

Влияние массы m_1 на частоту k_2 колебаний массы m_2 оценивают при помощи специального графика [2], по которому может быть определена величина погрешности при допущении, что собственная частота массы равна ее парциальной частоте.

Во многих случаях, при малых колебаниях парциальные частоты очень близки по величине собственным частотам [3], что значительно облегчает динамическое исследование подобных систем.

Выводы:

Приведенные расчеты позволяют определить собственные частоты колебаний подрессоренных масс подвижного состава, что является одной из главных задач при исследовании динамики транспортных средств. При известных собственных частотах колебаний представляется возможным на этапе проектирования подобрать параметры системы упругого подвешивания (массы, коэффициентов жесткости и диссипативных сопротивлений) исключающие возможность возникновения неустойчивых режимов движения при эксплуатации скоростных транспортных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. М., Наука, 1971, 240 с.
2. Ефремов И.С., Гушо-Малков Б.П. Теория и расчет механического оборудования подвижного состава городского электрического транспорта. М., Стройиздат, 1970, 480 с.
3. Мандельштам Л.И. Лекции по теории колебаний. М., Наука, 1989, 472 с.
4. Кожевников С.Н. Динамика нестационарных процессов в машинах, Киев, Наук. думка, 1996, 288 с.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК

УДК 656.212.6.073

Даусеитов Ерген Балгаевич – д.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)

Карташова Антонина Васильевна – к.т.н., ассистент (Шымкент, ЮКГУ)

Жумадилова Гулмира А. – магистрант (Алматы, КазАТК)

Карипбаева Айгерим Канатбековна – студентка группы ОПКДТ-06-12 (Алматы, КазАТК)

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЙ
ГРУЗА ПРИ ДЕЙСТВИИ ПРОДОЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ СИЛ**

Для обеспечения безопасности движения грузовых поездов и сохранности перевозимых на открытом подвижном составе (ОПС) различного рода грузов с плоским основанием, практически важным является разработка научно-обоснованной технологии их рационального размещения и крепления.

Известны следующие технологии креплений грузов с плоскими основаниями на ОПС [1]:

- крепление грузов в вагоне гибкими упругими креплениями (растяжки, обвязки);
- крепление грузов в вагоне упорными и распорными деревянными брусками;
- крепление грузов в вагоне стойками, щитами, турникетами и другими приспособлениями;
- крепление грузов в вагоне стандартными креплениями многоразового использования.

К сожалению, известные технологии креплений грузов с плоскими основаниями на ОПС до настоящего времени аналитически достаточно необоснованы.

На практике перевозки грузов больше всего используют первые две технологии. Рассмотрим аналитическое обоснование первых двух технологий.

Рассмотрим груз весом \bar{G} , который несимметрично (или симметрично) размещён относительно поперечной оси симметрии вагона, движущейся на спуск под углом ψ_0 (0.006 - 0.021 рад., что соответствует спуску в пределах от 6 до 21 ‰), как в режиме отпуска, так и в режиме служебного торможения (в частном случае, $\psi = 0$ – движение по прямому участку пути). Груз закреплён гибкими упругими креплениями (растяжка, обвязка) A_1M_1 и $A_{11}M_{11}$ (рисунок 1). Упорный деревянный брусок установлен и прикреплён к полу вагона на некотором расстоянии δx от торцевой поверхности груза. Предварительное натяжение гибких упругих креплений равно $R_0 = 20$ кН. В режимах, как резкого отпуска, так и служебного торможения вагона происходит явление «рыскания» вагона, характеризуемого углом ν_0 . Вагон движется поступательно со скоростью \bar{v}_e с продольными $\bar{a}_x = \bar{a}_{ex}$ и вертикальными $\bar{a}_z = \bar{a}_{ez}$ переносными ускорениями, возникающими в основном от волны неровности пути из-за отклонения норм его содержания.

На гибкие упругие крепления действуют продольные $\bar{I}_{ex} = \bar{I}_x$ и вертикальные $\bar{I}_{ez} = \bar{I}_z$ переносные силы инерции, а также сила аэродинамического сопротивления (ветровая) \bar{F}_e . Направление продольной составляющей относительной скорости воздуха $\bar{v}_x = \bar{v}_{xв}$ противоположно движению подвижного состава по прямому участку пути.

