударения сцепа (груз размещён на двух платформах с использованием катковых ТКУ) о различное количество последовательно соединённых вагонов с упором для следующих исходных данных: масса вагонов сцепа – 22400 кг, масса груза – 60000 кг, масса каждого из вагонов стенки – 60000 кг, радиус опорных поверхностей каткового ТКУ – 0,6 м, радиус тела качения (катка) ТКУ – 0,1 м, коэффициент трения ТКУ – 0,1, скорость сцепа в момент соударения – 1,39 м/с.

Таблица 1 – Максимальные значения величин при моделировании соударений сцепа с различным количеством вагонов «стенки»

Показатель	Количество вагонов в стенке					
	0	1	2	3	4	5
1 Сила взаимодействия груза с первым вагоном сцепа, кН	196,3	179,6	162,0	143,5	140,8	140,8
2 Сила взаимодействия груза со вторым вагоном сцепа, кН	172,7	163,4	147,1	129,5	125,6	125,0
3 Сила взаимодействия вагона сцепа с первым вагоном стенки (для 0 вагонов – с упором), кН	1025,0	757,0	710,1	710,1	710,1	710,1
4 Сила, действующая на груз, кН	368,5	342,1	308,3	270,2	265,4	265,4
5 Процент уменьшения силы, действующей на груз, по сравнению с предыдущим вариантом, %	–	7,16	9,88	12,36	1,78	0,00
6 Ускорение груза, м/с <sup>2</sup>	6,14	5,70	5,14	4,50	4,42	4,42
7 Перемещение груза относительно первого вагона сцепа, м	0,22	0,20	0,17	0,14	0,14	0,14
8 Перемещение груза относительно второго вагона сцепа, м	0,19	0,17	0,15	0,12	0,11	0,11

Из строк 4 и 5 таблицы 1 видно, что величина силы, действующей на груз, уточняется в сторону уменьшения по мере увеличения количества вагонов «стенки». При переходах между вариантами: с 0 и 1, 1 и 2, 2 и 3 вагонами «стенки» происходит существенное уточнение величины силы (от 7 до 12 %); с 3 и 4 вагонами «стенки» уточнение несущественное (1,78 %); с 4 и 5 вагонами «стенки» заметного уточнения показателя не происходит (0,00 %).

Таким образом, для проведения расчётов и анализа по определению влияния параметров крепёжных устройств на повреждаемость вагонов и длинномерных грузов целесообразно использовать расчётную схему соударения, в которой груз, укреплённый на сцепе из двух вагонов, соударяется о три последовательно соединённых вагона с упором. Дальнейшее увеличение числа вагонов «стенки» в расчётной схеме не даёт значимого уточнения результатов моделирования, а только увеличивает количество и продолжительность расчётов.

**Влияние параметров крепёжных устройств на повреждаемость длинномерных грузов.** На рисунках 1–3 приведены графики зависимостей максимального продольного ускорения груза от параметров катковых ТКУ; на рисунках 4–6 – от параметров ползковых ТКУ; на рисунках 7–8 – от параметров клиновых ТКУ. Для расчета принимались следующие исходные данные: масса каждого из вагонов сцепа – 22400 кг, масса каждого из вагонов стенки – 60000 кг.

На рисунке 3 видно, что по мере увеличения коэффициента трения  $\mu$  с 0 до 0,1 максимальное ускорение груза уменьшается, а затем при дальнейшем увеличении  $\mu$  с 0,1 до 0,4 ускорение увеличивается. Такую форму графика можно объяснить исходя из силовой характеристики каткового ТКУ [формула (2)] тем, что на ускорение груза влияет как коэффициент трения  $\mu$ , так и радиусы опорных поверхностей  $R$  и катка  $r$ . Если коэффициент трения  $\mu$  относительно мал, то решающее влияние на ускорение груза оказывает радиус опорных поверхностей ТКУ. Если же коэффициент трения  $\mu$  достаточно велик, то влияние радиуса опорных поверхностей  $R$  на ускорение груза становится менее заметным.

Представим себе катковое ТКУ. Чем выше закатывается каток по нижней опорной поверхности, тем больше ускорение (тем быстрее гасится скорость), максимальное значение которого достигается в верхней точке, куда докатывается каток, поскольку в этой точке наибольшая крутизна поверхности. Если постепенно увеличивать коэффициент трения  $\mu$  от 0 до 0,1, то по мере увеличения сопротивления движению катка из-за трения каток закатывается на всё меньшую и меньшую высоту, и соответственно уменьшается максимальное ускорение груза (т. е. чем больше коэффициент трения  $\mu$ , тем меньше величина ускорения, определяемая в данном случае радиусом опорной поверхности

$R$ ). Далее по мере дальнейшего увеличения коэффициента трения  $\mu$  амплитуда движений катка становится незначительной, и решающее влияние на максимальное ускорение оказывает коэффициент трения  $\mu$  (т. е. чем больше коэффициент трения  $\mu$ , тем больше величина ускорения груза, определяемая в данном случае трением).

