

УДК 656.21.001.2

Пример расчета времени, скорости и пути торможения вагона на участке второй тормозной позиции сортировочной горки при воздействии встречного ветра малой величины

Х. Т. ТУРАНОВ, А. А. ГОРДИЕНКО

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, 620034, Россия

Аннотация. В статье выполнен расчет времени, скорости и пути торможения вагона при его движении с замедлением на участке второй тормозной позиции горки при вариации времени торможения. Построены графические зависимости скорости и пути торможения вагона от времени движения. Объединяя построенные графические зависимости, найдены конкретные значения времени, скорости скольжения и пути торможения вагона на участке второй тормозной позиции горки.

Ключевые слова: сортировочная горка; вагон; встречный ветер; время; скорость и путь торможения вагона; движение вагона с замедлением на участке второй тормозной позиции

Актуальность проблемы. До настоящего времени в литературных источниках, например в [1, 2], посвященных решению проблемы проектирования сортировочной горки, встречаются существенные ошибки из-за неверного, на наш взгляд, толкования классических положений теоретической механики. В [1] удельное сопротивление воздушной среды и ветра $w_{\text{св}}$ определено по эмпирической формуле

$$w = \frac{17,8 C_x S (v - v_{\text{в}})^2}{Q(273 - t)}, \quad (1)$$

где 17,8 — постоянный коэффициент; C_x — коэффициент аэродинамических свойств отцепа, зависящий от угла между результирующим вектором относительной скорости и направлением движения отцепа; S — лобовая поверхность отцепа, м^2 ; v — скорость отцепа, м/с ; $v_{\text{в}}$ — скорость встречного ветра, м/с ; Q — вес отцепа, т (вместо силы тяжести тс); $(273 - t)$ — величина, учитывающая температуру окружающей среды, К .

Однако в (1) скорость отцепа v , к сожалению, является неизвестной величиной, подлежащей определению [3]. Именно поэтому выражение (1) является, на наш взгляд, ошибочным, не имеющим теоретической базы, поскольку сделана попытка найти неизвестное $w_{\text{св}}$ от неизвестного v , т. е. $w_{\text{св}} = f(v)$, где v — скорость скатывания вагона по уклону горки, которая определена в [1, 2, 4] по формуле свободно падающего тела

(т. е. по формуле Галилея $v = \sqrt{2g'h}$, где h и g' — высота падения, м , и величины ускорения свободного падения тел с учетом инерции вращающихся частей (колесных пар), м/с^2), что является недопустимым, поскольку при вертикальном падении вагона и речи не должно быть об учете инерции вращающихся частей (колесных пар), не говоря уже о невозможности вертикального падения вагона при его движении по уклону горки. Графически это можно представить так, как показано на рис. 1.

Принятие за основу теории скатывания вагона его движение по вертикали как свободно падающего тела в принципе не вписывается в положения классической механики, потому и является, по нашему предположению, существенной ошибкой, допущенной в [1, 2, 4].

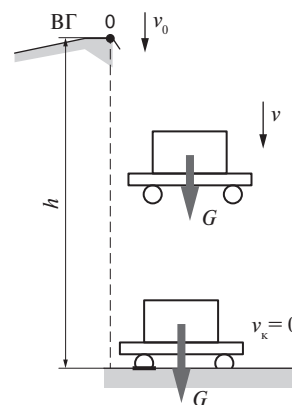


Рис. 1. Движение вагона по вертикали как свободно падающего тела:

ВГ — вершина горки; v_0 — начальная скорость вагона (или скорость надвига вагона); v — скорость падения вагона по вертикали (якобы заменяющая «скорость скатывания вагона по уклону горки» [1, 2, 4]); G — сила тяжести вагона с грузом; v_k — скорость вагона в конце соударения

Fig. 1. The movement of the car vertically as a free falling body: ВГ — top of the hump; v_0 — initial car speed (or speed of humping); v — speed of vertically falling car (as replacing “sliding speed of car by hump slope” [1, 2, 4]); G — gravity force of car with the load; v_k — car speed at the end of collision

■ E-mail: khturanov@yandex.ru (Х. Т. Туранов)

Исходя из этого, отметим, что в [1] также ошибочными являются формулы (4.5), (5.1); (5.11), (5.3) и (5.13), где h_0 определено с учетом ускорения вращающихся частей вагона в виде $h_0 = \frac{v_0^2}{2g'}$, что в принципе недопустимо [3]). К сожалению, все отмеченные формулы в [1] также стали уже классическими при проектировании сортировочных горок.