При составлении расчётной модели считаем для груза пол вагона *основной связью*, а гибкие упругие элементы креплений *дополнительными связями* (см. рисунок 1). Основная связь \bar{R} – *односторонняя*, она препятствует опусканию груза вниз от плоскости пола вагона, не препятствуя его движению вверх. Реакцию \bar{R} внешней связи разложим на нормальную \bar{N} и касательную \bar{F}_τ составляющие, т. е. $\bar{R} = \bar{N} + \bar{F}_\tau$. Касательную составляющую \bar{F}_τ , направленную по поверхности пола платформы, называем силой трения $\bar{F}_\tau = \bar{F}_{mp}$, определяемую законом Кулона. Координаты x_R, y_R (или x_N, y_N) – точки приложения реакции внешней связи \bar{R} (или \bar{N} и \bar{F}_{mp}) неизвестны и подлежат определению.

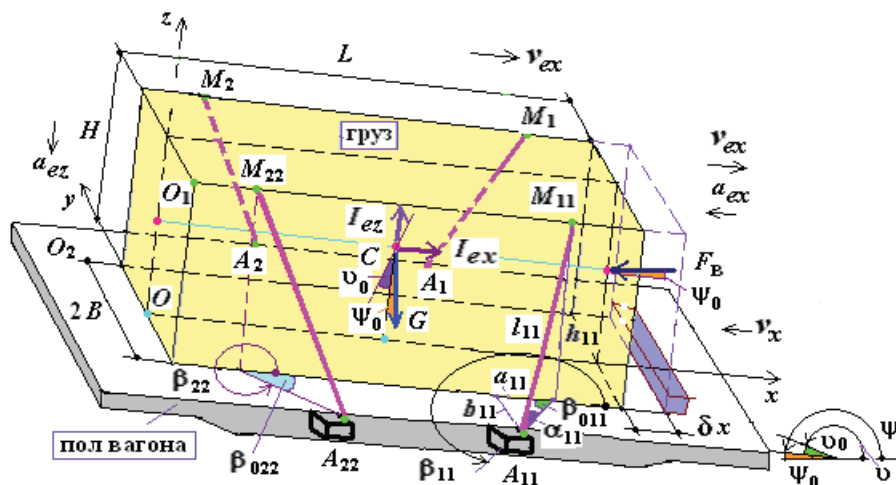


Рисунок 1 – Физическая модель размещения груза на вагоне, движущейся по прямому участку пути на спуск

Дополнительные связи (усилия гибких упругих креплений) являются *односторонними*, они препятствуют удалению монтажных петель груза (точки M_1 и M_{11}) от точек закрепления этих элементов (точки A_1 и A_{11}) при торможении поезда. В таких связях возникают реакции, направленные вдоль гибких упругих элементов к точкам их закрепления. В режиме резкого отпуска поезда груз от сдвига вдоль вагона удерживается дополнительными связями (гибкие упругие элементы креплений 2 и 22).

Пусть вагон движется поступательно со скоростью \bar{v}_e , поэтому ускорение Кориолиса при переносном поступательном движении равно нулю – $\bar{a}_c = 0$. Тогда относительное ускорение груза \bar{a}_r практически равно нулю, т. е. груз движется вместе с вагоном.

Основной закон относительного переносного движения груза описывается уравнением

$$M\bar{a}_r = \bar{F} + \bar{R} + \bar{I}_e.$$

Применительно к рассматриваемой задаче $\bar{F} = \bar{G}$ – активная сила, $\bar{R} = \bar{N} + \bar{F}_\tau$ – реактивная сила, $\bar{I}_e = \bar{I}_{ex}$ – продольная переносная сила инерции.

Запишем условие равновесия груза в относительном равновесии (покое):

- проекции сил на ось Ox

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0: I_{ex} + G_x - F_x - F_{\tau x} - F_{ax} = 0, \quad (1)$$

где G_x, F_x, F_{ax} – проекции веса груза, упругих сил i -х гибких упругих элементов креплений с учётом натяжений предварительных скруток креплений $R0_i$ и силы аэродинамического сопротивления на ось x , определяемые из выражений

$$G_x = G \sin(\psi_0 + \upsilon_0); F_x = \sum_{i=1}^{n_p} R_{ix} + \sum_{i=1}^{n_p} R0_{ix}; F_{ax} = F_a \cos(\psi_0 + \vartheta_0); \quad (1,a)$$

$F_{\tau x} = F_{mp.x}$ – неизвестная касательная составляющая реакции связи \bar{R} ;

- проекции сил на ось Oz

$$\sum_{k=1}^n F_{kz} = 0: -(G_z - I_{ez}) + N - F_z - F_{az} = 0, \quad (2)$$

где G_z, F_z, F_{az} – проекции веса груза, упругих сил i -х гибких упругих элементов креплений с учётом натяжений предварительных скруток креплений $R0_i$ и силы аэродинамического сопротивления на ось z , определяемые из выражений

$$G_z = G \cos(\psi_0 + \upsilon_0); F_z = \sum_{i=1}^{n_p} R_{iz} + \sum_{i=1}^{n_p} R0_{iz}; F_{az} = F_a \sin(\psi_0 + \vartheta_0); \quad (2,a)$$

N – неизвестная нормальная составляющая реакции связи \bar{R} .

