

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И УЛУЧШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ВЛИЯЮЩИХ НА НАГРУЗКИ ВРАЩЕНИЯ ПАРЫ КОЛЕС ВАГОНА**

<https://doi.org/10.5281/zenodo.11224184>

**Махмудова Шахноза Абдувалиевна**

*PhD, доцент Ташкентского государственного транспортного университета,  
Узбекистан, г.Ташкент*

**Д.А.Ахмедова**

*Ассистент Ташкентского государственного транспортного университета*

**С.Р.Сейдаметов**

*Ассистент Ташкентского государственного транспортного университета*

**Аннотация:** Анализ исследований динамики вращения пары колес вагона на склоне холма, несмотря на то, что имеется достаточно работ по существующему методу расчета высоты сортировочного холма, методу расчета торможения. В статье исследовано расстояние движения вагона на участках с остановочным пунктом холма под действием продольного ветра. При этом изучалось определение скорости вагона, въезжающего на следующий участок от места остановки.

**Ключевые слова:** сила, момент, железные дороги, зона торможения, вращающиеся тела, конструкция.

**METHODS FOR DETERMINING AND IMPROVING DYNAMIC PARAMETERS  
AFFECTING THE ROTATION LOAD OF A PAIR OF CAR WHEELS**

**Sh.A.Makhmudova**

*PhD, Associate Professor, Tashkent State Transport University*

**D.A.Akhmedova**

*Assistant at Tashkent State Transport University*

**S.R.Seidametov**

*Assistant at Tashkent State Transport University*

**Abstract:** Analysis of studies of the dynamics of rotation of a pair of wheels of a car on a hillside, despite the fact that there is enough work on the existing method of calculating the height of a sorting hill, the method of calculating braking. The article investigated the distance of movement of a car in areas with a stopping point of a hill under the influence of longitudinal wind. At the same time, the determination of the speed of a car entering the next section from the stopping place was studied.

**Key words:** force, moment, railways, braking zone, rotating bodies, design.

## ВВЕДЕНИЕ

В научных исследованиях ученые представили идентификацию частей рельсового вала, разрушенных усталостью. Этого удалось достичь путем изучения неисправностей в оси вагона поезда. Для этого была рассмотрена модель вагона для получения динамических сил, действующих на ось вагона. Путем изучения динамических сил и моментов, действующих на ось, была определена критическая часть оси, чтобы предсказать сломанную область. Кроме того, обсуждается изменение коэффициента запаса прочности, который зависит от скорости загрузки вагона с учетом пассажиров [1].

В последнее время в результате растущего спроса на перевозки грузов грузовыми железными дорогами ученые и инженеры разрабатывают экономически эффективные стратегии погрузки грузов.

В том числе и такие стратегии, как увеличение нагрузки на ось автомобиля. Путь может быть технически непригоден для дополнительных нагрузок и напряжений, но есть исключение, конструкция путевой структуры для тяжелого транспорта основана на традиционной конструкции пути с балластом.

Однако тяжелые транспортные средства характеризуются нагрузкой, скоростью, интенсивностью движения и т. д., которые отличаются от нормальных условий перевозки [2].

Развитие обучения на этом не останавливается, поскольку основное внимание уделяется проблемам усталости, характерным для железнодорожной отрасли постановка проблемы стимулированных представлений. Помимо этих проблем, проблема связана с подшипниками, осями и прочим [3].

Одной из причин разрушений является разрушение инженерных компонентов.

За последние годы собрано большое количество данных и известно до 50 параметров, влияющих на усталостное поведение. Инженеры обсуждают наиболее часто изучаемые параметры, такие как технологические эффекты (экспорт, коррозия, относительное скольжение между компонентами, влияние температуры и времени, поверхностное сцепление и нормальное поверхностное давление между компонентами) [4].

Целью исследования была разработка и анализ экспериментальных методов измерения сил, действующих на боковую раму тележек с бортами колесной пары при движении автомобиля. По окончательному методу проведены теоретические исследования температурно-деформированного состояния задних рам тележек грузовых вагонов под действием колесной пары на осевое отверстие, а также методом проведения метода конечных элементов удалось избежать места установки тензорезисторов [5].