С учетом вышеизложенного необходимо отметить, что некорректные результаты таких исследований противоречат теории движения тела по наклонной плоскости. Вместе с тем именно эти некорректные результаты составляют основу теории расчетов при проектировании сортировочной горки в нормах проектирования [1], в исследовательских работах и в учебниках и учебных пособиях для студентов вузов железнодорожного транспорта (например, [2]).

Обобщая отмеченные недостатки существующей теории скатывания вагона по уклону сортировочной горки, можно отметить, что разработка упрощенного подхода к расчету и проектированию горки, а также программы ее расчета является научной проблемой в отрасли железнодорожного транспорта.

При этом уточненная математическая модель сортировочной горки, позволяющая определить точную скорость скатывания вагона на ее определенном участке, будет способствовать более точному определению параметров профиля горки и должна в последующем составлять основу теории скатывания вагона с сортировочной горки.

В связи с этим результаты исследований, выполненных в настоящей статье и посвященных, например, расчету участка второй тормозной позиции горки с использованием основополагающих принципов классической механики, на наш взгляд, подтверждают их актуальность для железнодорожного транспорта.

Несмотря на значительное количество работ, посвященных расчету сортировочной горки по предлагаемой нами методике [3, 5 – 9], в настоящее время отсутствуют результаты вычислительных экспериментов по расчету времени, скорости и пути торможения вагона на участке второй тормозной позиции (далее — 2ТП горки) при воздействии встречного ветра малой величины.

Данная работа является продолжением серии публикаций по динамике скатывания вагона по уклону сортировочной горки [3, 5 – 9]. Отметим, что в статье будут использованы основные положения ранее предложенной методики расчетов времени, скорости скольжения и пути торможения вагона на участке 1ТП сортировочной горки при воздействии попутного ветра, изложенной в [8]. Вместе с тем здесь впервые будут изложены оригинальные результаты исследований движения вагона на участке 2ТП горки при воздействии встречного ветра, где неизвестными являются

три различных по размерности параметра — время, скорость скольжения и путь торможения вагона.

Научная гипотеза. Предполагаем, что на участке тормозной позиции сортировочной горки время, скорость скольжения и путь торможения вагона могут быть определены лишь на основе составления силовых соотношений [8, 9], которые имеют место в системе вагон — путь на исследуемом участке горки при воздействии встречного ветра малой величины и которые позволяют найти ускорение вагона, без которого немислимо определение времени, скорости и пути торможения вагона.

План решения проблемы определения скорости скольжения вагона на участке тормозной позиции. Во-первых, по известной величине начальной скорости $v_{02т}$ и вычисленным значениям ускорения вагона $a_{2т}$ при его движении с замедлением должен быть выполнен расчет скорости $v_{e2т}(t_{2т})$ и пути торможения вагона $x_{2т}(t_{2т}) = l_{2т}$ при вариации времени $t_{2т}$, и, во-вторых, объединяя их, можно найти рациональное значение времени торможения вагона $t_{2т}$ на исследуемом участке горки. Рассчитанные параметры движения вагона должны способствовать обеспечению безопасного движения вагона от вершины горки до ее расчетной точки.

Общий подход к решению задачи определения скорости и пути торможения вагона на участке 2ТП горки при воздействии встречного ветра. Общий подход к решению задачи при движении вагона на участке 2ТП горки при воздействии встречного ветра аналогичен [8, 9]. Тем не менее отметим некоторые отличия.

1. Пусть вагон после промежуточного участка сортировочной горки входит на участок 2ТП горки с заданной начальной скоростью $v_{02т}$. При скатывании одиночного вагона на участок 2ТП горки считаем, что вагон будет испытывать воздействие в основном внешних сил — силы тяжести вагона с грузом G , проекции силы аэродинамического сопротивления встречного ветра малой величины (например, юго-восточного или северо-восточного направления) $F_{рв}$ по продольной оси Ox и поперечной оси Oy в виде $F_{рвх}$ и $F_{рвы}$, т. е. $(\bar{F}_{рвх}, \bar{F}_{рвы}) \in \bar{F}_{рв}$.

2. Как и ранее [8, 9], допускаем, что на вагон будут воздействовать также силы трения скольжения колес о поверхности катания рельсовых нитей $F_{\tau} = F_{\tau.ск}$, силы торможения тормозной шины вагонного замедлителя $F_{\text{торм}}$ и силы трения скольжения гребней колес о боковые поверхности рельсовой нити $F_{\text{трб}}$ при учете воздействия проекции ветра на боковую сторону вагона $F_{рв.б} = F_{рв.б}$, а также силы сопротивления всякого рода (среды, снега и иная) F_c .