Из (2) имеем

$$N = (G_z - I_{ez}) + F_z + F_{az}. \quad (3)$$

Согласно закону Кулона

$$\bar{F}_{mp} = F_{\alpha} \leq f\bar{N}, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения скольжения ($f = 0.7f_{\text{цп}}$, где $f_{\text{цп}}$ – коэффициент трения сцепления между контактирующими поверхностями груза и пола вагона).

Подставляя (3) в (4) с учётом формулы (2, а), найдём касательную составляющую реакции связи (т.е. силу трения по продольной оси вагона)

$$F_{\alpha} = f \left[(G \cos(\psi_0 + \nu_0) - I_{ez}) + \sum_{i=1}^{n_p} R_{iz} + \sum_{i=1}^{n_p} R0_{iz} + F_{\epsilon} \sin(\psi_0 + \vartheta_0) \right]. \quad (5)$$

Формулу (5) представим в виде

$$F_{\alpha} = F_{\alpha}^{ymp.i} + F_{\alpha}^e, \quad (6)$$

где $F_{\alpha}^{ymp.i}$ и F_{α}^e – силы трения упругих и внешних сил

$$F_{\alpha}^{ymp.i} = f \sum_{i=1}^{n_p} R_{iz}, \quad (6,a)$$

$$F_{\alpha}^e = f \left[(G \cos(\psi_0 + \nu_0) - I_{ez}) + \sum_{i=1}^{n_p} R0_{iz} + F_{\epsilon} \sin(\psi_0 + \vartheta_0) \right]. \quad (6,b)$$

Подставляя (1,а) в (1) с учётом (6), (6,а) и (6,б), после элементарных преобразований определим проекции упругих сил (натяжение) i -х гибких упругих креплений на ось x в виде

$$\sum_{i=1}^{n_p} R_{ix} + f \sum_{i=1}^{n_p} R_{iz} = \Delta F_x, \quad (7)$$

где $\Delta F_x = \Delta F_{mp}$ – продольные силы, воспринимаемые гибкими упругими креплениями груза

$$\begin{aligned} \Delta F_x = & I_{ex} + G(\sin(\psi_0 + \nu_0) - f \cos(\psi_0 + \nu_0)) + fI_{ez} - \\ & - \sum_{i=1}^{n_p} (R0_{ix} + fR0_{iz}) - F_{\epsilon} (\cos(\psi_0 + \vartheta_0) + f \sin(\psi_0 + \vartheta_0)). \end{aligned} \quad (8)$$

Вводя понятия «сдвигающих» и «удерживающих» сил [2], перепишем последнее выражение

$$\Delta F_x = F_{cd.} - F_{yd.}, \quad (9)$$

где

$$F_{cd.} = I_{ex} + G \sin(\psi_0 + \nu_0); \quad (10)$$

$$\begin{aligned} F_{yd.} = & f(G \cos(\psi_0 + \nu_0) - I_{ez}) + \sum_{i=1}^{n_p} (R0_{ix} + fR0_{iz}) + \\ & + F_{\epsilon} (\cos(\psi_0 + \vartheta_0) + f \sin(\psi_0 + \vartheta_0)). \end{aligned} \quad (11)$$

Для простоты решения задачи рассмотрим случай, когда груз, размещённый в вагоне, от перемещения вдоль вагона (Δx) удерживается гибкими упругими элементами креплений с жёсткостями c_i ($i = \overline{1, n_p}$ – количество гибких упругих элементов креплений), закреплёнными в j точках (причём $j \leq i$) одним концом за монтажные петли груза в точке M (рисунок 3), другим – за увязочные устройства вагона в точке A .

