

УДК 656.025

https://doi.org/10.33619/2414-2948/69/28

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ, ПЕРЕВОЗИМОЙ НА ПЛАТФОРМЕ ПРИ НАЛИЧИИ ГИБКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЙ

©Ситников С. А., ORCID: 0000-0002-7653-6587, канд. техн. наук, Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Россия, SSitnikov@usurt.ru

## DETERMINATION OF THE STABILITY OF WHEELED VEHICLES TRANSPORTED ON THE PLATFORM IN THE PRESENCE OF FLEXIBLE MOUNTING ELEMENTS

©Sitnikov S., ORCID: 0000-0002-7653-6587, Ph.D., Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia, SSitnikov@usurt.ru

*Аннотация.* В статье рассмотрена возможность оценки устойчивости колесной техники или вагона с колесной техникой при наличии гибких элементов креплений. Дана косвенная оценка влияния вертикальных колебаний груза от воздействия неровностей профиля пути на устойчивость груза в процессе перевозки.

*Abstract.* The article considers the possibility of assessing the stability of wheeled vehicles or wagons with wheeled vehicles in the presence of flexible mounting elements. An indirect assessment of the influence of vertical fluctuations of the cargo from the impact of the roughness of the track profile on the stability of the cargo during transportation is given.

*Ключевые слова:* вагон, платформа, колесная техника, груз, упорные бруски, гибкие элементы крепления, сдвиг груза поперек вагона, устойчивость груза и вагона с грузом.

*Keywords:* car, platform, wheeled equipment, cargo, thrust bars, flexible fastening elements, load shift across the car, stability of the load and the car with the load.

*Актуальность темы.* В источнике [1] приведены результаты расчета потери устойчивости груза (на примере колесной техники) относительно опоры  $A$  и вагона с грузом относительно опоры  $B$ , выполненные согласно методике ТУ [2], для неблагоприятного их состояния. Это состояние соответствует случаю, когда полностью разрушены упорные элементы внутреннего (т. е. реакция упорных элементов  $R_{бр,y} = 0$ ) и гибкие элементы наружного направления (т. е. усилия предварительных скруток проволоки  $R_{0iy} = R_{0iz} = 0$  и гибких элементов креплений  $R_{iy} = R_{iz} = 0$ ). Согласно результатам исследований [1], устойчивость груза и вагона с грузом при этих условиях не обеспечена ( $\eta < 1,0$ ). Тем самым подвергнута сомнению оценка устойчивости груза и вагона с грузом по методике ТУ [2].

В связи с этим полагаем, что исследование устойчивости колесной техники, закрепленной гибкими элементами креплений при определенных условиях ( $R_{0iy} \neq 0$ ,  $R_{0iz} \neq 0$  и  $R_{iy} \neq 0$ ,  $R_{iz} \neq 0$ ) является актуальной задачей для транспортной науки.

*Формулировка задачи.* На конкретном примере инженерного расчета необходимо доказать возможность оценки устойчивости колесной техники или вагона с колесной техникой при наличии гибких элементов креплений.

*Пример расчета.* Для примера, как и в [1], рассмотрим устойчивость колесной техники (груза) силой тяжести  $G = 610$  кН (в качестве примера рассмотрен автомобиль КАТО НК 750

YS-L на сцепе из двух железнодорожных платформ) с упорными брусками и гибкими элементами крепления (Рисунок 1).