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По принципу Даламбера параллельно рельсовому пути,  $Ox'y'z'$  к оси  $Ox'$  инерциальной системы расчета согласно математическому описанию движения

вагона в зонах торможения на участках сортировочного холма при абсолютном движении твердого тела на проекции ускорение каретки при равнозамедленном движении имеет отрицательный знак

$$|a_{kTi}| = \frac{|\Delta F_{Ti}|}{M_{pro}} 10^3, \quad (1.1)$$

где  $|\Delta F_{Ti}|$  – равнодействующая сила, вследствие которой происходит проскальзывание колесных пар вагона по поверхности катания пути и на тормозных шинах вагона-замедлителя в зонах торможения (ЗТ) участков со стояночным местом (ПМ), кН:

$$|\Delta F_{Ti}| = F_{xi} + |F_{ci}|; \quad (1.2)$$

$a_{kTi}| = a_{kTi} \cdot \text{sgn} \Delta F_{1Ti}$  – функцией модуля, если  $|\Delta F_{1Ti}| < 0$ ,  $|a_{kTi}| = -a_{kTi}$ , будет.

(1.1) из выражения ,  $|\Delta F_{Ti}| < 0$  or  $|F_{ci}| > F_{xi}$  При соблюдении условия разгон автомобиля в зонах торможения участков с остановкой на начальной скорости  $V_{HTi} > 0$  будет одинаково замедлен до момента  $V = 0$ .

В соответствии с существующими методами расчета сортировочных пиков выразим формулы (1.1) и (1.2) в обычных понятиях и общепринятых обозначениях.

Силу  $F_{xi}$  за счет входа вагона в зоны торможения (ЗТ) секций ПС,  $G_1$  можно представить от силы невращающихся частей (каретки, кузова вагона) и массы вагона в долях:

$$F_{xi} = k_{x0i} G_1, \quad (1.3)$$

здесь  $i$  – количество секций профиля сортировочной горки ( $i = 1, \dots, 9$ ),  $k_{x0i} - G_1$  – коэффициент, описывающий силу  $F_{xi}$  с учетом силы проекции продольной силы ветра  $F_{xi}$  в процентах от  $G_1$ , т.е. в следующей форме:

$$k_{x0i} = i_{ex} + k_{ex} \approx 0.014 + 0.004 = 0.018.$$

Заметим, что значением  $F_{bx}$  пренебрегают, поскольку оно слишком мало:  $F_{bx} \ll G_1$  (например,  $3,2 \ll 794$  кН [6]).

Мощность различных сопротивлений  $||F_{ci}|$  | за счет своих составляющих скорость входа вагона в зону торможения по  $V_{bx.Ti}$   $t_i$ , сила сцепления колеса вагона с тормозной колодкой вагона-замедлителя  $F_{brak}$  сила трения скольжения колесной пары относительно тормозные шины (основной износ)  $F_{fri..ski}$  или  $F_{oi}$   $n_i$ , окружающая среда, Силу сопротивления  $F_{sn}$  от снега и льда можно определить в процентах от веса  $G_1$  невращающихся частей (каретки, кузова вагона) и веса грузового вагона, а также сил  $F_{xi}$ .

Например,  $F_{brak} = k_{brak} G_1$ , здесь  $k_{brak} \approx 0.024 - G_1$ ;  $F_{oi} = k_{oi} G_1$ ; Коэффициент  $F_{ch} = k_{ch} G_1$  учитывающий долю мощности  $F_{brak}$  от  $F_{ch} = k_{ch} G_1$ , где  $k_{oi} \approx 0,25 - G_1$ ; коэффициент учета мощности  $F_{oi}$  от  $k_{sn} G_1$  в доле, где  $0.0075 - G_1$  – коэффициент учета мощности  $F_{sn}$  из в доли.