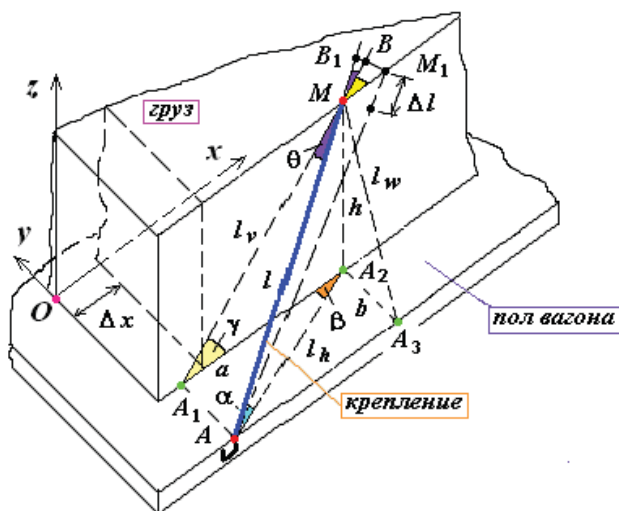


Рисунок 3 – Удлинение гибкого упругого элемента крепления из-за перемещения груза по продольной оси вагона

Из $\Delta A_1 A_2 M$ и $\Delta A M A_1$ имеем

$$\cos \gamma_i = \frac{a_i}{l_{vi}}, \quad \cos \theta_i = \frac{l_{vi}}{l_i}, \quad (12)$$

где a_i – проекция креплений на продольную ось x ; l_{vi} – проекции креплений на вертикальную плоскость V ; l_i – длина гибкого упругого элемента креплений (м)

$$l_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2 + h_i^2},$$

где b_i и h_i – проекции креплений на поперечную y и вертикальную z оси.

Предположим, что груз после «срыва» перемещается относительно пола вагона на величину Δx . Считаем, что точка закрепления груза M займёт положение M_1 , т. е. $MM_1 = \Delta x$, а проекция длины растяжки на вертикальную плоскость V станет равной $A_1 M_1 > A_1 M$.

Согласно методу определения деформаций при малых перемещениях, используя метод двойного проецирования так, как это делается в теоретической механике для произвольно расположенной силы ([3], [4]), определим конечное перемещение точки M . Из $\Delta M M_1 B$ и $\Delta M B B_1$ находим проекцию продольного перемещения груза Δx на «первоначальное» направление i -й отдельно взятой растяжки

$$M B_{1i} = \Delta l_i = \Delta x \cos \gamma_i \cos \theta_i,$$

или с учётом формул (12) имеем

$$\Delta l_i = \Delta x \frac{a_i}{l_i}. \quad (13)$$

Таким образом, удлинение в гибком упругом креплении произойдёт лишь тогда, когда происходит перемещение груза по продольной оси вагона на величину Δx .

В выражении (7) и (11) проекции упругих сил (натяжение) i -х гибких упругих креплений на продольную и вертикальную оси Ox и Oz определяются по формулам [3]

$$\sum_{i=1}^{n_p} R_{xi} = \sum_{i=1}^{n_p} c_i \frac{a_i}{l_i} \cdot \Delta x \cdot \frac{a_i}{l_i}; \quad \sum_{i=1}^{n_p} R0_{xi} = \sum_{i=1}^{n_p} R0_i \frac{a_i}{l_i}; \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^{n_p} R_{zi} = \sum_{i=1}^{n_p} c_i \frac{a_i}{l_i} \cdot \Delta x \cdot \frac{h_i}{l_i}; \quad \sum_{i=1}^{n_p} R0_{zi} = \sum_{i=1}^{n_p} R0_i \frac{h_i}{l_i}, \quad (15)$$

где c_i – жёсткость i -ого гибкого упругого крепления (кН/м).

В формулах (14) и (15) жёсткость на растяжение i -ого гибкого упругого крепления (кН/м) с количеством нитей n_i (шт.)

$$c_i = C_i \frac{n_i}{l_i}. \quad (16)$$

где $C_i = \frac{10^{-6} \pi E}{4} d_i^2 = 7.854 \cdot d_i^2$ – величина, зависящая от заданного значения диаметра проволоки креплений d_i (мм) и имеющая размерность силы (кН).

Подставляя (14) и (15) в (7), далее в (16) после преобразования находим перемещение груза продольной оси вагона

$$\Delta x = \frac{\Delta F_x}{7.854 d_i^2 \sum_{i=1}^{n_p} \frac{n_i}{l_i} \left(f \frac{h_i}{l_i} + \frac{a_i}{l_i} \right) \cdot \frac{a_i}{l_i}}, \quad (17)$$

где $\Delta F_x = \Delta F_{np}$ – продольная сила, определяемая формулой (9) с учётом (15) и (16).