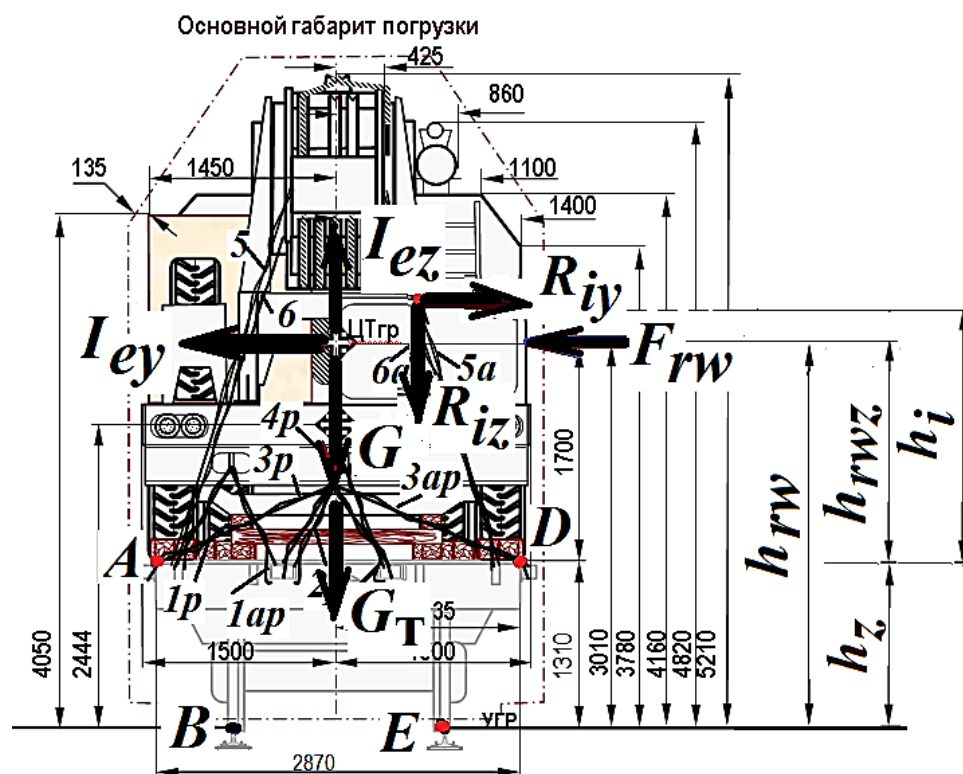


Рисунок 1. Вид с торца вагона

На Рисунке 1 обозначено:  $G$  — сила тяжести груза;  $I_{ey}$  и  $I_{ez}$  — поперечная и вертикальная переносные силы инерции, условно приложенные к центру масс груза [3, 4];  $h_{цт}$  — высота центра масс груза от пола вагона;  $F_{rw}$  — сила аэродинамического сопротивления (ветровая нагрузка) [4];  $h_{rwz}$  — высота точки приложения силы аэродинамического сопротивления от пола вагона;  $G_0 = G + G_T$  — суммарная сила тяжести груза и порожнего вагона;  $S$  — половина расстояния между кругами катания колесных пар (790 мм) [5];  $h_z$  — высота пола вагона от уровня головки рельса (УГР);  $h_{rw}$  — высота точки приложения силы аэродинамического сопротивления от УГР;  $R_{iy}$  и  $R_{iz}$  — проекции усилий в гибких элементах крепления на поперечную и вертикальную оси соответственно;  $h_i$  — расстояние от пола вагона до грузовых проушин (петель) груза [5–8];  $A$  и  $B$  — опоры (точки) контактов груза с боковой стороной вагона,  $D$  и  $E$  — точки контакта гребней колес колесной пары с рельсовыми нитями.

Особо отметим, что на Рисунке 1 направление вертикальной переносной силы инерции  $I_{ez}$ , которая условно приложена к центру масс груза, соответствует неблагоприятному случаю для груза [3]. Поскольку в этом случае  $I_{ez}$  способствует опрокидыванию груза и вагона с грузом.

*Условия задания.* Условия задания и физико-геометрические параметры крепления груза такие же, как и в источниках [7–8].

Параметры гибких элементов креплений заданы и приняты на основе чертежа схемы погрузки и крепления груза. Направления проекций векторов натяжений условно

обозначены: влево — в сторону внутренней рельсовой нити; вправо — наружной рельсовой нити.

1. Физические и геометрические параметры гибких элементов крепления:  $E = 1 \cdot 10^7$  — модуль упругости гибких элементов крепления с учетом скрутки проволоки, кН/м<sup>2</sup> [3];  $d = 6$  — диаметр проволоки упругого элемента крепления, мм;  $n = 8$  — количество нитей проволоки гибкого элемента крепления, шт.;  $R_0 = 20$  — принятое среднее значение усилия предварительных скруток проволоки крепления, кН [9, 10].

2. Вычисленные по данным чертежа значения проекции гибких элементов крепления на продольную ось вагона, м [7–8]:

– внутреннего направления

$a_1 = 1,205$ ;  $a_2 = 1,205$ ;  $a_3 = 1,205$ ;  $a_4 = 1,205$ ;  $a_5 = 0,197$ ;  $a_6 = 1,709$ ;  $a_{1a} = 1,205$ ;  $a_{2a} = 1,205$ ;  $a_{3a} = 1,205$ ;  $a_{4a} = 1,205$ ;  $a_{5a} = 0,197$ ;  $a_{6a} = 1,709$ ;

– наружного направления

$a_{1p} = 1,205$ ;  $a_{2p} = 0,701$ ;  $a_{3p} = 2,213$ ;  $a_{4p} = 1,709$ ;  $a_{5p} = 0$ ;  $a_{6p} = 0$ ;  $a_{1ap} = 0,701$ ;  $a_{2ap} = 0,701$ ;  $a_{3ap} = 2,213$ ;  $a_{4ap} = 1,709$ ;  $a_{5ap} = 0$ ;  $a_{6ap} = 0$ .

3. Вычисленные по данным чертежа значения проекции гибких элементов крепления на поперечную ось вагона, м [6–9]:

– внутреннего направления

$b_1 = 0$ ;  $b_2 = 1,573$ ;  $b_3 = 0,303$ ;  $b_{1p} = 0,363$ ;  $b_{2p} = 0,484$ ;  $b_{3p} = 0,363$ ;  $b_4 = 0,242$ ;  $b_{4p} = 1,331$ ;  $b_5 = 0,968$ ;  $b_{5p} = 0$ ;  $b_6 = 0,968$ ;  $b_{6p} = 0$ ;

– наружного направления

$b_{1a} = 0$ ;  $b_{2a} = 1,573$ ;  $b_{3a} = 0,303$ ;  $b_{1ap} = 0,363$ ;  $b_{2ap} = 0,242$ ;  $b_{3ap} = 0,363$ ;  $b_{4a} = 0,242$ ;  $b_{4ap} = 1,331$ ;  $b_{5a} = 0,363$ ;  $b_{5ap} = 0$ ;  $b_{6a} = 0,242$ ;  $b_{6ap} = 0$ .

4. Вычисленные по данным чертежа (схемы погрузки груза) значения проекции гибких элементов крепления на вертикальную ось, м:

– внутреннего направления

$h_1 = 0,846$ ;  $h_2 = 0,846$ ;  $h_3 = 1,34$ ;  $h_{1p} = 0,987$ ;  $h_{2p} = 0,987$ ;  $h_{3p} = 0,423$ ;  $h_4 = 0,846$ ;  $h_{4p} = 0,423$ ;  $h_5 = 2,82$ ;  $h_{5p} = 0$ ;  $h_6 = 2,82$ ;  $h_{6p} = 0$ .

– наружного направления

$h_{1a} = 0,846$ ;  $h_{2a} = 0,846$ ;  $h_{3a} = 1,34$ ;  $h_{1ap} = 0,987$ ;  $h_{2ap} = 0,987$ ;  $h_{3ap} = 0,423$ ;  $h_{4a} = 0,846$ ;  $h_{4ap} = 0,423$ ;  $h_{5a} = 2,82$ ;  $h_{5ap} = 0$ ;  $h_{6a} = 2,82$ ;  $h_{6ap} = 0$ .

5. Длина упругих элементов крепления, м:

$l_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2 + h_1^2}$   $l_1 = 1,472$ ;  $l_2 = \sqrt{a_2^2 + b_2^2 + h_2^2}$   $l_2 = 2,155$  и т.д.

