

УДК 656.21.001.2

**Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко****ПРИМЕР РАСЧЁТА ВРЕМЕНИ И СКОРОСТИ ВАГОНА  
ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ ПО ВСЕЙ ДЛИНЕ УЧАСТКА  
ПЕРВОЙ ТОРМОЗНОЙ ПОЗИЦИИ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ  
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВСТРЕЧНОГО ВЕТРА МАЛОЙ ВЕЛИЧИНЫ**

Дата поступления: 29.09.2015

Решение о публикации: 17.11.2015

**Цель:** Вычислить ускорение вагона, найти время движения и скорость вагона при воздействии встречного ветра. **Метод:** Вычисление искомым величин основано на принципе Даламбера и широко известных из курса элементарной физики формулы скорости и пути при равноускоренном движении тела. **Результаты:** Исследования, основанные на силовых соотношениях, которые имеют место на участке первой тормозной позиции горки при воздействии встречного ветра малой величины, позволили получить конкретное значение ускорения вагона при различных видах сопротивления движению вагона. По заданной величине скорости входа вагона на участок первой тормозной позиции (начальной скорости) и вычисленному значению ускорения вагона рассчитано время движения и скорость вагона по всей длине рассматриваемого участка. Построены графические зависимости времени движения от длины исследуемого участка горки и скорости скатывания вагона от времени. **Практическая значимость:** По результатам исследований можно разработать программу расчётов ускорения, времени движения и скорости скатывания вагона при воздействии ветров разных направлений, которые позволяют выполнить расчёт и проект всей сортировочной горки.

Сортировочная горка, вагон, встречный ветер, упрощённая методика, движение вагона, ускорение, первая тормозная позиция.

\***Khabibulla T. Turanov**, D. Eng., professor, khturanov@yandex.ru; **Andrey A. Gordiyenko**, teaching assistant, gordiii89@yandex.ru (Ural State University of Railway Transport) EXAMPLE OF CALCULATION OF TIME AND SPEED OF A CAR DURING ITS MOVEMENT ALONG THE ENTIRE LENGTH OF THE FIRST PORTION OF THE BRAKING POSITION OF THE MARSHALLING HUMPS UNDER THE INFLUENCE OF A SMALL-SIZED CROSS WIND

**Objective:** To calculate acceleration of a carriage, to find movement time and carriage speed under the influence of cross wind. **Methods:** Calculation of the sought values is based on d'Alembert's principle and on formulae of speed and path progression under uniform acceleration, widely known from an elementary course of physics. **Results:** Studies based on force correlations occurring on a section of the first portion of braking position of a marshalling hump under the influence of small-sized cross wind allowed to obtain concrete values of carriage acceleration under different types of resistance to carriage movement. Movement time and speed of the carriage along the entire length of the section under study were calculated from the set value of carriage speed when entering the section of the first portion of the braking position (initial speed) and from calculated carriage acceleration values. Curves for dependencies of movement time from the length of studied hump section, and speed of carriage rolling from time. **Practical importance:** Results of the study may allow to develop a program for calculation

of acceleration, movement time and carriage rolling speed under the influence of winds from different directions, allowing calculation and design of the entire length of the marshalling hump.

Marshalling hump, carriage, cross wind, simplified techniques, time and speed of the carriage, acceleration, first portion of the braking position.

Отметим, что результаты ранее выполненных исследований по динамике скатывания вагона по профилю сортировочной горки оказались ошибочными [1]. Учитывая это, в [2, 3] подробно изложен упрощённый метод построения математической модели движения вагона с ускорением на участке первой тормозной позиции (1ТП) при воздействии встречного ветра малой величины. Причём движение вагона по всей длине участка 1ТП горки (т. е. при движении «на проход») в [3] отнесено к первому этапу движения вагона (общий случай) на этом участке, а движение вагона с затормаживанием [2] – ко второму этапу.

Для практического использования актуальны результаты вычислительных экспериментов (или конкретный пример расчёта) по определению времени и скорости вагона при его движении по всей длине участка 1ТП горки, т. е. «на проход».

В данной статье на основе ранее разработанной математической модели [3] впервые приведены результаты вычислительных экспериментов по расчёту времени и скорости вагона при его движении по всей длине участка 1ТП горки при воздействии встречного ветра. Она является продолжением серии статей [1–4] по динамике скатывания вагона с сортировочной горки, базирующихся на принципе Даламбера в координатной форме [5].