В результате получаются мощности различных сопротивлений  $|F_{si}|$  можно представить как:

$$|F_{ci}| = (k_{brak} + k_{oi} + k_{cb} + k_{ch})G_1 \quad (1.4)$$

В конечном итоге, в соответствии с [7], можно записать формулы (1.1) и (1.2) в следующем виде в общепринятых обозначениях

$$|a_{kti}| = a_T (i_{t0xi} - |w_{ti}|). \quad (1.5)$$

здесь  $a_T = \text{const}$  – условное определение его линейного ускорения автомобиля в зонах торможения участков МО (места остановки) при равномерно замедленном движении,  $\text{м/с}^2$ :

$$a_T = \frac{G_1}{M_{pro}} 10^3. \quad (1.6)$$

Например, при  $G_1 = 794$  кН и  $M_{pro} = 8,269 \cdot 10^4$  кг:  $a_T = 8,953$   $\text{м/с}^2$ ;  $i_{t0xi}$  – (1.6) – безразмерная величина, условно описывающая наклон профиля холма на участках СП с учетом влияния силы проекции продольного ветра  $F_{bx}$  по формуле

$$i_{t0xi} = i_{txi} + k_{bx} \quad (1.7)$$

$k_{bx} = G_1$  – безразмерная величина, способствующая ускоренному движению вагона в процентах с учетом влияния малой величины проекции продольного ветра  $F_{bx}$  на ось  $Ox$  Если не учитывать силу  $F_{bx}$ , то  $k_{bx} = 0$ ,  $||w_{ti}||$  – безразмерная величина и/или разность, условно описывающая относительное сопротивление различных сопротивлений движению в зонах торможения участков СП с учетом влияния продольного ветра,

$$w_{ti} = k_{brak} + k_{oi} + k_{cb} + k_{ch} \quad (1.8)$$

здесь  $k_{brak} = F_{brak}/G_1$ ,  $k_{oi} = F_{fri}/G_1$  or  $k_{oi} = F_{oi}/G_1$ ,  $k_{cb} = F_{cb}/G_1$ ,  $k_{ch} = F_{ch}/G_1$  Здесь – силы  $F_{brak}$  при торможении автомобиля-замедлителя, коэффициенты, учитывающие силы  $F_{fri} = F_{oi}$  от основных сопротивлений,  $F_{cb}$  от сил окружающей среды и ветра,  $F_{ch}$  от снега и снега, в процентах  $G_1$  невращающихся частей вагона и массы вагона. Отдельно следует отметить, что относительное сопротивление движению различных сопротивлений в зонах торможения секций СП  $|w_{ti}|$  на практике это непостоянная величина ( $|w_{ti}| \neq \text{const}$ ), и ее увеличение происходит при уменьшении скорости автомобиля.

Для удобства расчетов результирующая сила торможения вагона на участках СП  $||\Delta F_{ti}||$  можно записать (см. формулу 1.4) в следующем виде:

$$|F_{Ti}| = (k_{x0i} + (k_{brak} + k_{oi} + k_{cb} + k_{ch}))G_1.$$

Здесь на основе ранее определенных математических моделей было рассчитано время, затраченное вагоном на проезд участка колесной базы первой остановки на горке под действием продольного ветра.

Вагон Расчеты скорости вращения колесных пар вагона были выполнены на рассматриваемом участке холма на основе известных значений времени движения.

Следует отметить, что результаты ранее известных исследований динамики качения пары колес вагона по профилю сортировочной горки не однозначны [8].

С учетом этого подробно описан предлагаемый метод построения математической модели ускоренного движения вагона на разгонных участках горки под действием небольшого продольного ветра.

При этом влияние продольной проекции ветра на горизонталь и борт вагона (например, в юго-западном направлении) принимается пропорциональным поверхности борта вагона, обращенного к ветру, т. е.

$$F_{рв.х} = f(A_T) \text{ ва } F_{рв.у} = f(A_b).$$

По предложенной авторами методике в [9] определялись скорость вращения и время движения колесной пары вагона на предыдущем участке при первом тормозном положении сортировочной горки под действием продольного ветра. Приведен пример расчета скорости и времени вращения пары колес вагона под действием продольного ветра на участке до первой остановки.