Вычисленные значения длин упругих элементов крепления, м:

– внутреннего направления

$l_1 = 1,472$ ;  $l_2 = 2,155$ ;  $l_3 = 1,827$ ;  $l_{1p} = 1,599$ ;  $l_{2p} = 1,304$ ;  $l_{3p} = 2,282$ ;  $l_4 = 1,492$ ;  $l_{4p} = 1,765$ ;  $l_5 = 2,988$ ;  $l_{5p} = 0$ ;  $l_6 = 3,437$ ;  $l_{6p} = 0$ .

– наружного направления

$l_{1a} = 1,472$ ;  $l_{2a} = 2,155$ ;  $l_{3a} = 1,827$ ;  $l_{1ap} = 1,264$ ;  $l_{2ap} = 1,235$ ;  $l_{3ap} = 2,282$ ;  $l_{4a} = 1,492$ ;  $l_{4ap} = 1,765$ ;  $l_{5a} = 2,988$ ;  $l_{5ap} = 0$ ;  $l_{6a} = 3,437$ ;  $l_{6ap} = 0$ .

*Формулы устойчивости груза и вагона с грузом относительно одной из опор.*

Исследуем реальные случаи перевозки грузов, при которых от воздействия поперечных сил ( $I_{ey}$  и  $F_{rw}$ ) естественным является сдвиг груза поперек вагона ( $\Delta y \neq 0$ ), когда полностью разрушены упорные элементы наружного направления, прибитые вплотную к боковой стороне груза (т. е. реакция упорных брусков  $R_{ср,y} = 0$ ), с сохранением гибких элементов креплений внутреннего направления. Будем учитывать проекции гибких элементов

креплений внутреннего направления  $R_i$  и усилий предварительных скруток проволоки крепления  $R_{0i}$  на поперечную и вертикальную оси, т. е.  $R_{0iy} \neq 0$ ,  $R_{0iz} \neq 0$  и  $R_{iy} \neq 0$ ,  $R_{iz} \neq 0$  (см. Рисунок 1).

Вводя понятия «удерживающих» и «опрокидывающих» моментов поперечных и вертикальных сил относительно опоры  $A$  ( $M_{y\partial y}^A$  и  $M_{опр.y}^A$ ) и  $B$  ( $M_{y\partial y}^B$  и  $M_{опр.y}^B$ ) при наличии сдвига груза поперек вагона ( $\Delta y \neq 0$ ) в случае, когда общий центр масс груза размещен со смещением поперек вагона ( $b_{см}$ ), получим следующие формулы [3, 4]:

– для груза:

$$M_{уд.y}^A = G[(l_{гр.} \pm b_{см}) - \Delta y] + \sum_{i=1}^6 (R_{0i} + R_i) \frac{h_i}{l_i} [(l_{гр.} \pm b_{см}) + B_B - (\Delta y + b_i)] \sum_{i=1}^6 (R_{0i} + R_i) \frac{b_i}{l_i} h_i; \quad (1)$$

$$M_{опр.y}^A = I_{ey} h_{цт} + I_{ez} (l_{гр.} \pm b_{см}) + F_{rw} h_{rwz}. \quad (2)$$

– для вагона с грузом:

$$M_{уд.y}^B = G_0[(S \pm b_{см}) - \Delta y] + \sum_{i=1}^6 (R_{0i} + R_i) \frac{h_i}{l_i} [(S \pm b_{см}) + B_B - (\Delta y + b_i)] \sum_{i=1}^6 (R_{0i} + R_i) \frac{b_i}{l_i} (h_i + h_z); \quad (3)$$

$$M_{опр.y}^B = I_{ey} (h_{цт} + h_z) + I_{ez} [(S \pm b_{см}) - \Delta y] + F_{rw} h_{rw}. \quad (4)$$

Здесь обозначено:  $b_{см}$  — смещение общего центра масс груза относительно продольной оси симметрии вагона (знак «плюс» в сторону внутренней рельсовой нити, а «минус» — наружной рельсовой нити), м;  $\Delta y$  — сдвиг груза поперек вагона, м;  $R_{0iy}$  и  $R_{0iz}$  — проекции усилий предварительных скруток проволоки крепления на поперечную и вертикальную оси, кН;  $R_{iy}$  и  $R_{iz}$  — проекции гибких элементов креплений внутреннего направления на поперечную и вертикальную оси, кН;  $B_B$  — половина ширины вагона (для платформы 1440 или 1435 мм), м. Отметим, что значения  $\Delta y$ ,  $R_{0iy}$  и  $R_{0iz}$ ,  $R_{iy}$  и  $R_{iz}$ , как и в [6-8], вычисляются на основе [10, 11]. В частном случае, когда груз от поперечного сдвига удерживается ( $\Delta y = 0$ ) упорными элементами крепления наружного направления (т. е. имеет место реакция бруска  $R_{бр.y} \neq 0$  и), то из (1) и (2) исключаются  $R_{iy}$  и  $R_{iz}$  с сохранением  $R_{0iy}$  и  $R_{0iz}$  (т. е.  $R_{0iy} \neq 0$  и  $R_{0iz} \neq 0$  и  $R_{iy} = R_{iz} = 0$ ).

*Исходные данные примера расчета.* Исходные данные примера расчета следующие [5, 6]:  $b_{см} = 0$  (т. е. без смещения);  $G = 610$ ,  $G_T = 220$  и  $G_0 = G + G_T = 830$  кН;  $B_B = 1,435$  м;  $S = 0,79$  м;  $B_B = 1,435$  м;  $h_{цт} = 1,7$  м;  $h_T = 0,8$  м;  $H_{цто} = 2,44$  м;  $h_{rwz} = 1,7$  м;  $h_z = 1,31$  м;  $h_{rw} = 3,01$  м;  $l_{гр} = 1,435$  м;  $I_{ey} = 317,2$  и  $I_{ez} = 378,2$  кН;  $v_B = 28,4$  м/с;  $F_B = F_{rw} = 1,435$  кН;  $\Delta y = 0,104$  — сдвиг груза поперек вагона (после выдергивания крепежных элементов упорных брусков наружного направления), м. Все обозначения соответствуют обозначениям (Рисунок 1).

