

О НЕТОЧНОСТИ ФОРМУЛЫ ВОЗДУШНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВАГОНА ПО ПРОФИЛЮ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Доктор техн. наук, профессор **Туранов Х.Т.**

(Ташкентский государственный технический университет
имени Первого Президента Узбекистана Ислама Каримова)

Канд. техн. наук, доцент **Илесалиев Д.И.,**

докторант **Саидивалиев Ш. У.**

(Ташкентский государственный транспортный университет)

ABOUT INACCURACY OF THE FORMULA OF AIR RESISTANCE AT MOVEMENT OF THE CAR ON A PROFILE OF THE MARSHALLING HUMP

Doctor (Tech.), Professor **Turanov Kh.T.**

(Tashkent state technical University
named after the First President of Uzbekistan Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan)

Ph. D. (Tech.), Assistant Professor **Ilesaliev D.I.,**

PhD student **Saidivaliev Sh.U.**

(Tashkent State Transport University)

Железнодорожная станция, сортировочная горка, вагон, встречный ветер, корректная формула для определения относительной скорости частиц воздуха при воздействии встречного ветра.

Railway station, marshalling hump, car, headwind, correct formula for determining the relative velocity of air particles when exposed to headwinds.

В статье замечено, что учет встречного ветра, оказывающего лобовое сопротивление движению вагона по профилю горки, в нормативно-техническом документе осуществлено с недопустимо грубыми ошибками. В работе получена формула относительной скорости частиц воздуха при воздействии встречного ветра. Результатами расчетов доказаны грубые ошибки, допущенные при построении математической модели учета воздействия попутного и/или встречного ветра в нормативно-техническом документе. Это окончательно сводит на нет практическую значимость применения в горочных конструктивных и технологических расчётах формулы для нахождения сопротивления движению вагона от воздушной среды и ветра в указанном документе.

In the article, it is noted that the account of the headwind that provides frontal resistance to the movement of the car along the profile of the hump in the normative and technical document is carried out with unacceptably gross errors. In this paper, the formula is obtained the relative velocity of air particles under the influence of a headwind. The results of calculations proved gross errors made when constructing a mathematical model for accounting for the impact of tailwind and/or headwind in the regulatory and technical document. This finally negates the practical significance of using the formula for finding the resistance to the movement of the car from the air and wind in the specified document in the hill design and technological calculations.

Актуальность проблемы

Проблема динамики вагона по уклонам сортировочной горки рассмотрены в [1–17]. Продолжая обсуждать некорректность формул воздушного сопротивления, изложенных в [11 – 16], а также в [17], заметим, что учёт сопротивления движению вагона от воздушной среды и ветра $\omega_{св}$ (или $\omega_{вс}$) путём разделения их направления воздействия, как способствующее ускоренному движению вагона (попутный ветер) и как оказывающее сопротивление движению вагона (встречный ветер), согласно формулам (4.2) – (4.8) в [15], определено с учётом попутного и/или встречного ветра со знаками, соответственно, «минус» и/или «плюс». Учёт встречного ветра, оказывающего лобовое сопротивление с недопустимо грубыми ошибками в [15], к сожалению, рекомендовано выполнить по формулам (4.5) и (4.7) и/или, что одно и то же, по формуле (8) в [17].

Математическое описание решения задачи

1. Для доказательства некорректности равенства (4.5) в [15] (и/или формулы (8) в [17]) представим теорему косинусов [8] аналогично формуле (10) в [17] при встречном ветре (см. ΔAB_1C_1 на левой части рис. 1) в следующем виде:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C_1. \quad (1)$$

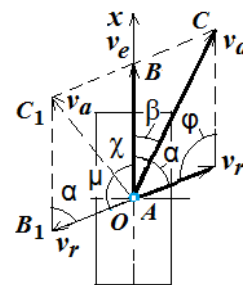


Рис. 1. Направления векторов скоростей

Обозначения на рис. 1 такие же, как и на рис. 3 в [17].

Принимая во внимание, что $c = v_a$, $a = v_e$, $b = v_r$, угол $C_1 = \alpha$ (см. рис. 1а в [17]):

$$v_a^2 = v_e^2 + v_r^2 - 2v_e v_r \cos \alpha, \quad (2)$$

где α – находят по формуле (17) в [17].