Для частного случая, т. е. при нахождении автомобиля в «горизонтальной зоне» замедлителя, ускорении подъема под действием небольшого встречного ветра и участков 1Б3, представлены результаты исследования движения автомобиля. На уточненном примере расчета времени и скорости вращения пары колес вагона со склона холма по длине колесной базы зон торможения участка под действием продольного ветра по предложенной методике установлено, что ускользнуло от внимания исследователей. Цель данного пункта - определить ускорение автомобиля, движущегося с равным ускорением вниз по склону холма, с учетом влияния небольшого продольного ветра, используя пропорциональность сил, действующих на систему «автомобиль-дорога». Затем, используя формулы скорости и пути движения тела, известные из обычной физики, разработать последовательность расчета вращательного движения и скорости пары колес вагона по длине колесной базы участка сортировочного холма.

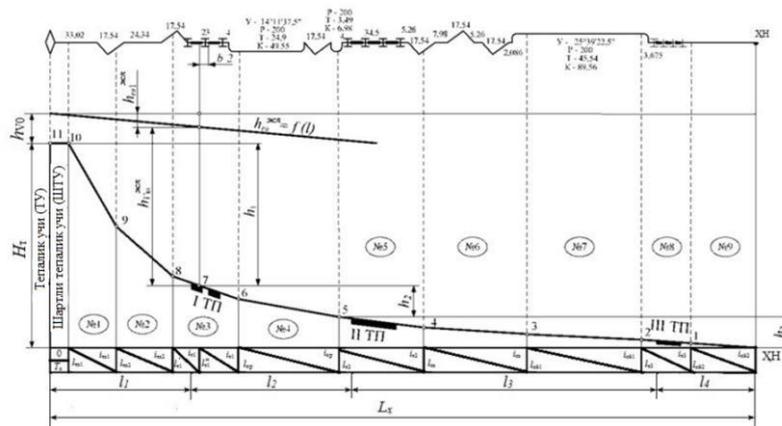


Рисунок 1. Расчетный чертеж продольного профиля спуска с горы  
1-таблица

Существующие методы определения пути, скорости и времени движения вагона на участках с остановкой

№	Выражение расчета	Опубликованная организация или автор	Год разработки	Учетные факторы
1	-	АО «РТЮ» на железной дороге и во всех странах мира	1938 г.	Мощность тормозных устройств
2	$v = v_{o3} - a_3 t$ $x(t) = v_{o3} t + \frac{1}{2} a_3 t^2$ $t_{ti} = \frac{v_{nti}}{a_{kti}}$	Туранов Х.Т., Гордиенко А.А., Плахотич И.С. (предложение)	2016 г.	$v, x(t)=l, t$

Изложите проблему. Требуется получить точный пример расчета времени движения вагона и скорости вращения по упрощенной методике по длине колесной базы вагона на сортировочно

В этом случае по известному значению длины зон торможения колесной базы на горке можно определить время движения вагона  $t_{1kb}$  при заданной начальной скорости  $V_{0kb}$  до торможения замедлителем автомобиля.

По значению  $t_{1kb}$  можно определить скорость вращения колесной пары вагона  $V_{1kb}(t_{1kb})$

При длине колесной базы 1СП на горке последовательность расчета скорости вагона под действием продольного ветра такая же, как в [9] и выполняется в следующей последовательности

1. При решении задач о движении каретки с сортировочной горки использовались простые правила теоретической механики: основной принцип Даламбера в координатной форме, а также формулы для определения скорости и пути движения тела, известные из курса физики.

2. В условиях задачи и принятых начальных условиях рассматривается случай въезда вагона на участок 1СП со склона сортировочной горки с заданной начальной скоростью  $V_{0kb}$ . При въезде одиночного вагона на участок холма 1ОМ на вагон в основном действуют внешние силы в виде веса груженого вагона, а также продольные силы в виде  $F_{гв}$  и  $F_{гв}$ , испытывающие проекцию силы аэродинамического сопротивления. против ветра.

3. При формировании расчетной модели движения при чистом качении колес относительно поверхности катания вращение колесной пары вдоль рельсового пути  $F_{fri.x}$  и воздействие ветра на вагон сбоку. . Предполагается, что трение скольжения со стороны рельсового пути равно  $F_{гвy}$ , то есть  $F_{fri.x} = F_{\tau} = F_{fri.k} + F_{fri}$

**АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

Соответственно, бесконтактная механика (найденная путем применения принципа рельсового пути) в предлагаемой расчетной модели движения вагона на участке 1СП горки 3 будет выглядеть так, как показано на рисунке.