*Результаты вычислительных экспериментов.* 1. Исследуем реальные случаи перевозки грузов при наличии сдвига груза поперек вагона ( $\Delta y \neq 0$ ), когда полностью разрушены упорные элементы крепления наружного направления ( $R_{бр.y} = 0$ ), прибитые вплотную к боковой стороне груза, с сохранением гибких элементов крепления внутреннего направления (т. е.  $R_{0iy} \neq 0$ ,  $R_{0iz} \neq 0$  и  $R_{iy} \neq 0$ ,  $R_{iz} \neq 0$ ) (см. рис. 1). Приводим результаты расчетов устойчивости груза относительно опоры  $A$  ( $\eta_{Ay}$ ), которые представлены в виде макета-документа на основе (1) и (2) [10, 11].

$$k_{дy} = 0.52 \quad k_{дz} = 0.62 \quad l_{гр} = 1.39 \quad \Delta y_{01} := 0.104 \quad B_B = 1.435$$

$$\begin{aligned} \text{МудAy} := & G \cdot (l_{гр} - \Delta y_{01}) + (R_{01} + R_{п1}) \cdot \left(\frac{h_1}{l_1}\right) \cdot [l_{гр} + B_B - (\Delta y_{01} + b_1)] \dots \\ & + (R_{01p} + R_{п1p}) \cdot \left(\frac{h_{1p}}{l_{1p}}\right) \cdot [l_{гр} + B_B - (\Delta y_{01} + b_{1p})] \\ & + (R_{06} + R_{п6}) \cdot \left(\frac{h_6}{l_6}\right) \cdot [l_{гр} + B_B - (\Delta y_{01} + b_6)] \dots \\ & + (R_{06p} + R_{п6p}) \cdot \left(\frac{h_{6p}}{l_{6p}}\right) \cdot [l_{гр} + B_B - (\Delta y_{01} + b_{6p})] \dots \\ & + \left[ (R_{01} + R_{п1}) \cdot \frac{b_1}{l_1} \cdot h_1 + (R_{01p} + R_{п1p}) \cdot \frac{b_{1p}}{l_{1p}} \cdot h_{1p} \dots \right] \\ & + \left[ (R_{06} + R_{п6}) \cdot \frac{b_6}{l_6} \cdot h_6 + (R_{06p} + R_{п6p}) \cdot \frac{b_{6p}}{l_{6p}} \cdot h_{6p} \right] \end{aligned}$$

МудAy = 1.645×10<sup>3</sup> – удерживающий момент, кН.м

МопрAy := Iey·hцт + Iez·lгр + Frw·hrwz – опрокидывающий момент, кН.м

МопрAy = 1.105×10<sup>3</sup>

$\eta_{Ay} := \frac{\text{МудAy}}{\text{МопрAy}}$  — коэффициент устойчивости груза относительно опоры А при сдвиге

поперек вагона:

$$\eta_{Ay} = 1.489.$$

Отсюда очевидно, что груз относительно опоры А при учете поперечного сдвига груза при заданных исходных данных, характеризующих состояние пути, учитываемых через коэффициенты поперечной и вертикальной динамики вагона ( $k_{дy} = 0,52$  и  $k_{дz} = 0,62$ ), устойчив ( $\eta > 1,25$ ).

В частном случае, когда  $\Delta y = 0$ ,  $R_{0iy} \neq 0$ ,  $R_{0iz} \neq 0$  и  $R_{iy} = R_{iz} = 0$ :  $\eta_{Ay} = 1,066$ , т. е. груз находится на границе устойчивости ( $\eta \approx 1,0$ ).

2. Изложим результаты расчета потери устойчивости вагона с грузом относительно опоры В ( $\eta_{By}$ ) при сдвиге груза поперек вагона ( $\Delta y \neq 0$ ), представляя их в виде макета-документа на основе (3) и (4):

$$k_{дy} = 0.52 \quad k_{дz} = 0.62 \quad l_{гр} = 1.39 \quad \Delta y_{01} := 0.104 \quad B_B = 1.435$$

$$\begin{aligned} \text{МудBy} := & G_0 \cdot (S - \Delta y_{01}) + (R_{01} + R_{п1}) \cdot \left(\frac{h_1}{l_1}\right) \cdot [S + B_B - (\Delta y_{01} + b_1)] \dots \\ & + (R_{01p} + R_{п1p}) \cdot \left(\frac{h_{1p}}{l_{1p}}\right) \cdot [S + B_B - (\Delta y_{01} + b_{1p})] \dots \\ & \dots \dots \dots \\ & + (R_{06} + R_{п6}) \cdot \left(\frac{h_6}{l_6}\right) \cdot [S + B_B - (\Delta y_{01} + b_6)] \dots \\ & + (R_{06p} + R_{п6p}) \cdot \left(\frac{h_{6p}}{l_{6p}}\right) \cdot [S + B_B - (\Delta y_{01} + b_{6p})] \\ & + \left[ (R_{01} + R_{п1}) \cdot \frac{b_1}{l_1} \cdot (h_1 + h_z) + (R_{01p} + R_{п1p}) \cdot \frac{b_{1p}}{l_{1p}} \cdot (h_{1p} + h_z) \dots \right] \\ & + \left[ (R_{06} + R_{п6}) \cdot \frac{b_6}{l_6} \cdot (h_6 + h_z) + (R_{06p} + R_{п6p}) \cdot \frac{b_{6p}}{l_{6p}} \cdot (h_{6p} + h_z) \right] \end{aligned}$$

МудBy = 1.587×10<sup>3</sup> – удерживающий момент, кН.м

МопрBy := Iey·(hцт + hz) + Iez·(S - Δy01 + Frw·hrw

$M_{опрВу} = 1.285 \times 10^3$  – опрокидывающий момент, кН.м

$\eta_{Ву} := \frac{M_{удВу}}{M_{опрВу}}$  – коэффициент устойчивости вагона с грузом относительно опоры В при