Из последнего равенства получим следующее квадратное уравнение:

$$v_r^2 - 2v_e \cos \alpha \cdot v_r + (v_e^2 - v_a^2) = 0. \quad (3)$$

Решая (3), получим:

$$v_{r,1,2} = v_e \cos \alpha \pm \sqrt{(v_e \cos \alpha)^2 - (v_e^2 - v_a^2)}. \quad (4)$$

Анализ (4) показывает, что при воздействии на вагон встречного ветра относительная скорость частиц воздуха v_r зависит от величины скорости вагона v_e и скорости ветра по отношению к земле v_a , а также угла α (см. рис. 1), т.е. $v_r = f(v_e, v_a, \alpha)$. В то же время по формуле (9) в [17] v_r определяют по зависимости $v_r = f(v_e, v_a, \beta)$.

Принимая во внимание, что $a = v_e$, $b = v_r$, $c = v_a$ и угол $A = \alpha$, представим теорему косинусов аналогично формуле (1) при встречном ветре (см. ΔAB_1C_1 на рис. 1) в следующем виде:

$$v_e^2 = v_a^2 + v_r^2 - 2v_a v_r \cos \alpha, \quad (5)$$

где угол α находят по формуле (17) в [17].

Из последнего равенства получим следующее квадратное уравнение:

$$v_r^2 - 2v_a \cos \alpha \cdot v_r + (v_a^2 - v_e^2) = 0. \quad (6)$$

Решая уравнение (6), получим иную конечную аналитическую формулу для определения относительной скорости v_r частиц воздуха:

$$v_{r,1,2} = v_a \cos \alpha \pm \sqrt{(v_a \cos \alpha)^2 - (v_a^2 - v_e^2)}. \quad (7)$$

Сравнивая формулу (3) и/или (4) и (6) и/или (7) с формулой (17) в [17] со знаком «плюс» для встречного ветра, можно утверждать наличие неоспоримо грубой ошибки, допущенной в равенстве (4.5) в [15] из-за неверной трактовки теоремы косинусов [18], что и доказывает неточность формулы (4.5) в [17].

2. Для доказательства абсурдности равенства (4.5) в [15] и/или формулы (9) в [17] представим математическую запись теоремы о сложении скоростей при сложном движении в векторном виде [19]:

$$\bar{v}_a = \bar{v}_e + \bar{v}_r. \quad (8)$$

2.1. Рассмотрим ошибочное допущение о том, что с допустимой погрешностью при углах $\beta < 30^\circ$ (хотя такая ошибка недопустима) можно выполнять расчёты относительной (результатирующей) скорости вагона с учётом направления ветра по формуле (4.7) в [15]:

$$v_{от} = v \pm v_b,$$

что равноценно формуле

$$v_r = v_e \pm v_a. \quad (9)$$

где, согласно пояснению формулы (4.7) в [15], знак «плюс» - при встречном ветре, а «минус» - при попутном.

Отсюда ясно, что относительная скорость частиц воздуха v_{r3} (что равносильно воздействию сопротивления от воздушной среды и ветра $\omega_{св} = \omega_{св}$) имеет смысл лишь тогда, когда проекция скорости попутного ветра v_a всегда меньше, чем скорость движения вагона v_e , т.е. когда соблюдается строгое неравенство: $v_a < v_e$, в противном случае - не имеет смысла.

2.2. Для доказательства некорректности формулы (9) и/или (4.7) в [15] предположим, что вагон движется по направлению ветра. В этом случае проекция вектора скорости на ось Ox (см. правую часть рис. 1) имеет вид:

$$v_a \cos \beta = v_e + v_{rx},$$

откуда

$$v_{r.x} = v_a \cos \beta - v_e, \quad (10)$$

или, учитывая допущение равенства $\cos \beta$ нулю при $\beta < 30^\circ$ (что в принципе недопустимо), получим:

$$v_{r.x} = v_a - v_e. \quad (11)$$

Отсюда ясно, что формула (11) отличается от формулы (9) знаками v_e и v_a , причём формула (9) имеет смысл при $v_a < v_e$, а формула (11): при $v_a > v_e$.

2.3. Оговоримся, что если ветер встречный (см. пунктирную линию на левой части рис. 1), то, согласно правилу вычитания векторов [19], векторное уравнение примет вид:

$$\bar{v}_r = \bar{v}_e - \bar{v}_a. \quad (12)$$

Проекция векторного уравнения (12) на ось Ox при встречном ветре имеет вид:

$$v_{r.x} = v_e - v_a \cos \chi,$$

где

χ - угол между направлениями векторов скоростей встречного ветра v_a по отношению к земле и скоростью движения вагона v_e (см. рис. 1): $\chi = (\pi/2 - \beta)$.