3. В соответствии с этим упрощенная расчетная модель движения вагона на участке 2ТП горки согласно принципу освобожденности от связей теоретической механики [10] представлена на рис. 2 [8].

На рис. 2 обозначено: O — начало подвижной системы координат Ox_1yz , жестко связанной с вагоном; Ox — ось по горизонтали; ψ_{05} — угол уклона (спуска) участка 2ТП горки; $v_{\text{вх}}$ — относительная скорость воздуха; $v_0 = v_{\text{вх}1} = v_{01\tau}$ — начальная скорость вагона; $v_{\text{в}}$ — скорость вагона; $F_{\text{с}} = F_{\text{ср}}$ — сила сопротивления среды; N и $F_{\text{тр.х}}$ — нормальная и касательная составляющие реакции связей (рельсовых нитей). Причем $N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4$ и $F_{\text{тр.х}} = F_{\text{тр.х}1} + F_{\text{тр.х}2} + F_{\text{тр.х}3} + F_{\text{тр.х}4}$ как параллельные силы.

Здесь $F_{\text{тр.х}}$ учитывает трение скольжения колес о поверхность катания рельсовых нитей $F_{\text{тр.ск}}$, трение скольжения гребней колес по боковым поверхностям рельсовых нитей $F_{\text{тр.б}}$ вследствие воздействия проекции ветра на боковую сторону вагона $F_{\text{вб}} = F_{\text{вб}}$, трение скольжения обода колес о сжатые тормозные шины вагонного замедлителя $F_{\text{торм}}$, т. е. $F_{\text{тр.х}} = F_{\text{т}} + F_{\text{торм}}$ с учетом того, что в ней $F_{\text{т}} = F_{\text{тр.ск}} + F_{\text{тр.б}}$. Иначе, $F_{\text{тр.х}} = F_{\text{тр.ск}} + F_{\text{тр.б}} + F_{\text{торм}}$.

Последовательность расчета скорости и пути торможения вагона на участке 2ТП горки при воздействии встречного ветра. Рассмотрим случай проектирования горочной горловины на 24 пути. Пусть исходными данными задачи являются: угол уклона участка 2ТП горки — $\psi_{05} = 10\%$, или 0,001 рад; длина участка 2ТП горки — $l_{2\tau} = 31$ м [11]; масса вагона с грузом без учета инерции вращающихся масс — $M_0 = 8,094 \cdot 10^4$ (а с учетом инерции этих масс $M = 9,256 \cdot 10^4$), кг; сила тяжести вагона с грузом без учета инерции вращающихся масс $G = 794$ кН (а с учетом инерции этих масс $G = 908$ кН); начальная скорость вагона (скорость входа вагона на участок 2ТП горки) при учете только сопротивления среды $F_{\text{с}} - v_{02\tau} = 4,835$ м/с; начальная скорость вагона с учетом сопротивления среды $F_{\text{с}}$ и проекции ветра на боковую сторону вагона $F_{\text{вб}} - v_{021\tau} = 4,143$ м/с.

Последовательность расчета времени, скорости скольжения и пути торможения вагона на участке 2ТП сортировочной горки при воздействии встречного ветра аналогична [8, 9]. Так, например, по значению силы $F_{2\tau}$ (или $F_{2\tau1}$), способствующей замедленному движению вагона, и массы вагона M_0 без учета инерции вращающихся частей находят ускорение вагона $a_{2\tau}$ (или $a_{2\tau1}$) при движении на участке 2ТП горки с замедлением при воздействии сопротивления среды $F_{\text{с}}$ и при одновременном воздействии $F_{\text{с}}$ и проекции встречного ветра на боковую сторону вагона $F_{\text{вб}}$ (см. формулу (10) [8]), м/с²:

$$a_{2\tau} = \frac{|F_{2\tau}| \cdot 10^{-3}}{M_0}. \quad (2)$$

Например, если $F_{2\tau} = -160,984$ и $F_{2\tau1} = -163,72$ кН, $M_0 = 8,094 \cdot 10^4$ — масса вагона с грузом без учета инерции вращающихся масс (а с учетом инерции этих масс $M = 9,256 \cdot 10^4$), кг, то $a_{2\tau} = 1,989$ и $a_{2\tau1} = 2,023$ м/с².