В этом случае, используя основной принцип Даламбера, а также график холма 1СП для известного значения длины колесной базы автомобиля, формулы скорости и пути кузова

$l_{1kb} = x_{1kb}(t_{1kb})$  время, за которое происходит движение автомобиля с заданной начальной скоростью до торможения ретардеров на подъеме 1Б3, равно  $t_{1kb}$ , а по значению  $t_{1kb}$  определялась скорость автомобиля  $V_{1kb}(t_{1kb})$ .

Предложен метод расчета скорости вращения и времени движения пары колес вагона при длине колесной базы 1Б3 горки. Новый метод расчета скорости вращения и времени движения пары колес вагона под действием продольного ветра при длине колесной базы 1Б3 холма выполняется в следующей последовательности:

1. При проектировании сортировочного холма длину колесной базы вагона для платформы принять  $l_{bx} = 3,5 \text{ м}$  с учетом длины въезда вагона на этот участок.

$l_{kb} = 10,5 \text{ м}$ . Тогда длина рассматриваемого участка холма равна  $l_{1kb} = l_{kb} + l_{bx} = 14 \text{ м}$ .

2. Проекция продольной силы ветра на автомобиль рассчитывается вдоль продольной оси  $Ox$  и поперечной оси  $Oy_1$  в следующем виде, кН:

$$F_{rx} = 0.5A_T; \quad F_{rbb} = 0.5A_b,$$

здесь  $0,5 - 1 \text{ м}^2$  - удельное давление, кН/м<sup>2</sup>,  $A_T$  - поверхность бортов грузового вагона, м<sup>2</sup>. Например, если  $A_T = 6,384$  или  $A_b = 27,36 \text{ м}^2$ , то  $F_{rb.} = 3,192$  и  $F_{rb.y} = 13,68 \text{ кН}$ , при  $G = 650 \text{ кН}$   $\cos(\psi 03) = 1$ ,  $F_{rb.x} = 3,192 \text{ кН}$ ,  $\sin(\psi 03)$ ,  $F_{rb.x} = F_{fri.k} = 0,094 \text{ кН}$ . Сила трения автомобиля, скользящего под действием ветра со стороны автомобиля, равна  $F_{пт.к}$ . Эта сила, как составной продукт реакции звеньев (железнодорожной линии), согласно закону Кулона равна:

$$F_{fri.x} = F_{fri} = f_{ck0} F_{rby} = f_{ck0} F_{rbb},$$

здесь  $f_{ck0}$  - коэффициент трения гребня колеса при скольжении рельсового пути к боковой поверхности (обычно принимается  $f_{ck0}=0.25$ ).

Например, если

$$f_{ck0}=0.25, \quad F_{rb.y}=F_{rbb}=13.68 \text{ кН}, \quad F_{fri.x} = F_{fri} = 3.42 \text{ кН}.$$

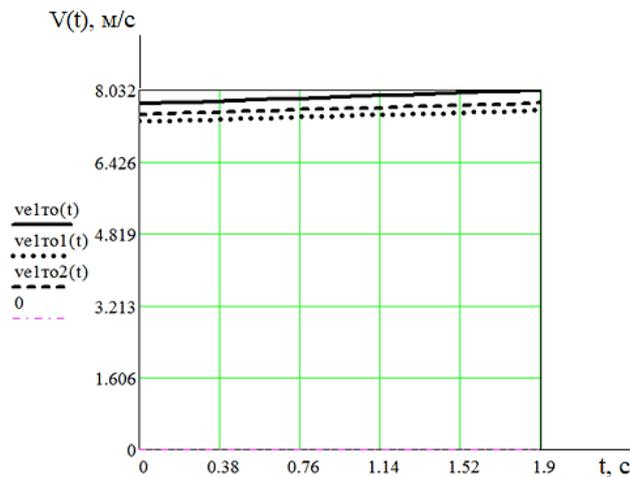


Рис. 2. График зависимости скорости вагона после торможения в произвольный момент движения от времени на горке 1Б3.