Цель статьи – на основе силовых соотношений, которые возникают при движении вагона по всей длине участка 1ТП сортировочной горки («на проход») при воздействии встречного ветра малой величины, вычислить ускорения вагона на данном участке горки.

Требуется получить конкретный пример расчёта времени и скорости вагона при его движении по всей длине участка 1ТП горки по упрощённой методике, где по известной величине всей длины 1ТП горки  $l_{1\text{ТП}} = x(t_{\text{ТП}})$

можно было бы найти время  $t_{\text{ТП}}$ , в течение которого вагон движется с заданной начальной скоростью до конца рассматриваемого участка горки, а по величине времени  $t_{\text{ТП}}$  – скорость вагона  $v(t_{\text{ТП}})$ .

### Общий подход к решению задачи при движении вагона по всей длине участка 1ТП горки

При решении задач использованы основной принцип Даламбера в координатной форме [5] и классические формулы пути и скорости тела элементарной физики.

В условиях задачи и принятых предпосылках рассмотрен случай, когда вагон по уклону сортировочной горки входит на участок 1ТП горки с заданной начальной скоростью  $v_0 = v_{01\text{ТП}}$  (согласно расчётным данным предыдущих участков горки с учётом воздействия только сопротивления среды  $F_c$  и при одновременном воздействии сопротивления среды  $F_c$  и проекции встречного ветра с боковой стороны вагона  $F_{\text{рв.}}$ ) [2, 3]. При входе одиночного вагона на 1ТП горки считаем, что вагон будет испытывать воздействие в основном внешних сил в виде силы тяжести вагона с грузом, силы аэродинамического сопротивления встречного ветра малой величины как вдоль вагона  $F_{\text{рв.}}$ , так и поперёк него  $F_{\text{рв.}}$ , а также силы трения качения колёс о поверхность катания рельсовых нитей  $F_{\text{тр.к}}$  и трения скольжения гребней колёс о боковую поверхность рельсовой нити  $F_{\text{тр.ск}}$ . Причём сила трения скольжения  $F_{\text{тр.ск}}$  появляется из-за воздействия проекции встречного ветра с боковой стороны вагона  $F_{\text{рв.}}$ .

При формировании расчётной модели движения вагона по всей длине участка 1ТП горки принято предположение, что колёсные пары по рельсовым нитям катятся при чистом

качении колёс относительно поверхности катания рельсовых нитей  $F_{\text{тр.к}}$  и трения скольжения гребней колёс о боковую поверхность рельсовой нити  $F_{\text{тр.ск}}$  при учёте воздействия проекции встречного ветра с боковой стороны вагона  $F_{\text{рву}} = F_{\text{рбу}}$ , т.е.  $F_{\text{тр.х}} = F_{\text{т}} = F_{\text{тр.к}} + F_{\text{тр.ск}}$ .

Пусть в соответствии с этим расчётная модель движения вагона на участке 1ТП горки, согласно принципу освобождаемости от связей теоретической механики [5], имеет вид, представленный на рис. 1.

На рис. 1 обозначено:  $\psi_{03}$  – угол наклона участка 1ТП горки;  $\vec{v}_0 = \vec{v}_{\text{в.х}}$  – скорость входа вагона на рассматриваемый участок;  $\vec{v}_{\text{рв.х}}$  – относительная скорость встречного ветра малой величины (обычно в пределах 4–6 м/с);  $\vec{v} = \vec{v}_{\text{в}}$  – переносная скорость (скорость вагона);  $G$ ,  $G_{x1}$  и  $G_z$  – сила тяжести вагона с грузом и её проекции на ось  $Ox_1$  и  $Oz$ ;  $F_{\text{рвх}}$  – сила аэродинамического сопротивления, рассматриваемая как «удерживающая» сила встречного ветра;  $F_{\text{с}} = F_{\text{ср}}$  – силы сопротивления среды;  $N$  и  $F_{\text{тр.х}}$  – нормальная и касательная составляющая реакции связей (рельсовых нитей) с учетом, что сила  $F_{\text{тр.х}}$  направлена по оси  $Ox_1$ . Причём  $N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4$  и  $F_{\text{тр.х}} = F_{\text{тр.х1}} + F_{\text{тр.х2}} + F_{\text{тр.х3}} + F_{\text{тр.х4}}$  как параллельные силы. Отметим, что на рис. 1 не показано направление воздействия проекции встречного ветра с боковой стороны вагона  $F_{\text{рву}} = F_{\text{рбу}}$ .