сдвиге поперек вагона:

$$\eta_{Ву} = 1.235.$$

Анализируя полученные результаты вычислительных экспериментов потери устойчивости вагона с грузом относительно опоры В ( $\eta_{Ву}$ ) при сдвиге груза поперек вагона ( $\Delta y \neq 0$ ) можно отметить следующее. Вагон с грузом находится в устойчивом состоянии ( $\eta \approx 1,25$ ), если состояние профиля пути характеризуется коэффициентами поперечной и вертикальной динамики вагона не превышающих значений  $k_{д.у} = 0,52$  и  $k_{д.з} = 0,62$  [3]. В частном случае, когда  $\Delta y = 0$ ,  $R_{0iy} \neq 0$ ,  $R_{0iz} \neq 0$  и  $R_{iy} = R_{iz} = 0$ :  $\eta_{Ву} = 0,754$ , вагон с грузом находится в неустойчивом состоянии ( $\eta < 1,0$ ). Такой результат, безусловно, угрожает безопасности перевозочного процесса. Для обеспечения гарантированной безопасности перевозочного процесса в этом случае требуется обеспечить нормальное состояние пути, либо уменьшить скорость движения поезда. Эти меры будут способствовать уменьшению величин коэффициентов поперечной  $k_{д.у}$  и вертикальной динамики вагона  $k_{д.з}$ , при которых  $I_{ey}$  и  $I_{ez}$  — поперечная и вертикальная переносные силы инерции будут иметь меньшие значения.

3. Рассмотрим случай, когда состояние пути (или скорость движения подвижного состава) можно имитировать различными сочетаниями величин коэффициентов поперечной и вертикальной динамики вагона,  $k_{д.у}$  и  $k_{д.з}$ . Результаты вычислительных экспериментов представлены в Таблице 1.

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

$k_{д.у}$	$k_{д.з}$	$\Delta y,$ м	$\Delta y = 0$		$\Delta y > 0$	
			$R_{0i} > 0, R_i = 0$		$R_{0i} > 0, R_i > 0$	
			$\eta_A$	$\eta_B$	$\eta_A$	$\eta_B$
0,52	0,62	0,104	1,0	0,67	1,16	0,82
0,49	0,57	0,091	1,14	0,71	1,22	0,836
0,46	0,52	0,077	1,15	0,76	1,29	0,87
0,41	0,49	0,059	1,3	0,88	1,5	1,05
0,36	0,49	0,044	1,42	1,03	1,67	1,3
0,36	0,46	0,041	1,47	1,05	1,7	1,32
0,3	0,46	0,022	1,59	1,19	1,73	1,35

Для наглядности по данным Таблицы 1 построены следующие диаграммы и графики зависимости возможного смещения груза и коэффициента устойчивости груза (вагона с грузом) от величины коэффициентов поперечной и вертикальной динамики вагона.

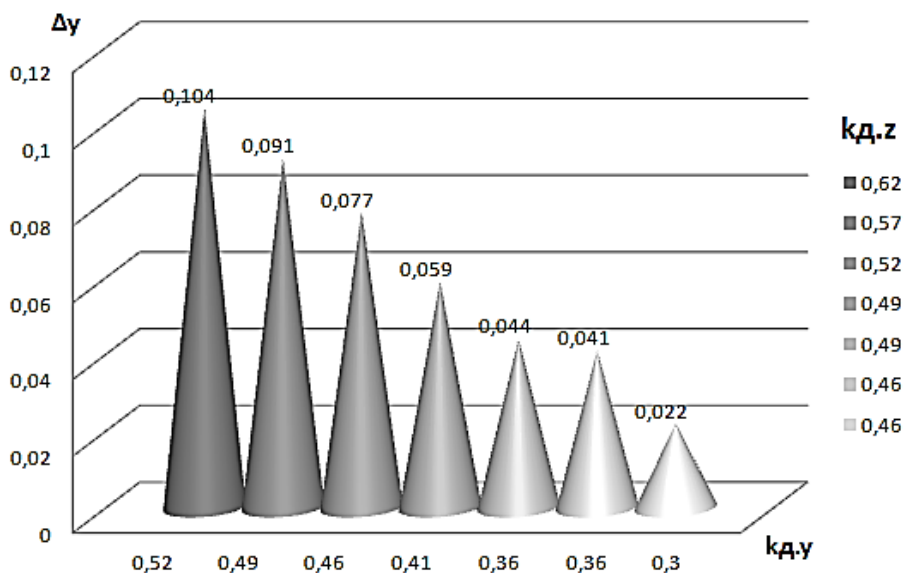


Рисунок 2. Диаграмма зависимости  $\Delta y = f(k_{d,y}, k_{d,z})$

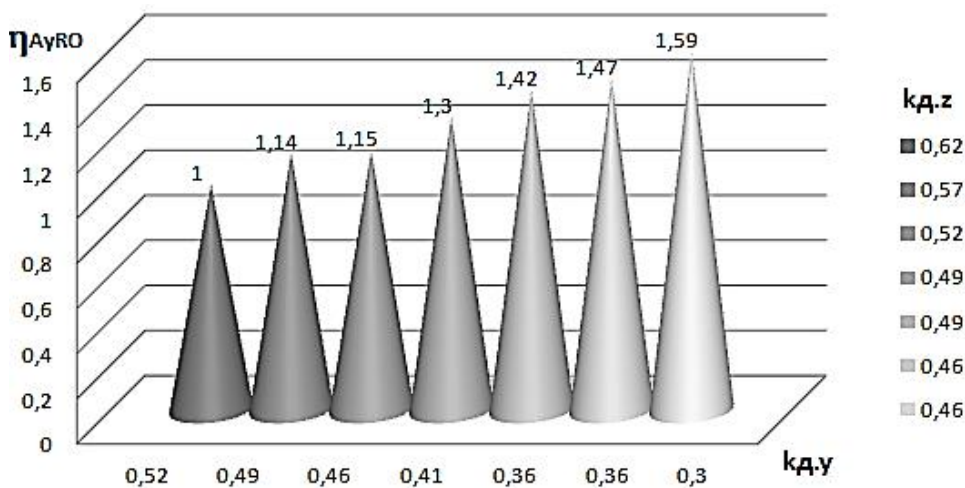


Рисунок 3. Диаграмма зависимости  $\eta_{AyR0} = f(k_{d,y}, k_{d,z})$  при  $R0_i \neq 0, R_i = 0$