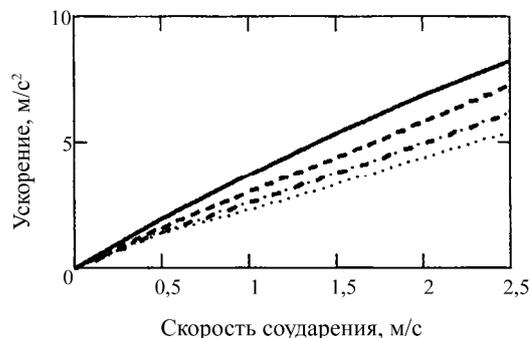


Рисунок 1 – Зависимость максимального ускорения груза при использовании катковых ТКУ от начальной скорости соударения  $v_0$  при различных значениях радиуса опорных поверхностей  $R$ : — при  $R=0,5$ ; - - - при  $R=1$ ; - · - · - при  $R=1,5$ ; ····· при  $R=2$

Начальные условия:  
 $v_0 := 0, 0,5 \dots 2,5$   $r := 0,1$   $\mu := 0,05$   $m_3 := 60000$

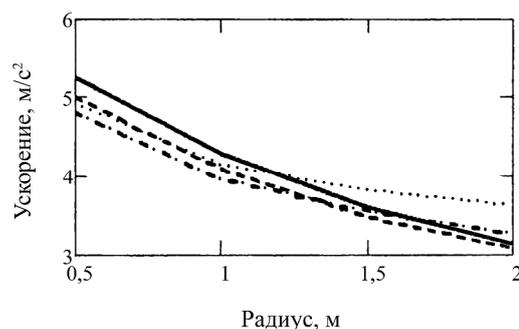


Рисунок 2 – Зависимость максимального ускорения груза при использовании катковых ТКУ от радиуса опорных поверхностей  $R$  при различных значениях коэффициента трения  $\mu$ :

— при  $\mu = 0,01$ ; - - - при  $\mu = 0,05$ ;  
 - · - · - при  $\mu = 0,1$ ; ····· при  $\mu = 0,15$ ;

Начальные условия:  
 $v_0 := 1,39$   $m_3 := 60000$   $r := 0,1$   $R := 0,5, 1 \dots 2$

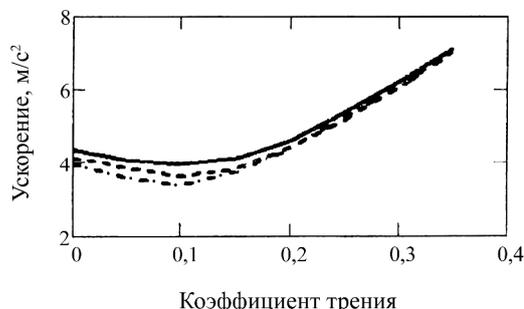


Рисунок 3 – Зависимость максимального ускорения груза при использовании катковых ТКУ от коэффициента трения  $\mu$  при различных значениях массы груза  $m_3$ :

— при  $m_3 = 60000$ ; - - - при  $m_3 = 90000$ ;  
 - · - · - при  $m_3 = 120000$

Начальные условия:  
 $v_0 := 1,39$   $r := 0,1$   $R := 1$   $\mu := 0, 0,05 \dots 0,35$

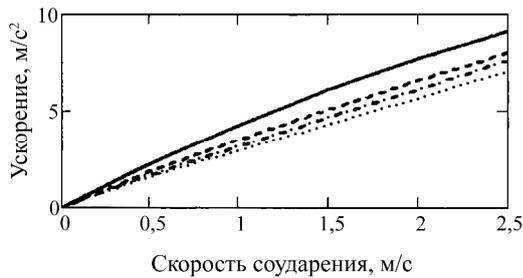


Рисунок 4 – Зависимость максимального ускорения груза при использовании ползковых ТКУ от начальной скорости соударения  $v_0$  при различных значениях радиуса опорной поверхности  $R$ :

— при  $R = 0,5$ ; - - - - - при  $R = 1$ ;  
 - · - · - при  $R = 1,5$ ; ······ при  $R = 2$   
 Начальные условия:  
 $v_0 := 0, 0,5 \dots 2,5$   $m_3 := 60000$   $\mu := 0,05$

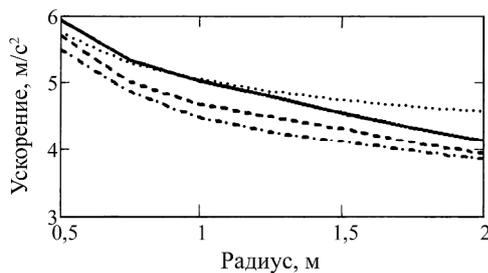


Рисунок 5 – Зависимость максимального ускорения груза при использовании ползковых ТКУ от радиуса опорной поверхности  $R$  при различных значениях коэффициента трения  $\mu$ :