Таким образом, используя основную принцип Даламбера и широко известные из кур-

са элементарной физики формулы скорости и пути при равноускоренном движении тела по известной величине всей длины 1ТП горки  $l_{1\text{ТП}} = x(t_{\text{тп}})$ , определено время  $t_{\text{тп}}$ , в течение которого вагон движется с заданной начальной скоростью до конца рассматриваемого участка горки, а по величине времени  $t_{\text{тп}}$  – скорость вагона  $v(t_{\text{тп}})$ .

### Упрощённая методика расчёта времени и скорости вагона при его движении по всей длине участка 1ТП горки

Упрощённую методику расчёта скорости вагона по всей длине участка 1ТП сортировочной горки при воздействии встречного ветра применяют аналогично [7] в такой последовательности.

1. При проектировании сортировочной горки полную длину участка 1ТП горки  $l_{1\text{ТП}}$  принимают согласно рекомендациям [6]. Например, уклон горки 14‰,  $\psi_{03} = 0,014$  рад. ( $\sin(\psi_{03}) = 0,014$ ), длина  $l_{1\text{ТП}} = 29$  м.

2. Рассчитывают проекции силы воздействия встречного ветра на вагон  $F_{\text{рв}}$ , например, юго-восточного направления, по продольной  $Ox$  и поперечной  $Oy_1$  оси (на рис. 1 ось  $Oy_1$  не показана) в виде, кН:

$$F_{\text{рвх}} = 0,5A_{\text{т}}; F_{\text{рвб}} = 0,5A_{\text{б}}, \quad (1)$$

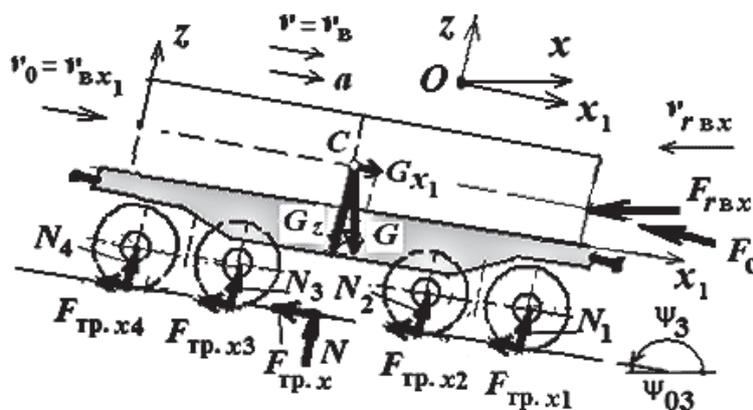


Рис. 1. Упрощённая расчётная модель движения вагона по профилю 1ТП горки при встречном ветре

где  $0,5$  – удельное давление на  $1 \text{ м}^2$  площади,  $\text{кН/м}^2$  [7];  $A_{\text{т}}$  – площадь торцевой поверхности вагона с грузом,  $\text{м}^2$ ;  $A_{\text{б}}$  – площадь боковой поверхности вагона с грузом,  $\text{м}^2$ . Например, если  $A_{\text{т}} = 6,384$  и  $A_{\text{б}} = 27,36 \text{ м}^2$ , то  $F_{\text{рв.х}} = 3,192$  и  $F_{\text{рв.у}} = 13,68 \text{ кН}$ .

3. Вычисляют силу трения качения  $F_{\text{тр.к}}$  от проекции силы тяжести вагона с грузом  $G_z$  и силы сопротивления встречного ветра  $F_{\text{рв.х}}$  на направление оси  $Oz$  (см. рис. 1) как касательную составляющую реакции связи (рельсовых нитей)  $F_{\text{т}}$ , которая согласно закону Кулона равна (см. (2) [3])

$$F_{\text{тр.к}} = f_0(G \cos(\psi_{03}) + F_{\text{рв.х}} \sin(\psi_{03})), \quad (2)$$

где  $f_0$  – некоторый приведённый коэффициент трения качения, учитывающий количество колёс в тележках, трения качения по кольцам подшипника и колеса по рельсу (обычно принимают  $f_0 = 0,0001$ ) [2–4]. Например, если  $f_0 = 0,0001$ ,  $G = 538 \text{ кН}$  – сила тяжести вагона с грузом с учётом инерции вращающихся масс (колёсных пар) (без учёта этой инерции  $G = 280 \text{ кН}$ , т. е. груз легковесный),  $\cos(\psi_{03}) = 1$ ,  $F_{\text{рв.х}} = 3,192 \text{ кН}$ ,  $\sin(\psi_{03}) = 0,014$ , то  $F_{\text{тр.к}} = F_{\text{тр.к}} = 0,056 \text{ кН}$ .