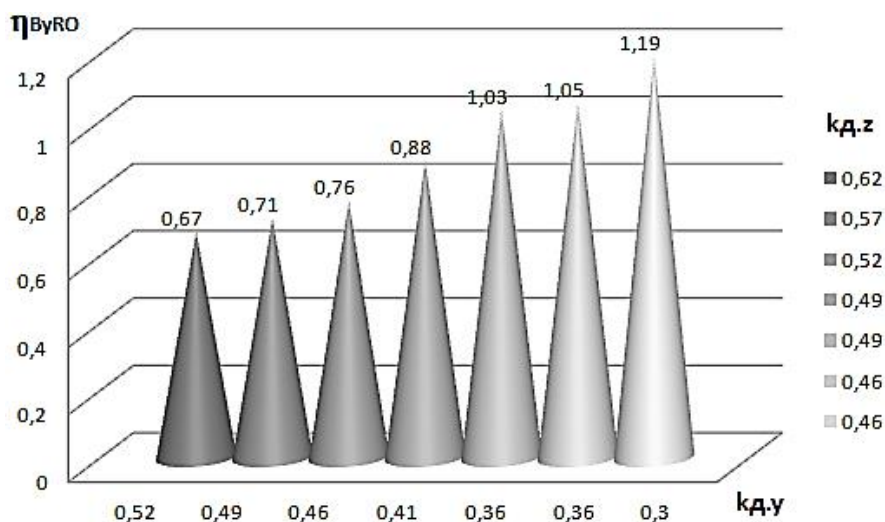


Рисунок 4. Диаграмма зависимости  $\eta_{ByR0} = f(k_{d,y}, k_{d,z})$  при  $R0_i \neq 0, R_i = 0$

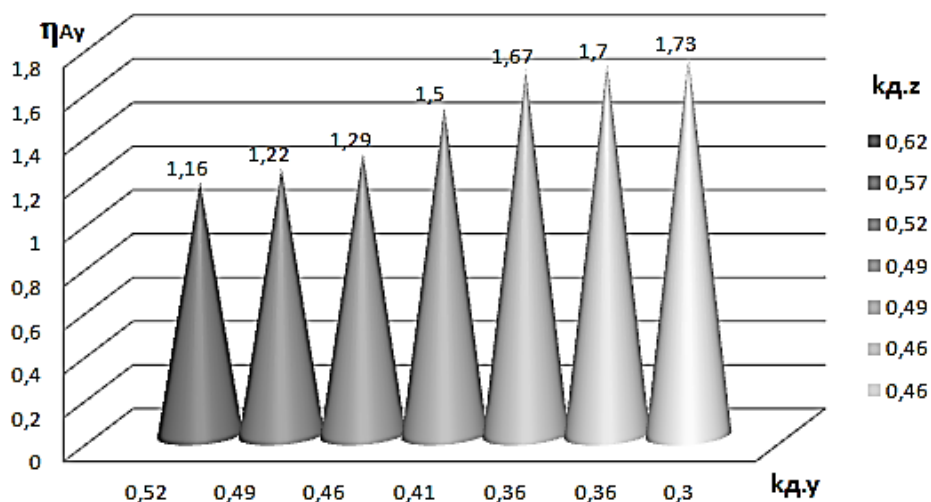


Рисунок 5. Диаграмма зависимости  $\eta_{Ay} = f(k_{Ay}, k_{Az})$  при  $RO_i \neq 0, R_i \neq 0$

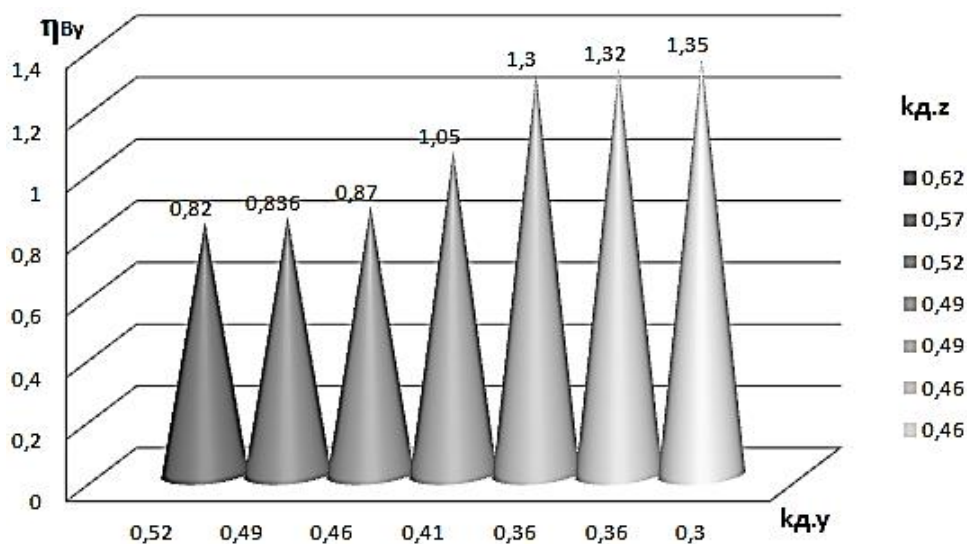


Рисунок 6. Диаграмма зависимости  $\eta_{By} = f(k_{Ay}, k_{Az})$  при  $RO_i \neq 0, R_i \neq 0$