Далее, изменяя время торможения вагона $t_{1\tau}$ (например, до $t_{1\tau} = 2,2$ с), определяют скорость

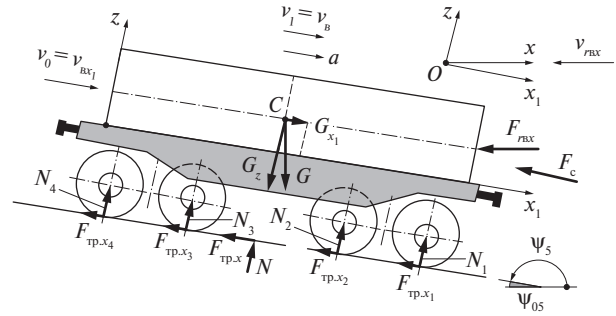


Рис. 2. Упрощенная расчетная модель движения вагона по профилю 2ТП горки при воздействии встречного ветра
Fig. 2. Simplified calculation model of car movement on TP 2 profile of the hump under the influence of crosswinds

скольжения вагона при выходе из участка 2ТП горки $v_e(t_{2\tau}) = v_e(t_{\tau})$ по классической формуле элементарной физики, м/с

$$v_e(t_{\tau}) = v_{02\tau} - a_{2\tau} t_{\tau}, \quad (3)$$

где $v_{02\tau}$ — начальная скорость вагона (скорость входа вагона на участок 2ТП горки (например, $v_{02\tau} = 4,835$), м/с.

Например, если $v_{02\tau} = 4,835$ м/с — начальная скорость вагона с учетом сопротивления среды $F_{\text{с}}$, $v_{021\tau} = 4,143$ м/с — начальная скорость вагона с учетом сопротивления среды $F_{\text{с}}$ и проекции ветра на боковую сторону вагона $F_{\text{вб}}$, $M_0 = 8,094 \cdot 10^4$ — масса вагона с грузом без учета инерции вращающихся масс, кг; $a_{2\tau} = 1,989$ и $a_{2\tau1} = 2,023$ м/с² и при $t_{2\tau} = 1,2$ с, то $v_{2\tau} = 2,448$ м/с (или 8,8 км/ч), $v_{2\tau1} = 1,716$ м/с (или 6,17 км/ч). Увеличивая время торможения в 2 раза, до $t_{2\tau} = 2,4$ с, можно получить $v_{e2\tau} = 0,061$ и $v_{e2\tau1} = -0,712$ м/с, что соответствует полной остановке вагона на рассматриваемом участке горки.

Отметим, что с использованием выражения (3) можно построить графическую зависимость скорости $v_{\text{ет}}(t)$ от времени движения вагона t на рассматриваемом участке сортировочной горки.

Определяют путь торможения вагона $x_{2\tau}(t_{2\tau}) = l_{2\tau} = l_{\tau}$ в момент времени $t_{2\tau} = 1,2$ с, м,

$$l_{\tau} = v_{02\tau} t_{\tau} - \frac{1}{2} a_{2\tau} t_{\tau}^2. \quad (4)$$

Например, если $v_{02\tau} = 4,835$, $v_{021\tau} = 4,143$ и $v_{021\tau} = 4,143$ м/с, $a_{2\tau} = 1,989$ и $a_{2\tau1} = 2,023$ м/с², $t_{2\tau} = 1,2$ с, то путь торможения $x_{2\tau}(t_{2\tau}) = l_{2\tau} = 4,37$, $x_{2\tau1}(t_{2\tau}) = l_{2\tau1} = 3,515$ и $x_{2\tau2}(t_{2\tau}) = l_{2\tau2} = 3,845$ м. Увеличивая время торможения до $t_{2\tau} = 2,2$ с, можно получить следующие значения пути торможения $x_{2\tau}(t_{2\tau}) = l_{2\tau} = 5,876$, $x_{2\tau1}(t_{2\tau}) = l_{2\tau1} = 4,118$ и $x_{2\tau2}(t_{2\tau}) = l_{2\tau2} = 4,778$ м, при которых произойдет полная остановка вагона.

Построение графических зависимостей скорости и пути торможения вагона от времени на участке 2ТП горки. Ниже приведены результаты вычислений времени, скорости скольжения и пути торможения вагона