— при  $\mu = 0,01$ ; - - - - - при  $\mu = 0,05$ ;  
 - · - · - при  $\mu = 0,1$ ; ······ при  $\mu = 0,2$   
 Начальные условия:  
 $v_0 := 1,39$   $m_3 := 60000$   $R := 0,5, 0,75 \dots 2$   $\mu = 0,05$

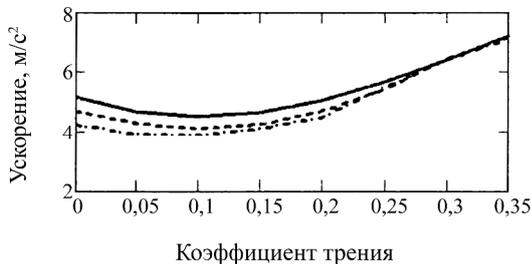


Рисунок 6 – Зависимость максимального ускорения груза при использовании ползковых ТКУ от коэффициента трения  $\mu$  при различных значениях массы груза  $m_3$ :

— при  $m_3 = 60000$ ; - - - - - при  $m_3 = 90000$ ;  
 - · - · - при  $m_3 = 120000$   
 Начальные условия:  
 $v_0 := 1,39$   $R := 1$   $\mu := 0, 0,05 \dots 0,35$

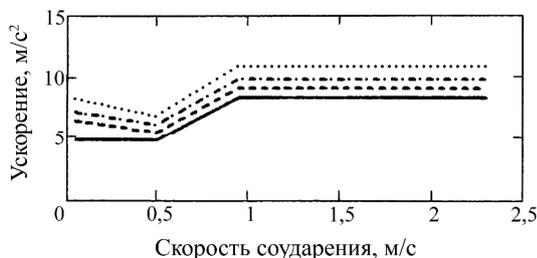


Рисунок 7 – Зависимость максимального ускорения груза при использовании клиновых ТКУ от начальной скорости соударения  $v_0$  при различных значениях угла наклона поверхностей  $\alpha$ :

— при  $\alpha = 0,02$ ; - - - - - при  $\alpha = 0,05$ ;  
 - · - · - при  $\alpha = 0,08$ ; ······ при  $\alpha = 0,12$   
 Начальные условия:  
 $v_0 := 0, 0,5 \dots 2,5$   $m_3 = 60000$   $\mu := 0,4$

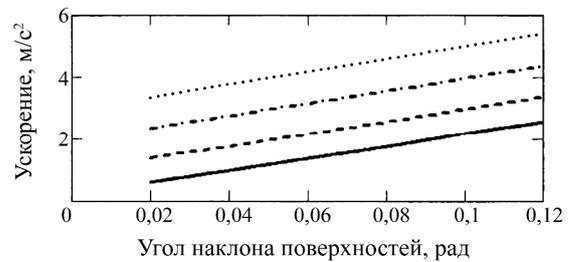


Рисунок 8 – Зависимость максимального ускорения груза при использовании клиновых ТКУ от угла наклона поверхностей  $\alpha$  при различных значениях коэффициента трения  $\mu$ :

— при  $\mu = 0,01$ ; - - - - - при  $\mu = 0,05$ ;  
 - · - · - при  $\mu = 0,1$ ; ······ при  $\mu = 0,15$   
 Начальные условия:  
 $v_0 := 1,39$   $m_3 := 60000$   $\alpha := 0,02, 0,04 \dots 0,12$

В реальных условиях возможны различные варианты соударения вагона или сцепа вагонов с другими единицами подвижного состава. Наиболее вероятным является соударение набегающего вагона или сцепа с другими вагонами, находящимися в составе неподвижной группы. Составлена математическая модель соударения в виде системы дифференциальных уравнений для многомассовой механической системы. На основе этой модели выполнены расчёты для случаев соударения сцепа (груз размещён на двух платформах с использованием катковых ТКУ) о различное количество последовательно соединённых вагонов с упором. В качестве критерия для сравнения различных схем крепления груза могут быть выбраны величины продольных сил и ускорений, воспринимаемых грузом при ударном взаимодействии вагонов, на которых он размещён, с другими единицами подвижного состава. Из расчётов видно, что для проведения расчётов и анализа по определению влияния параметров крепёжных устройств на повреждаемость вагонов и длинномерных грузов целесообразно использовать расчётную схему соударения, в которой груз, укрепленный на сцепе из двух вагонов, соударяется о три последовательно соединённых вагона с упором. Дальнейшее увеличение числа вагонов «стенки» в расчётной схеме не даёт значимого уточнения результатов моделирования, а только увеличивает количество расчётов.