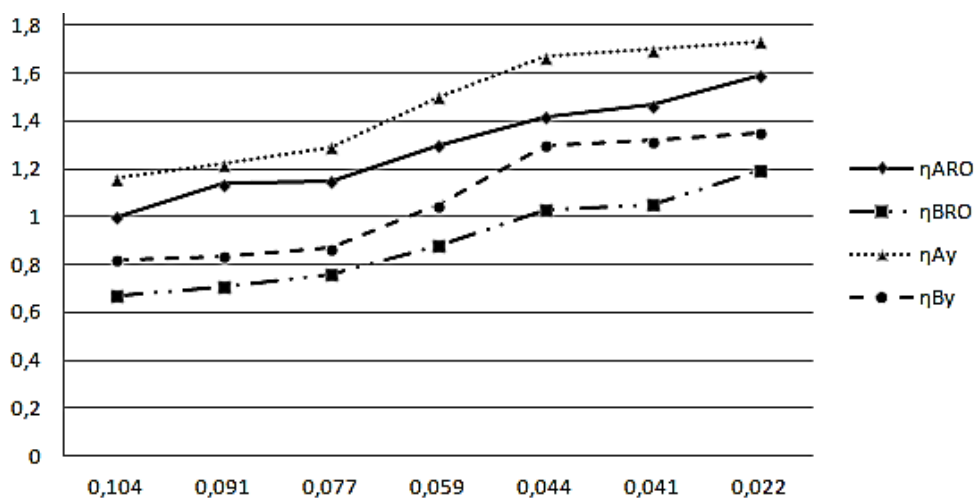


Рисунок 7. Графические зависимости  $\eta_{AyRO} = f(\Delta y)$ ,  $\eta_{ByRO} = f(\Delta y)$ ,  $\eta_{Ay} = f(\Delta y)$ ,  $\eta_{By} = f(\Delta y)$



Анализ полученных результатов исследований показал следующее.

1. На величину сдвига груза поперек вагона  $\Delta y$  преобладающее влияние оказывает состояние пути, по которому движется вагон с определенной скоростью, имитируемой коэффициентами поперечной и вертикальной динамики вагона ( $k_{д,y}$  и  $k_{д,z}$ ) (Рисунок 2).

2. Основное влияние на сдвиг груза и устойчивость груза (вагона с грузом) оказывает значение коэффициента поперечной динамики вагона ( $k_{д,y}$ ), имитирующий движение по кривым участкам пути и стрелочным переводам [7].

3. Когда груз удерживается от сдвига поперек вагона ( $\Delta y = 0$ ) предварительно скрученными гибкими элементами креплений внутреннего направления ( $R_{0i} > 0$ ,  $R_i = 0$ ) он находится на границе устойчивости ( $\eta \approx 1,0$ ) при условиях:  $0,46 \leq k_{д,y} \leq 0,52$  и  $0,52 \leq k_{д,z} < 0,62$ , а при  $0,3 \leq k_{д,y} \leq 0,41$  и  $0,46 \leq k_{д,z} \leq 0,49$  – в устойчивом состоянии ( $\eta > 1,25$ ) (Рисунок 3).

4. Вагон с грузом не устойчив ( $\eta < 1,0$ ) при условиях:  $0,41 \leq k_{д,y} < 0,52$  и  $0,49 \leq k_{д,z} < 0,62$ , а при значениях  $k_{д,y} = 0,36$  и  $0,46 \leq k_{д,z} \leq 0,49$  – находится на границе устойчивости ( $\eta \approx 1,0$ ) (Рисунок 4). Заметим, что неравенства  $0,46 \leq k_{д,y} \leq 0,52$  и  $0,52 \leq k_{д,z} < 0,62$ , на наш взгляд, соответствуют максимальным значениям коэффициентов поперечной и вертикальной динамики вагона, при которых состояние пути оценивается как «неудовлетворительное», а значения  $k_{д,y} = 0,3$  и  $k_{д,z} = 0,46$  – минимальным значениям, при которых состояние пути оценивается на «отлично».

5. Груз устойчив ( $\eta > 1,25$ ) при любых заданных значениях  $k_{д,y}$  и  $k_{д,z}$ , когда имеет место сдвиг груза поперек вагона ( $\Delta y > 0$ ) при сохранении гибких элементов креплений ( $R_{0i} > 0$ ,  $R_i > 0$ ) (Рисунок 5).

6. Вагон с грузом неустойчив ( $\eta < 1,0$ ) при условиях  $0,46 \leq k_{д,y} \leq 0,52$  и  $0,52 \leq k_{д,z} < 0,62$  и находится на границе устойчивости при  $k_{д,y} = 0,41$  и  $k_{д,z} = 0,49$ , а при значениях  $0,3 \leq k_{д,y} \leq 0,36$  и  $0,46 \leq k_{д,z} < 0,49$  – устойчив (Рисунок 6).

#### Выводы

Результатами проведенных исследований доказана возможность оценки устойчивости колесной техники (груз) или вагона с грузом при наличии гибких элементов креплений. При этом выполнен расчет устойчивости груза и вагона с грузом относительно одной из опор, когда либо отсутствуют, либо полностью разрушены упорные элементы наружного направления с сохранением гибких элементов креплений внутреннего направления ( $R_{0iy} \neq 0$ ,  $R_{0iz} \neq 0$  и  $R_{iy} \neq 0$ ,  $R_{iz} \neq 0$ ). Отмечено, что именно при таких условиях происходит сдвиг груза поперек вагона ( $\Delta y \neq 0$ ).

Результаты исследований могут быть полезными при разработке схем по размещению и креплению грузов на вагоне.