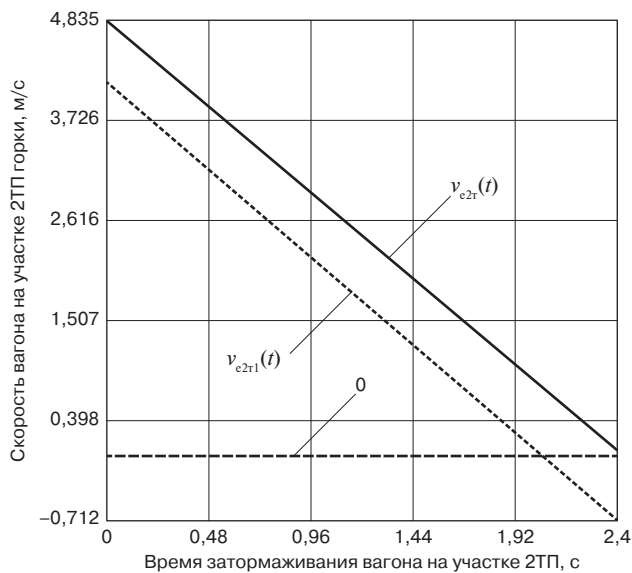


Рис. 3. Графическая зависимость скорости скольжения вагона на участке 2ТП горки от времени движения (до 2,2 с)

Fig. 3. Graphical dependence of the car sliding speed at the site 2TP of the hump from the time of motion (up to 2.2 sec)

от времени на участке 2ТП горки, полученные в программе MathCAD [30].

Используя формулы (3) и (4), для примера покажем графические зависимости скорости скольжения и пути торможения вагона на участке 2ТП горки от времени торможения:

$t = 0, 0,1...2,4$ — изменение времени торможения вагона t на участке 2ТП горки, с;

$v_{e2}(t) = v_{02r} - a_{2r}t$ — скорость вагона $v(t)$ в любой момент времени t на участке 2ТП горки при воздействии только сопротивления среды F_c , м/с;

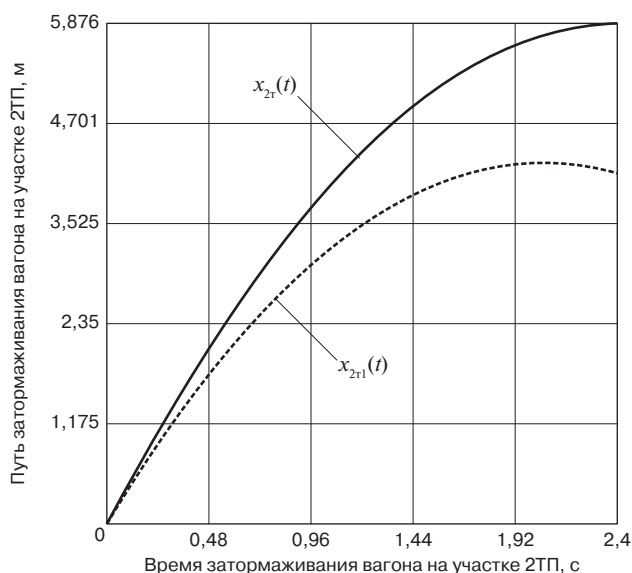


Рис. 4. Графическая зависимость пути торможения вагона по участку 2ТП горки от времени (до 2,4 с)

Fig. 4. Graphic dependence of the braking way of the car on the site 2TP of the hump from time (up to 2.4 sec)

$v_{e2r1}(t) = v_{02r1} - a_{2r1}t$ — скорость вагона $v(t)$ в любой момент времени t на участке 2ТП горки при воздействии сопротивления среды F_c с учетом воздействия проекции ветра на боковую сторону вагона $F_{рв.6}$, м/с;

$x_{2r}(t) = v_{02r}t - (1/2)a_{2r}t^2$ — путь торможения вагона $x(t)$ в любой момент времени t на участке 2ТП горки при воздействии только сопротивления среды F_c , м;

$x_{2r1}(t) = v_{02r1}t - (1/2)a_{2r1}t^2$ — путь торможения вагона $x(t)$ в любой момент времени t на участке 2ТП горки при воздействии сопротивления среды F_c с учетом воздействия проекции ветра на боковую сторону вагона $F_{рв.6}$, м.

Результаты вычислений представлены на рис. 3 и 4.

Как видно, графические зависимости $v(t)$ носят линейный, а $x(t)$ — нелинейный характер в соответствии с (3) и (4).

Анализ графической зависимости $v(t)$ показывает, что в течение времени $t = 1,2$ с скорость вагона с учетом только воздействия сопротивления среды (см. рис. 3) заметно уменьшается — с 4,835 м/с (это скорость входа вагона на участок 2ТП горки при учете сопротивления среды) до 2,448 м/с, т. е. до 1,4 м/с, а с учетом воздействия проекции ветра на боковую сторону вагона $v(t_{2r1})$ также значительно уменьшается — с 4,143 м/с (это скорость входа вагона на участок 2ТП горки при учете сопротивления среды и проекции ветра на боковую сторону вагона) до 1,716 м/с, т. е. до 2,96 м/с.