4. Вычисляют силу трения скольжения  $F_{\text{тр.ск}}$  как касательную составляющую реакции связи (рельсовых нитей)  $F_{\text{т}}$ , которая согласно закону Кулона равна (см. (2) [3])

$$F_{\text{трб.х1}} = F_{\text{тр.ск}} = f_{\text{ск0}} F_{\text{рв.у}} = f_{\text{ск0}} F_{\text{рб.у}}, \quad (3)$$

где  $f_{\text{ск0}}$  – коэффициент трения скольжения гребней колёс о боковую поверхность рельсовой нити (обычно принимают  $f_{\text{ск0}} = 0,25$ ). Например, если  $f_{\text{ск0}} = 0,25$ ,  $F_{\text{рв.у}} = F_{\text{рб.у}} = 13,68 \text{ кН}$ , то  $F_{\text{трб.х1}} = F_{\text{тр.ск}} = 3,42 \text{ кН}$ .

5. С учётом (2) и (3) вычисляют силу трения вдоль движения вагона как сумму сил трения качения  $F_{\text{тр.к}}$  и сил трения скольжения  $F_{\text{тр.ск}}$  при учёте воздействия проекции встречного ветра с боковой стороны вагона  $F_{\text{рв.у}}$  в виде

$$F_{\text{тр.х1}} = F_{\text{т}} = F_{\text{тр.к}} + F_{\text{тр.ск}}. \quad (4)$$

Например, если  $F_{\text{тр.к}} = 0,054$ ,  $F_{\text{тр.ск}} = 3,42 \text{ кН}$ , то  $F_{\text{тр.х1}} = 3,476 \text{ кН}$ .

6. Находят силы сопротивления движению вагона от среды  $F_{\text{с}} = F_{\text{ср}}$  в виде (см. (3) [7])

$$F_{\text{ср}} = k_{\text{ср}} G, \quad (5)$$

где  $k_{\text{ср}}$  – коэффициент, учитывающий долю силы тяжести  $G$  при учёте сопротивления среды (обычно в пределах  $0,0005$ – $0,00011$  при скорости встречного ветра от  $4$  до  $6 \text{ м/с}$  [8]. Например, если  $k_{\text{ср}} = 0,0008$  и  $G = 908 \text{ кН}$ , то  $F_{\text{ср}} = 0,726 \text{ кН}$ .

7. Вычисляют все силы, воздействующие на скатывающийся вагон при воздействии встречного ветра постоянной величины, кН:

- «сдвигающие» силы  $F_{\text{сд.х1}}$

$$F_{\text{сд.х1}} = G \sin(\psi_{03}). \quad (6)$$

Например, если  $G = 538 \text{ кН}$ ;  $\sin(\psi_{03}) = 0,014$ , то  $F_{\text{сд.х1}} = 7,532 \text{ кН}$ ;

- «удерживающие» силы  $F_{\text{уд.х1}}$  (т. е. силы сопротивления движению вагона в виде силы трения скольжения), как бы препятствующие движению вагона на участке 1ТП горки, в виде (см. (5) [3])

$$F_{\text{уд.х1}} = F_{\text{рв.х}} + F_{\text{тр.х1}} + F_{\text{ср}}. \quad (7)$$

Например, если  $F_{\text{рв.х}} = 3,192 \text{ кН}$ ;  $F_{\text{тр.х1}} = 0,056 \text{ кН}$  (по (2));  $F_{\text{ср}} = 0,726 \text{ кН}$ , то  $F_{\text{уд.х1}} = 3,678 \text{ кН}$ , а при учёте проекции встречного ветра с боковой стороны вагона  $F_{\text{рв.у}} = 13,68 \text{ кН}$ ,  $F_{\text{трб.х1}} = F_{\text{трб.к}} = 3,42 \text{ кН}$  (по (3)),  $F_{\text{уд.х1}} = 7,098 \text{ кН}$ .