#### Список литературы:

1. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А., Чуйкова О. Ю. Оценка устойчивости груза и вагона с грузом относительно одной из опор по методике ТУ // Транспорт: наука, техника, управление. 2014. №7. С. 16-21.
2. Приложение 14 к СМГС «Правила размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах». М.: Планета, 2008. 191 с.
3. Туранов Х. Т. Теоретическая механика в задачах грузовых перевозок. Новосибирск: Наука. 2009. 376 с.
4. Туранов Х. Т. Теоретическая механика в специальных задачах грузовых перевозок. Новосибирск: Наука; Екатеринбург: Изд-во УрГУПС. 2012. 447 с.

5. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А., Улижева Н. Н. Повышение надежности перевозки колесной техники на вагоне при расчете гибких элементов крепления под воздействием поперечных сил по новой методике // *Транспорт: Наука, техника, управление*. 2014. №3. С. 45-51.
6. Туранов Х. Т., Псеровская Е. Д., Гордиенко А. А. Пример расчета элементов крепления колесной техники на вагоне при воздействии продольных сил, обеспечивающего стабильность управления перевозочным процессом // *Транспорт: наука, техника, управление*. 2014. №4. С. 50-57.
7. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А., Рыкова Л. А. Расчет гибких элементов крепления колесной техники от воздействия поперечных сил по новой методике при вариации коэффициента поперечной динамики вагона // *Транспорт: Наука, техника, управление*. 2014. №5. С. 38-44.
8. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А., Рыкова Л. А. Расчет рационального количества крепежных изделий при воздействии поперечных сил для обеспечения безопасности перевозки и прочности крепления колесной техники на открытом подвижном составе // *Транспорт: Наука, техника, управление*. 2014. №6. С. 16-21.
9. Туранов Х. Т., Сумный А. Ю., Тимухина Е. Н. Устройство для проверки надежности креплений груза в железнодорожном вагоне // Патент на изобретение RUS 2385812 14.07.08.
10. Туранов Х. Т. Программа для ЭВМ «Расчет продольного и поперечного сдвига груза на открытом подвижном составе и усилия в упругих элементах крепления» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ RU № 2013613992 от 22.04.13.
11. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А. Программа для ЭВМ «Расчет продольных и поперечных сдвигов груза на открытом подвижном составе и усилий в упругих креплениях при вариации коэффициентов продольной и поперечной динамики вагона» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ RU 2014614553 от 25.05.2014.

*References:*

1. Turanov, Kh. T., Gordienko, A. A., & Chuikova, O. Yu. (2014). Otsenka ustoichivosti gruza i vagona s gruzom odnositel'no odnoi iz opor po metodike TU. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*, (7), 16-21. (in Russian).
2. Prilozhenie 14 k SMGS "Pravila razmeshcheniya i krepleniya gruzov v vagonakh i konteinerakh" (2008). Moscow. (in Russian).
3. Turanov, Kh. T. (2009). Teoreticheskaya mekhanika v zadachakh gruzovykh perevozok. Novosibirsk. (in Russian).
4. Turanov, Kh. T. (2012). Teoreticheskaya mekhanika v special'nykh zadachakh gruzovykh perevozok. Novosibirsk. (in Russian).
5. Turanov, Kh. T., Gordienko, A. A., & Ulizheva, N. N. (2014). Povyshenie nadezhnosti perevozki kolesnoi tekhniki na vagone pri raschete gibkikh elementov krepleniya pod vozddeistviem poperechnykh sil po novoi metodike. *Transport: Nauka, tekhnika, upravlenie*, (3), 45-51. (in Russian).
6. Turanov, Kh. T., Pserovskaya, E. D., & Gordienko, A. A. (2014). Primer rascheta elementov krepleniya kolesnoi tekhniki na vagone pri vozddeistvii prodol'nykh sil, obespechivayushchego stabil'nost' upravleniya perevozochnym protsessom. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*, (4), 50-57. (in Russian).
7. Turanov, Kh. T., Gordienko, A. A., & Rykova, L. A. (2014). Raschet gibkikh elementov krepleniya kolesnoi tekhniki ot vozddeistviya poperechnykh sil po novoi metodike pri variatsii

коэффициента поперечной динамики вагона. *Transport: Nauka, tekhnika, upravlenie*, (5), 38-44. (in Russian).

8. Turanov, Kh. T., Gordienko, A. A., & Rykova, L. A. (2014). Raschet ratsional'nogo kolichestva krepezhnykh izdelii pri vozeistvii poperechnykh sil dlya obespecheniya bezopasnosti perevozki i prochnosti krepneniya kolesnoi tekhniki na otkrytom podvizhnom sostave. *Transport: Nauka, tekhnika, upravlenie*, (6), 16-21. (in Russian).

9. Turanov, Kh. T., Sumnyi, A. Yu., & Timukhina, E. N. (2008). Ustroistvo dlya proverki nadezhnosti krepnenii gruzha v zheleznodorozhnom vagone. Patent na izobretenie RUS 2385812 14.07.08. (in Russian).

10. Turanov, Kh. T. (2013). Programma dlya EVM "Raschet prodol'nogo i poperechnogo sdviga gruzha na otkrytom podvizhnom sostave i usiliya v uprugikh elementakh krepneniya". Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii programmy dlya EVM RU №2013613992 ot 22.04.13. (in Russian).

11. Turanov, Kh. T., & Gordienko, A. A. (2014). Programma dlya EVM "Raschet prodol'nykh i poperechnykh sdvigoov gruzha na otkrytom podvizhnom sostave i usilii v uprugikh krepneniyakh pri variatsii koeffitsientov prodol'noi i poperechnoi dinamiki vagona". Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii programmy dlya EVM RU 2014614553 ot 25.05.2014. (in Russian).

*Работа поступила  
в редакцию 23.06.2021 г.*

*Принята к публикации  
28.06.2021 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Ситников С. А. Определение устойчивости колесной техники, перевозимой на платформе при наличии гибких элементов креплений // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7. №8. С. 253-263. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/69/28>

*Cite as (APA):*

Sitnikov, S. (2021). Determination of the Stability of Wheeled Vehicles Transported on the Platform in the Presence of Flexible Mounting Elements. *Bulletin of Science and Practice*, 7(8), 253-263. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/69/28>