Анализ графической зависимости $x(t)$ также показывает, что в течение времени $t_{2r} = 1,2$ с (см. рис. 4) путь торможения вагона при учете только воздействия сопротивления среды $l_{2r} = 3,47$ м, а с учетом воздействия проекции ветра на боковую сторону вагона $F_{рв.6}$ это расстояние уменьшится незначительно, до $l_{2r} = 2,53$ м (т. е. на величину 0,94 м).

Также отметим, что анализ графических зависимостей на рис. 3 и 4 показывает, что скорость вагона $v(t_{2r})$ при t_{2r} до значения 2,4 с имеет отрицательное значение, а путь торможения практически не изменяется при учете только сопротивления среды, а с учетом других видов сопротивления (ветра) при $t = 2,2$ с — соответствует остановке вагона.

Особо оговоримся, что, используя графические зависимости скорости $v_c(t)$ и пути торможения $x(t)$ вагона от времени t , приведенные на рис. 3 и 4, и объединяя их, можно найти рациональное значение времени торможения вагона t_r на участке 2ТП горки (рис. 5).

Анализ построенных графических зависимостей на рис. 5 показывает, что, например, с учетом сопротивления среды при $t_r = 0,8$ с: $v(t_r) = 3,24$ м/с и $x(t_r) = l_r = 3,23$ м, а с учетом одновременно воздействия сопротивления среды и ветра при $t_r = 0,79$ с: $v(t_r) = 2,55$ м/с и $x(t_r) = l_r = 2,6$ м. Видно, что значения скорости и пути торможения как различных

физических параметров по величине практически совпадают, хотя имеют разные единицы измерения.

Таким образом, для заданных исходных данных задачи, если время срабатывания вагонного замедлителя $t_{\text{вк}} = 0,8$ с [27], то с момента его включения время торможения равно $t_{\text{зат}} = t_{\text{вк}} + t_{\text{т}} = 0,8 + 0,8 = 1,6$ с, а время полной остановки вагона — $t_{\text{зат}} = t_{\text{вк}} + t_{\text{т}} = 0,8 + 2,4 = 3,2$ с.

Выводы. 1. Ранее составленные нами силовые соотношения, имеющие место в системе вагон — путь и присущие только участку 2ТП сортировочной горки при воздействии встречного ветра малой величины, позволили вычислить ускорение вагона с замедлением $a_{2\text{т}}$. Классические формулы пути и скорости тела способствовали определению неизвестных значений различных по размерности параметров — времени, скорости скольжения и пути торможения вагона на участке 2ТП горки при воздействии встречного ветра малой величины.

2. Графические зависимости скорости скольжения $v(t_{\text{т}})$ и пути торможения вагона $x(t_{\text{т}})$ от времени, построенные по известной величине начальной скорости вагона $v_{02\text{т}}$ и вычисленным значениям его ускорения с замедлением $a_{2\text{т}}$ при изменении времени торможения $t_{\text{т}}$, после их объединения позволили определить значение времени торможения вагона $t_{\text{зат}}$ на участке 2ТП горки с учетом времени срабатывания вагонного замедлителя $t_{\text{вк}}$.

3. Представленные результаты исследований могут быть использованы при вычислении времени движения и скорости скатывания вагона на последующих участках горки, а в дальнейшем для разработки программы расчета профиля сортировочной горки — от ее вершины до расчетной точки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм. М.: ТЕХИНФОРМ, 2003. 168 с.
2. Железнодорожные станции и узлы: учебник / В. И. Апатцев [и др.]; под ред. В. И. Апатцева и Ю. И. Ефименко. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. 855 с.
3. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А. Некоторые проблемы теоретической предпосылки динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки // Бюллетень транспортной информации. 2015. № 3. С. 29–36.
4. Образцов В. Н. Станции и узлы. Ч. II. М.: Трансжелдориздат, 1938. 492 с.
5. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А. Аналитическое описание движения вагона на первом скоростном участке сортировочной горки при воздействии встречного ветра малой величины // Транспорт Урала. 2015. № 2. С. 7–12.
6. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А. Пример расчета времени и скорости вагона при его движении по всей длине участка первой тормозной позиции сортировочной горки при воздействии встречного ветра малой величины // Известия ПГУПС. 2015. № 4. С. 64–71.
7. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А. Пример расчета времени и скорости вагона на втором скоростном участке сортировочной