8. По величине «сдвигающей»  $F_{\text{сд.х1}}$  и «удерживающей»  $F_{\text{уд.х1}}$  сил вычисляют силу  $F_{\text{1тп}}$ , способствующую движению вагона на рассматриваемом участке 1ТП горки, кН (см. (6) [3]):

$$F_{\text{1тп}} = F_{\text{сд.х1}} - F_{\text{уд.х1}}. \quad (8)$$

Например, если  $F_{\text{сд.х1}} = 7,532 \text{ кН}$ ;  $F_{\text{уд.х1}} = 3,678 \text{ кН}$ , то  $F_{\text{1тп}} = 3,854 \text{ кН}$  – сила, при воздействии которой происходит движение вагона

на с ускорением по всей длине участка 1ТП горки при воздействии только сопротивления среды  $F_{cp}$ , а при одновременном воздействии сопротивления среды  $F_{cp}$  и проекции встречного ветра с боковой стороны вагона  $F_{rby}$  –  $F_{уд.х1} = 7,098$  кН, то  $F_{01тп} = 0,434$  кН.

9. Используя (6) и (7), находят условие движения вагона на рассматриваемом участке 1ТП горки в виде [4]:

$$F_{сд.х1} > F_{уд.х1}. \quad (9)$$

10. По значению силы  $F_{1тп}$  и массы вагона  $M$  с учётом инерции вращающихся частей находят ускорение вагона  $a_{1тп}$  при движении на рассматриваемом участке горки с ускорением,  $м/с^2$  (см. (8) [3]):

$$a_{1тп} = \frac{F_{1тп}}{M}. \quad (10)$$

Например, если  $M = 5,484 \cdot 10^4$  кг – масса вагона с грузом с учётом инерции вращающихся частей вагона и  $F_{1тп} = 3,678$  кН, то ускорение вагона, при котором происходит ускоренное движение при воздействии только сопротивления среды,  $F_{cp} - a_{1тп} = 0,07$   $м/с^2$  (если учесть одновременное воздействие сопротивления среды  $F_{cp}$  и проекции встречного ветра с боковой стороны вагона  $F_{rby}$ , то при  $F_{01тп} = 0,434$  кН –  $a_{1тп} = 0,0079$   $м/с^2$ ).

11. Вычисляют время  $t_{1тп}$  в с, в течение которого вагон движется прямолинейно равноускоренно, на данном участке 1ТП горки длиной  $l_{1тп}$ , м:

$$t_{1тп} = \frac{-v_{01тп} + \sqrt{v_{01тп}^2 + 2a_{1тп}l_{1тп}}}{a_{1тп}}, \quad (11)$$

где  $v_{01тп}$  – начальная скорость вагона,  $м/с$  (скорость входа вагона на участок 1ТП горки при воздействии только сопротивления среды  $F_{cp}$ , например,  $6,833$   $м/с$ , а при одновременном воздействии сопротивления среды  $F_{cp}$  и проекции встречного ветра с боковой стороны вагона  $F_{rby}$  –  $6,44$   $м/с$ ).

Например, если  $v_{01тп} = 6,833$   $м/с$ ,  $a_{1тп} = 0,07$   $м/с^2$ ,  $l_{1тп} = 29$  м, то время  $t_{1тп}$ , в течение которого происходит скатывание вагона

на рассматриваемом участке горки при воздействии только сопротивления среды  $F_{cp}$ ,  $t_{1тп} = 4,706$  с, а при одновременном воздействии сопротивления среды  $F_{cp}$  и проекции встречного ветра с боковой стороны вагона  $F_{rby}$  –  $t_{01тп} = 4,525$  с.

При необходимости, изменяя длину данного участка горки  $l_{1тп}$ , находят графическую зависимость  $t(l_{1тп})$ .

12. Определяют скорость вагона в конце 1ТП горки при отключенном вагонном замедлителе  $v_{1тп}$  по классической формуле элементарной физики,  $м/с$ :

$$v_e(t_{1тп}) = v_{01тп} + a_{1тп}t_{1тп}. \quad (12)$$

Например, для заданных исходных данных:  $v_{01тп} = 6,833$   $м/с$ ,  $l_{1тп} = 29$  м,  $a_{1тп} = 0,07$   $м/с^2$ ,  $t_{1тп} = 4,436$  с скорость вагона в конце участка 1ТП горки  $v(t_{1тп}) = 7,145$   $м/с$  или  $25,7$   $км/ч$  при воздействии только сопротивления среды  $F_{cp}$  (при одновременном воздействии сопротивления среды  $F_{cp}$  и проекции встречного ветра с боковой стороны вагона  $F_{rby}$  –  $a_{1тп} = 0,057$   $м/с^2$ ,  $t_{1тп} = 4,813$  с,  $v(t_{1тп}) = 6,46$   $м/с$ , или  $23,26$   $км/ч$ ).