При решении практических задач с использованием формулы (17) примем, что максимальные нормативные значения продольных переносных ускорений $\bar{a}_{ex}^{\max} = \bar{a}_{ex}$ равны $a_{ex} = 0.3g$ – на прямом участке пути, $a_{ex} = (0.7 - 1.2)g$ – при служебном торможении, $a_{ex} = (1.2 - 2)g$ – при соударениях вагонов на подгорочном парке, а вертикальных переносных ускорений $\bar{a}_{ez}^{\max} = \bar{a}_{ez}$, появляющихся из-за отклонения норм содержания пути, – $a_{ez} = (0.46 - 0.66)g$.

В соответствии с этим можно принять $I_{ex} = 0.3G$ – на прямом участке пути, $I_{ex} = (0.7 - 1.2)G$ – при служебном торможении, $I_{ex} = (1.2 - 2)G$ – при соударениях вагонов на подгорочном парке и $I_{ez} = (0.4 - 0.66)G$.

Утверждение 1. Перемещение груза по продольной оси вагона произойдёт (т. е. $\Delta x > 0$) лишь тогда, когда $\Delta F_{np} > 0$ (т.е. $F_{cd} > F_{yd}$).

Утверждение 2. Разрыв гибких упругих креплений не произойдёт лишь тогда, когда соблюдается условие $\delta x = \Delta x \leq [\Delta x]$, где $[\Delta x]$ – допустимое значение перемещения груза по продольной оси вагона (мм), определяемое по значению $[R_i]$.

По найденному значению перемещения груза по продольной оси вагона (Δx) определим усилие (натяжение) R_i в i -м гибком упругом креплении (кН)

$$R_{ypp.i} = C_i \Delta x \sum_{i=1}^{n_p} \frac{n_i}{l_i} \cdot \frac{a_i}{l_i} \leq [R_i] \quad (18)$$

где $[R_i]$ – допустимое значение натяжения в креплениях, определяемое по табл. 20 ТУ в зависимости от количества нитей n_i и диаметра проволоки d_i .

Выводы:

Результаты аналитического обоснования технологии креплений груза при действии продольных и вертикальных сил (математического моделирования креплений груза) при несимметричном (симметричном) размещении центра масс относительно поперечной оси симметрии вагона позволяют сделать следующие важные для практики рекомендации.

1. Обязательное выполнение расчёта перемещения груза по продольной оси вагона.
2. Перемещение груза по продольной оси вагона следует определять по формуле (17).
3. Усилие R_i в i -х гибких упругих креплениях от воздействия продольных и вертикальных сил следует определять по формуле (18).

ЛИТЕРАТУРА

1. Приложение 14 к СМГС «Правила размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах». – М.: Планета, 2005. – 191 с.
2. Комаров К.Л., Яшин А.Ф. Теоретическая механика в задачах железнодорожного транспорта. – Новосибирск: Наука, 2004. – 296 с.
3. Даусеитов Е.Б. Математическое моделирование продольного смещения груза при движении поезда под уклон в режиме служебного торможения // Вестник инженерной академии РК, Алматы, 2005, №1, с.13-20.
4. Бутенин Н. В., Лунц Я. Л., Меркин Д. Р. Курс теоретической механики в двух томах. СПб.: Лань, 1998. 736 с.

УДК 656.212.6.073

Даусеитов Ерген Балгаевич – д.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)
 Ихиева Майя Айтжановна – магистрант (Алматы, КазАТК)
 Тансыкбаева Айгуль – магистрант (Алматы, КазАТК)

**ОЦЕНКА НАГРУЗОЧНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ КРЕПЛЕНИЯ
 НЕСИММЕТРИЧНО РАЗМЕЩЕННОГО ГРУЗА ПРИ ДВИЖЕНИИ
 ПОЕЗДА ПО КРИВОМУ УЧАСТКУ ПУТИ**

При несимметричном размещении груза при движении поезда по кривому участку пути возникает необходимость оценки нагрузочных способностей крепления груза.

Исследуем нагрузочные способности гибких креплений при несимметричном размещении груза в вагоне при прохождении поездом кривых участков пути, на основе аналитических формул, полученных в работе [1] в среде MathCAD [2].

Тяжеловесный груз размещен в вагоне со смещением общего центра тяжести поперек вагона ($\pm M$) (рисунок 1), допустимое значение которого определяется по таблице 10 [3] в зависимости от веса груза Q .

В общем случае считали, что на механическую систему «груз–крепление–вагон» действуют поперечные (Φ_y, Φ_n и W_y) и вертикальные (Φ_z) силы. Груз прикреплен к вагону проволочными растяжками диаметром $\varnothing 6$ мм и числом нитей $n = 6$. Предварительные