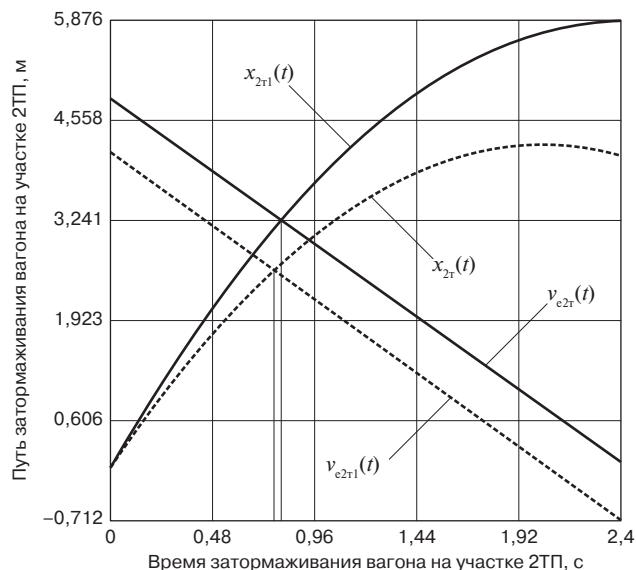


Рис. 5. Совмещенные графические зависимости скорости вагона (см. рис. 3) и пути торможения вагона (см. рис. 4) на участке 2ТП горки от времени

Fig. 5. Combined graphical dependencies of the car speed (see Fig. 3) and braking way of the car (see Fig. 4) at the site of 2TP of the hump from time

горки при воздействии встречного ветра малой величины по новой методике // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2015. № 3. С. 25–35.

8. Khabibulla Turanov, Andrey Gordienko and Irina Plakhotich. (2015). Simplified Analytical Description of Wagon Movement with Braking Action on the Marshalling Hump Section of the First Braking Position under the Impact of Fair Wind. Science and Technology, Vol. 5 No. 4, December 2015, pp. 57–62. e-ISSN: 2163–2677. ID: 104000150 doi: 10.5923/j.scit.2015.04.01.

9. Туранов Х. Т., Гордиенко А. А., Плахотич И. С. Пример расчета скорости вагона на участке первой тормозной позиции сортировочной горки с затормаживанием при воздействии попутного ветра // Бюллетень транспортной информации. 2015. № 12. С. 29–35.

10. Лойцянский Л. Г., Лурье А. И. Курс теоретической механики. Т. II. Динамика. М.: Наука, 1983. 640 с.

11. Земблинов С. В., Страковский И. И. Альбом схем элементов станций и узлов. М.: Всесоюз. изд.-полиграф. объедин. МПС, 1963. 89 с.

12. Кирьянов Д. В. Mathcad 15 / Mathcad Prime 1.0. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 432 с.

13. Кобзев В. А. Технические средства сортировочных горок, обеспечивающие безопасность движения: Учебное пособие. Ч. 1. М.: МИИТ, 2009. 92 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ТУРАНОВ Хабибулла Туранович,

д-р техн. наук, профессор кафедры «Станции, узлы и грузовая работа», УрГУПС

ГОРДИЕНКО Андрей Александрович,

канд. техн. наук, ассистент кафедры «Станции, узлы и грузовая работа», УрГУПС

Статья поступила в редакцию 28.12.2015 г., принята к публикации 9.03.2016 г.

An example of calculating time, speed and brake way of the car on the site of the second braking position at the hump yard under the influence of small crosswinds

Kh. T. TURANOV, A. A. GORDIENKO

Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, 620034, Russia

Abstract. To present day the speed of sliding car in the theory of calculation of marshalling hump determined by the formula of free falling body, where the acceleration of free falling bodies are given with the inertia of the wheelsets, which is unacceptable. Therefore, for the first time the movement of the car on the part of the second hump brake position of marshalling hump under the influence of the small crosswinds was studied. Force relations that take place in the system "car-railway track" on the second hump brake position under the influence of the cross-wind of the small value was given. These force relations include "shifting" (i.e. the projection of the gravity of the car with load and cross-wind on the direction of movement of the car) and "restraining" forces. By the difference between "shifting" and "restraining" forces and weight of the car without inertia of the rotating parts (wheel pairs) and with using the basic law of dynamics of a body with non-ideal constraints (D'Alembert' principle), acceleration of the car when driving in the second hump brake position under the influence of the cross-wind was calculated. Then, the braking time and the sliding speed of the car related to rail lines and braking tires of car retarders is determined by the classical formula for the track and speed of uniformly decelerated motion. On this basis, for the first time results of researching of car movement with acceleration in the second hump braking position is given. Graphic dependences of speed and the way of the car braking from the time of movement were built. By combining built graphic dependences rational time values of sliding speed and the braking way of the car were found. Presented results of researches can be used in the calculation of the motion time and speed of sliding of the car on the next parts of the hump, and in the future to complete development of the corrected program of calculation of the lowering part of a hump from its top to the estimated point.