### Пример расчёта времени и скорости вагона при его движении по всей длине участка 1ТП горки

Пусть исходными данными будут:  $v_{01тп} = 6,833$  – начальная скорость вагона (скорость входа вагона на участок 1ТП горки),  $м/с$ ;  $l_t = 31,0$  – длина участка 1ТП горки с учётом длины входа на данный участок (2 м), м;  $M = 5,484 \cdot 10^4$  – масса вагона с грузом с учётом инерции вращающихся деталей (колёсных пар), кг;  $F_{01} = 3,854$  кН – сила, при воздействии которой вагон движется на участке 1ТП горки с ускорением;  $a_{1тп} = 0,07$   $м/с^2$  – ускорение вагона;  $t_{1тп} = 4,436$  с – время движения вагона; скорость вагона в конце участка 1ТП горки  $v(t_{1тп}) = 7,145$   $м/с$ , или  $25,7$   $км/ч$ , без учёта воздействия проекции встречного ветра с боковой стороны вагона (при учёте воздействия проекции встречного ветра с бо-

ковой стороны вагона  $v_{01тп1} = 6,44$  м/с;  $a_{01тп1} = 0,0079$  м/с<sup>2</sup>,  $t_{01тп1} = 4,813$  с,  $v(t_{01тп1}) = 6,46$  м/с, или 23,2 км/ч).

Ниже приведён макет-документ, полученный в программе MathCAD [9].

Для примера покажем графические зависимости времени движения от пройденного пути вагона по всей длине участка 1ТП горки и скорости вагона в любой момент времени  $t$  (рис. 2, 3).

- $l_{1тп} = 0,1-29$  – изменение пути прохождения вагона  $l$  на всей длине участка 1ТП сортировочной горки, м.

- время движения вагона  $t_{1тп}(l_{1тп})$  при вариации всей длины участка 1ТП сортировочной горки  $l$  при воздействии только сопротивления среды  $F_{cp}$ , вычисленное по (11), с;

- время движения вагона  $t_{1тп}(l_{1тп})$  при вариации всей длины участка 1ТП сортировочной горки  $l$  при одновременном воздействии сопротивления среды  $F_{cp}$  и проекции встречного ветра с боковой стороны вагона  $F_{рв\у} = F_{рб\у}$ , также вычисленное по (11), с;

- $t = 0, 0,1-5$  – изменение времени движения вагона  $t$  по всей длине участка 1ТП сортировочной горки, с;

- $v_{e1тп} = v_{01тп} + a_{1тп} \cdot t$  – скорость вагона  $v(t)$  в любой момент времени  $t$  по всей длине участка 1ТП сортировочной горки при воздействии только сопротивления среды  $F_{cp}$ , вычисленное по (12), м/с;

- $v_{e01тп} = v_{01тп1} + a_{01тп1} \cdot t$  – скорость вагона  $v(t)$  в любой момент времени  $t$  по всей длине участка 1ТП сортировочной горки при одновременном воздействии сопротивления среды  $F_{cp}$  и проекции встречного ветра с боковой стороны вагона  $F_{рв\у} = F_{рб\у}$ , также вычисленное по (12), м/с.

Анализ графических зависимостей  $v(t)$  показывает, что в течение времени  $t = 4,668$  с его скорость (см. рис. 3) уменьшается незначительно при учёте воздействия проекции встречного ветра с боковой стороны вагона  $F_{рв\у} = F_{рб\у}$  – с  $7,145$  ( $\approx 25,7$  км/ч) до  $6,46$  м/с ( $\approx 23,2$  км/ч). При этом вагон пройдёт расстояние  $29,0$  м (это принятая длина участка