Получены зависимости максимального продольного ускорения груза от параметров катковых, ползковых и клиновых ТКУ.

Из графика зависимости максимального ускорения груза от коэффициента трения видно, что по мере увеличения коэффициента трения  $\mu$  с 0 до 0,1 максимальное ускорение груза уменьшается, а затем, при дальнейшем увеличении  $\mu$  с 0,1 до 0,4, ускорение увеличивается. Такую форму графика можно объяснить исходя из силовой характеристики каткового ТКУ тем, что на ускорение груза влияет как коэффициент трения  $\mu$ , так и радиусы опорных поверхностей  $R$  и катка  $r$ . Если коэффициент

трения  $\mu$  относительно мал, то решающее влияние на ускорение груза оказывает радиус опорных поверхностей ТКУ.

Аналогичное явление можно наблюдать в ползковых устройствах (см. рисунок 6) и в других видах гравитационных ТКУ.

#### Список литературы

1 **Гончаров, Н. Г.** Перевозка негабаритных и тяжеловесных грузов / Н. Г. Гончаров, Г. П. Ефимов. – М., 1961. – 260 с.

2 **Каблуков, В. А.** Исследование продольной устойчивости металлопродукции при соударении вагонов / В. А. Каблуков, И. К. Мороз, А. В. Шатунов // Вопросы улучшения технического содержания вагонов и совершенствования ходовых частей: сб. науч. тр. / ДИИТ. – Днепропетровск, 1982. – Вып. 221/7. – С. 52–56.

3 **Калашник, В. А.** К вопросу оценки инерционных сил при перевозке металлопродукции на открытом подвижном составе / В. А. Калашник, И. К. Мороз, И. В. Шатунов // Вопросы улучшения технического содержания вагонов и совершенствования ходовых частей : сб. науч. тр. / ДИИТ. – Днепропетровск, 1984. – С. 73–77.

4 **Кеглин, Б. Г.** Динамика соударения платформ, нагруженных длинномерными незакрепленными грузами / Б. Г. Кеглин, Е. Ф. Стусь // Тр. БИТМ. – 1974.

5 **Костин, Г. В.** Перспективы применения амортизирующих устройств с подвижной хребтовой балкой на грузовых вагонах / Г. В. Костин // Тр. ВНИИЖТ. – 1981. – Вып. 639. – С. 70–74.

6 **Костин, Г. В.** Исследование динамики ударного взаимодействия вагонов с подвижными хребтовыми балками / Г. В. Костин // Тр. ВНИИЖТ. – 1970. – Вып. 425. – С. 86–95.

7 **Крайзгур, Г. Б.** О средствах продольной амортизации контейнерных платформ / Г. Б. Крайзгур, А. С. Лебедев, В. И. Угаров // Тр. ВНИИЖТ. – 1980. – Вып. 40. – С. 22–25.

8 **Лазарян, В. А.** Моделирование соударения сцепов из вагонов с подвижными хребтовыми балками / В. А. Лазарян, Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин // Тр. ДИИТ. – 1968. – Вып. 76. – С. 26–33.

9 **Малов, А. Д.** Крепление грузов на открытом подвижном составе для перевозки при высоких скоростях движения / А. Д. Малов // Тр. ВНИИЖТ. – 1965. – Вып. 294. – 166 с.

10 Размещение и крепление грузов в вагонах / А. Д. Малов [и др.]. – М., 1980. – 328 с.

11 **Малов, А. Д.** Исследование ускорений и перемещений грузов в вагонах / А. Д. Малов // Вестник ВНИИЖТ. – 1979. – № 4. – С. 50–55.

12 Исследование с помощью ЦВМ нагрузок, действующих на вагоны и амортизированные грузы при соударении сцепов и пуске в ход грузовых поездов / Л. А. Манашкин [и др.] // Проблемы механики наземного транспорта : тр. ДИИТ. – 1978. – Вып. 199/25. – С. 87–93.

13 **Никольский, Л. Н.** Амортизаторы удара подвижного состава / Л. Н. Никольский, Б. Г. Кеглин. – М. : Машиностроение, 1986. – 144 с.

14 Совершенствование способов размещения и крепления грузов в вагонах / под ред. А. Д. Малова. – М., 1970. – 136 с.

Получено 20.02.2008

**S. M. Vasilyeu.** Dependence of the cargo accelerations from parameters of gravitate fixing devices during impacts of rolling stock units.

The modeling is realized of power characteristics of rolling, skidding and chocking fixing devices. The mathematical model is realized for research of dynamic influences on the lengthy cargoes fixed in the various ways on basic cars, at various variants of impact of basic cars with other units of a rolling stock. The dependences of the maximal cargo accelerations from parameters of rolling, skidding and chocking fixing devices are researched.