Keywords: hump yard; car; crosswind; time; breaking speed and way; car movement with deceleration at the site of second braking position

REFERENCES

1. Rules and regulations of of designing marshalling devices on railways of 1520 mm gauge. Moscow, TEKhINFORM Publ., 2003, 168 p. (in Russ.).
2. Apattsev V.I., Efimenko Yu.I., Pravdin N.V. *Zheleznodorozhnye stantsii i uzly* [Railway stations and units]. Moscow, FGBOU "Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte" Publ., 2014, 855 p.
3. Turanov Kh.T., Gordienko A.A. *Nekotorye problemy teoreticheskoy predposylki dinamiki skatyvaniya vagona po uklonu sortirovochnoy gorki* [Some problems of theoretical background of the dynamics of the car rolling down the slope hump]. Byulleten' transportnoy informatsii, 2015, no.3, pp. 29 – 36.
4. Obratstov V.N. *Stantsii i uzly* [Stations and units]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1938, 492 p.
5. Turanov Kh.T., Gordienko A.A. *Analiticheskoe opisanie dvizheniya vagona na pervom skoro-rostnom uchastke sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii vstrechnogo vetra maloy velichiny*

[Analytical description of the car movement on the first section of speed hump when exposed to small crosswinds]. Transport Urala, 2015, no.2, pp. 7 – 12.

6. Turanov, Kh.T., Gordienko A.A. *Primer rascheta vremeni i skorosti vagona pri ego dvizhenii po vsey dline uchastka pervoy tormoznoy pozitsii sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii vstrechnogo vetra maloy* [Example of calculation of time and speed of the car as it moves along the entire length of the first section of the brake position of hump yard under the influence of a small crosswind]. Izvestiya PGUPS, 2014, no. 4, pp. 64 – 71.

7. Turanov Kh.T., Gordienko A.A. *Primer rascheta vremeni i skorosti vagona na vtorom skorostnom uchastke sortirovochnoy gorki pri vozdeystvii vstrechnogo vetra maloy velichiny po novoy metodike* [An example of time and speed calculation for the car at the second speed hump yard section under the influence of small crosswinds by a new method]. Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya, 2015, no. 3, pp. 25 – 35.

8. Khabibulla Turanov, Andrey Gordienko and Irina Plakhotich. *Simplified Analytical Description of Wagon Movement with Braking Action on the Marshalling Hump Section of the First Braking Position under the Impact of Fair Wind*. Science and Technology, vol. 5 no. 4, December 2015, pp. 57 – 62. Doi: 10.5923/j.scit.201504.01.

9. Turanov Kh.T. Gordienko A.A., Plakhotich I.S. *Primer rascheta skorosti vagona na uchastke pervoy tormoznoy pozitsii sortirovochnoy gorki s zatormazhivaniem pri vozdeystvii poputnogo vetra* [Example of calculating the speed of the car at the site of the first braking position of hump yard with lockup under the influence of a favorable wind]. Byulleten' transportnoy informatsii, 2015, no.12, pp. 29 – 35.

10. Loytsyanskiy L.G., Lur'e A.I. *Kurs teoreticheskoy mekhaniki* [Course of the theoretical mechanics]. Moscow, Nauka Publ., 1983, vol. 2, 640 p.

11. Zemblinov S.V., Strakovskiy I.I. *Al'bom skhem elementov stantsiy i uzlov* [Album of schemes of elements of units and stations]. Moscow, Vsesoyuz. izd.poligraf. ob'edin. MPS Publ., 1963, 89 p.

12. Kiryanov D.V. *Mathcad 15*. Mathcad Prime 1.0. St.Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2012, 432 p.

13. Kobzev V.A. *Tekhnicheskiye sredstva sortirovochnykh gorok, obespechivayushchiye bezopasnost' dvizheniya* [Technical means of marshalling yards to ensure traffic safety]. Moscow, MIIT Publ., 2009, 92 p.

ABOUT THE AUTHORS

TURANOV Khabibulla Turanovich,

Dr. Sci. (Eng.), professor of department "Stations, units and loading operations", Ural State University of Railway Transport (USURT)

GORDIENKO Andrey Aleksandrovich,

Cand. Sci. (Eng.), assistant at the department "Stations, units and loading operations", Ural State University of Railway Transport (USURT)

Received 28.12.2015

Accepted 9.03.2016

■ E-mail: khturanov@yandex.ru (Kh. T. Turanov)