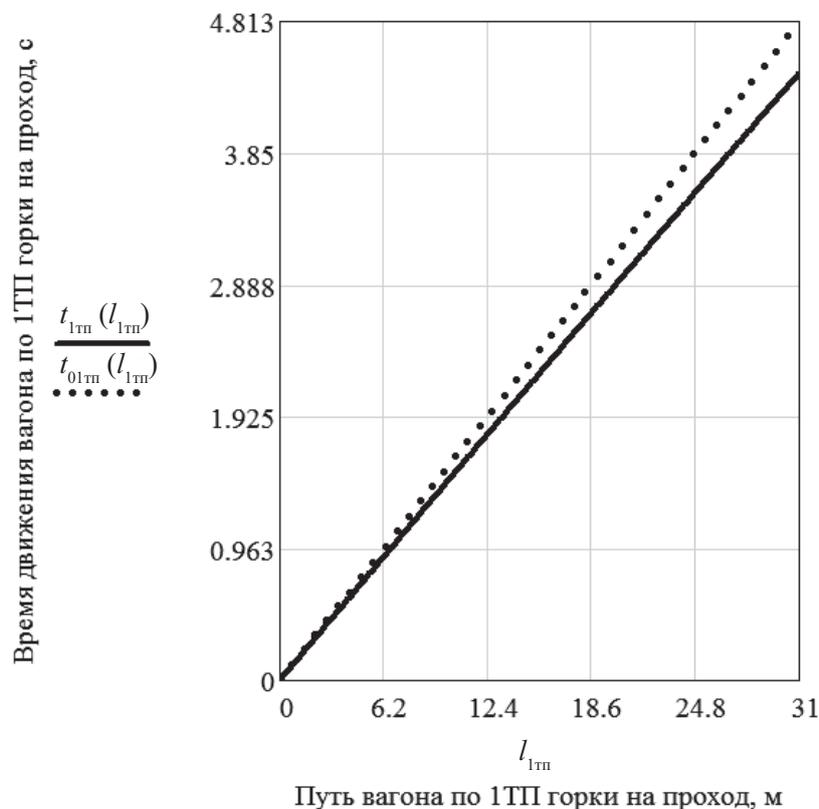


Рис. 2. Графическая зависимость времени движения вагона по всей длине участка 1ТП горки

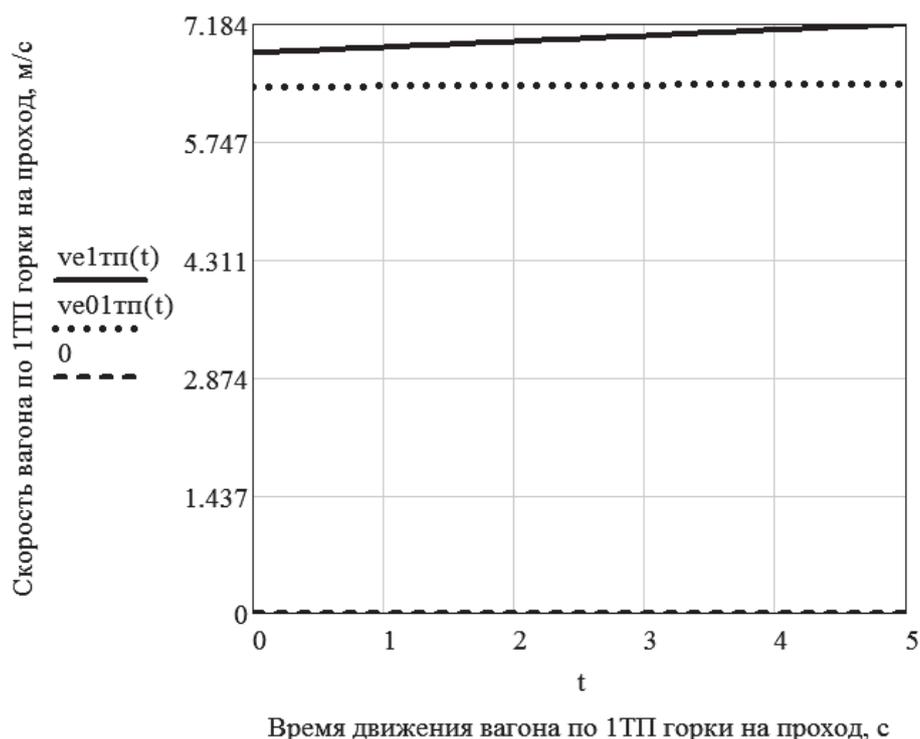


Рис. 3. Графическая зависимость скорости вагона при движении по всей длине участка 1ТП горки

1ТП горки), поэтому при выполнении практических расчётов воздействием проекции встречного ветра с боковой стороны вагона можно пренебречь.

## Выводы

Силовые соотношения, имеющее место при движении вагона по всей длине участка 1ТП сортировочной горки, дали возможность вычислить ускорения вагона на данном участке горки.