Как видим, графическая зависимость времени движения горки от длины участка 1Б3 после торможения  $l_{jto} = l_{1to}$ , например в  $l_{2to}$  и  $l_{3to}$ , появление скорости вращения колесной пары вагона от время движения будет такое же, как показано на рисунке 2.  $w_{okt}$  ( $t_{tok}$ ) анализ графических зависимостей,  $t = 1,901$  с, за период времени только при воздействии на сопротивление среды  $f_{sr}$ , скорость вагона снижается до тривиального значения ( рисунок 2), воздействие ветра от боковины вагона колеблется от  $F_{vy}$  (от 8,033 м/с ( $\approx 28,9$  км/с) до 7593 м/с ( $\approx 27,3$  км/с)), т.е. примерно на 5,5%. При этом вагон преодолевает расстояние  $\approx 15$  м. Поэтому при выполнении практических расчетов нет необходимости учитывать ветровое воздействие  $F_{vy}$  со стороны вагона небольшой величины.

### ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. С учетом инерции вращающихся масс (например,  $a_{1kb} = 0,168$  м/с<sup>2</sup>) длины колесной базы вагона от места подвески в точке  $l_{1kb}$  при равноускоренном движении вагона рассчитывается значение ее линейной ускорение позволило вычислить время  $l_{1kb}$  при известной величине пройденного за это время пути, повозка на данном участке Горки совершает равноускоренное движение. Время  $t_{1kb}$  позволило вычислить скорость вагона  $V(t_{1kb})$  в конце рассматриваемого участка (например,  $V(t_{1kb}) = 7935$  м/с или 28,6 км/с).

2. На графике стоянки без учета вращающихся масс (например,  $a_{1t} = 2,556$  м/с<sup>2</sup>) рассчитывается значение линейного ускорения вагона при равнозамедленном движении, известное значение времени торможения находится в ТТ (например,  $t_{1t} = 2,0$  с), а также для встроенной конструкции замедлителя вагона

**РЕКОМЕНДАЦИИ:**

1. Дикмен, Ферхат; Байрактар М., Йылдыз. Определение критического сечения оси вагона с учетом факторов динамики и запаса // Александрийский машиностроительный журнал. 2019, стр.611 – 624 doi:10.1016/j.aej.2019.05.010

2. Пирес Ж.; Дюмон А.Г. Механический анализ тяжеловесного пути в различных условиях эксплуатации / Известия Гражданского иска. ISSN 17593433, 2016, 226 с, doi:10.4203/сср.110.226.

3. Смит Р.А. Усталостные разрушения железных дорог: обзор давней проблемы // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. 2005, стр. 697–705, doi:10.1002/mawe.200500939.

4. Ахмедова Д., Зиямухамедова У.А., Мирадуллаева Г.Б., Нафасов Дж.Х. Разработка математической модели движения грузового автомобиля, спускающегося с горки // Международный журнал формального образования, 2024, 3(4), с. .183-187.

5. Ахмедова Д. А., Зиямухамедова У. А., Мирадуллаева Г. Б., Нафасов Дж. Х. Расчет силы, создаваемой в парах колес на сортировочных участках вагонов // Excellencia: Международный междисциплинарный образовательный журнал (2994-9521), 2024, 2. (4), стр. 183-186.

6. Нафасов Дж. Х., Зиямухамедова У. А., Мирадуллаева Г. Б. Исследование влияния состава компонентов на механические свойства конструкционных полимерных износостойких материалов из терморезистивных материалов // Техническая наука и инновации, 2022(2), с. 179-183.

7. Туранов, Х. Т., Гордиенко А.А., Джаббаров Ш. Б., Саивалиев Ш. У. О равномерно медленном движении автомобиля в зонах торможения горки // Транспорт: наука, техника, управление, 2019,

8. Туранов, Х. Т., Гордиенко А.А., Джаббаров Ш. Б. О некорректности формулы удельного сопротивления воздуха движению автомобиля по профилю горки // Вестник транспортной информации. 2020

9. Гордиенко А.А., Джалилов Ш. Б., Инагамов С.Г., Джаббаров Ш. Б. Особенности движения автомобиля по сходовой части неровности при попутном ветре // 2021, стр. 92-98