Расчёты по упрощённой методике позволили по известной величине пройденного расстояния вагона по всей длине участка 1ТП горки («на проход»)  $l_{1тп}$  и вычисленной величине ускорения вагона  $a_{01тп}$  рассчитать конкретное значение времени движения вагона  $t_{1тп}$ , в течение которого вагон будет равноускоренно двигаться на данном участке горки. Величина  $t_{1тп}$  дала возможность найти скорость вагона в конце рассматриваемого участка  $v_{1тп}(t_{1тп})$ .

Результаты исследований можно использовать для расчета и проектирования промежуточного участка сортировочной горки.

## Библиографический список

1. Земблинов С. В. Альбом схем элементов станций и узлов / С. В. Земблинов, И. И. Страковский. – М. : Всесоюз. изд.-полиграфич. объединение МПС, 1963. – 89 с.
2. Кирьянов Д. В. Mathcad 15 / Mathcad Prime 1.0 / Д. В. Кирьянов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.
3. Лойцянский Л. Г. Курс теоретической механики. Т. II. Динамика / Л. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. – М. : Наука, 1983. – 640 с.
4. Образцов В. Н. Станции и узлы. Ч. II / В. Н. Образцов. – М. : Трансжелдориздат, 1938. – 492 с.
5. Приложение 3 к СМГС «Технические условия размещения и крепления грузов». – URL : <http://osjd.org/doco/public/ru>.

6. Туранов Х. Т. Исследование движения вагона с замедлением на участке первой горочной тормозной позиции при воздействии встречного ветра / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // Транспорт : наука, техника, управление. – 2015. – № 5. – С. 3–6.

7. Туранов Х. Т. Математические модели движения вагона по всей длине участка первой горочной тормозной позиции сортировочной горки при воздействии встречного ветра / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // Транспорт : наука, техника, управление. – 2015. – № 8. – С. 44–47.

8. Туранов Х. Т. Некоторые проблемы теоретической предпосылки динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // Бюл. транспортной информации. – 2015. – № 3 (237). С. 29–36.

9. Turanov K. Analytical Determination of Conditions of Wagon Rolling Down Marshalling Hump Profiles / K. Turanov, A. Gordiienko // Open Access Library J. – 2015 – N 2, e1912. – P. 1–11. – DOI : <http://dx.doi.org/10.4236/oalib.1101912>.

## References

1. Zemblinov S. V. & Strakovskiy I. I. Albom skhem elementov stantsiy i uzlov [Album of Schemes of Sta-

tion and Junction Elements]. Moscow, Vsesoyuznoye izdatelsko-poligraficheskoye obyedineniye MPS, 1963. 89 p.

2. Kiryanov D. V. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. St. Petersburg, BVKh-Peterburg, 2012. 432 p.

3. Loytsyanskiy L. G. & Lurye A. I. Kurs teoreticheskoy mekhaniki [Theoretical Mechanics Course]. Vol. II. Dynamics. Moscow, Nauka, 1983. 640 p.

4. Obratstov V. N. Stantsii i uzly [Stations and Junctions]. Pt. II. Moscow, Transzheldorizdat, 1938. 492 p.

5. Appendix 3 to Agreement on International Railway Freight Traffic, “Technical Conditions for Cargo Positioning and Fastening”, available at: <http://osjd.org/doco/public/ru>.

6. Turanov Kh. T. & Gordiyenko A. A. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye – Transp.: Sci., Eng., Manage.*, 2015, no. 5, pp. 3-6.

7. Turanov Kh. T. & Gordiyenko A. A. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye – Transp.: Sci., Eng., Manage.*, 2015, no. 8, pp. 44-47.

8. Turanov Kh. T. & Gordiyenko A. A. *Byulleten transportnoy informatsii – Transp. inf. bull.*, 2015, no. 3 (237), pp. 29-36.

9. Turanov Kh. & Gordiienko A. *Open Access Library J.*, 2015, no. 2, e1912, pp. 1–11; DOI <http://dx.doi.org/10.4236/oalib.1101912>.

\*ТУРАНОВ Хабибулла Туранович – докт. техн. наук, профессор, [khturanov@yandex.ru](mailto:khturanov@yandex.ru); ГОРДИЕНКО Андрей Александрович – ассистент, [gordiii89@yandex.ru](mailto:gordiii89@yandex.ru) (Уральский государственный университет путей сообщения).