Учитывая формулу приведения $\cos \chi = \cos(\pi/2 - \beta) = \sin \beta$ [18], перепишем последнюю формулу в виде:

$$v_{r.x} = v_e - v_a \sin \beta. \quad (13)$$

Принимая во внимание, согласно (4.7) в [15], допущение о том, что при $\beta < 30^\circ$ (что недопустимо, поскольку $\sin \beta = 0,5$), получим:

$$v_{r.x} = v_e - v_a. \quad (14)$$

Отсюда ясно, что уточнённая формула (14) отличается от формулы (9) знаками v_a , причём формула (14) имеет смысл лишь при $v_a < v_e$.

Сравнивая формулы (13) и (14) с формулой (9), можно убедиться в некорректности математической записи (отличающиеся знаками попутного и встречного ветра),

допущенной в формуле (4.7) в [15], что и требовалось доказать.

Для достоверности корректности и/или некорректности выполненных аналитических исследований по построению математических моделей движения вагона при воздействии встречного (в частном случае и для попутного) ветра сравнительно с формулами (4.5) – (4.7) в [15] приведем следующие примеры расчёта.

Пример расчёта 1.

1.1. Вычислим относительную скорость частиц воздуха v_{r2} по формуле (9) и/или (4.7) в [15] для попутного ветра, м/с:

$$v_r = v_e - v_a = 2,475 - 2,9 = -0,425.$$

Здесь отрицательный знак величины относительной скорости частиц воздуха v_r означает некорректность формулы (4.7) в [15], поскольку это будет соответствовать отсутствию воздействия на движение вагона сопротивления от воздушной среды и ветра ($w_{вс}$ и/или $\omega_{вс}$).

Подсчет продольной проекции относительной скорости частиц воздуха v_{r1x} , производим по формуле (10), м/с:

$$v_{r1x} = v_a \cos(\beta) - v_e = 2,9 \cdot 0,866 - 2,475 = 0,036.$$

Произведем расчет продольной проекции относительной скорости частиц воздуха v_{r2} по скорректированной формуле (11), м/с:

$$v_{r2} = v_a - v_e = 2,9 - 2,475 = 0,425.$$

Заметим, что ошибка расчёта продольной проекции относительной скорости частиц воздуха v_{r2} по формуле (11), когда пренебрегают значением $\cos(30^\circ) = 0,866$ по сравнению с формулой (10), составляет $\delta v_{r3} = 91,42\%$, что подтверждает неверность формулы (9) и/или (4.7) в [15] применительно к воздействию попутного ветра.

1.2. Как известно, сопротивление движению вагона от воздушной среды и ветра $\omega_{св}$ определяют по формуле (4.2) в [15]:

$$\omega_{св} = c v_{от}^2 = c v_r^2, \quad (15)$$

где c – приведенный коэффициент воздушного сопротивления (неизвестной размерности), определяемый для одиночного вагона по эмпирической формуле (4.3) в [15]:

$$c = \frac{17,8 c_x S}{(273 + t) q} \quad (16)$$

с учётом того, что в ней $q = 92,559$ – вес вагона с грузом, тс (размерность в системе единиц МКГСС, согласно [15]).

Особо оговоримся, что формула (16) имеет странную размерность в виде произведения эмпирической величины c неизвестной размерности на относительную скорость частиц воздуха v_r в квадрате (м/с)².

1.2.1. Подставляя исходные данные в формулу (16), получим величину физического параметра c неизвестной размерности:

$$c = \frac{17,8 \cdot 1,6 \cdot 8,5}{(273 + 30) \cdot 90,8} = 0,0086.$$

1.2.2. Произведём расчёт удельного сопротивления от воздушной среды и ветра $\omega_{св}$ на движение вагона при воздействии попутного ветра, кгс/тс (размерность в системе единиц МКГСС, согласно [15]):

по формулам (4.2) и (4.5) в [15] и (2) и/или (9) в [17] –

$$\omega_{св} = c v_r^2 = 0,0086 \cdot 1,451^2 = 0,018;$$

по формулам (4.2) в [15] и (10) –

$$\omega_{св} = c v_r^2 = 0,0086 \cdot 0,036^2 = 1,0 \cdot 10^{-5} = 0.$$

Результаты расчётов по определению величин удельного сопротивления движению вагона от воздушной среды и ветра $\omega_{св}$ при воздействии попутного ветра по формуле (4.2) в [15], оставим без комментариев.

Используя систему **Matchad** [20], построим графическую зависимость $\omega_{св} = f(\beta)$, варьируя значением угла β между скоростью движения вагона v_e и скоростью ветра по отношению к земле v_a , в пределах от 10° до 90° с шагом $\Delta\beta = 5^\circ$ (рис. 2).

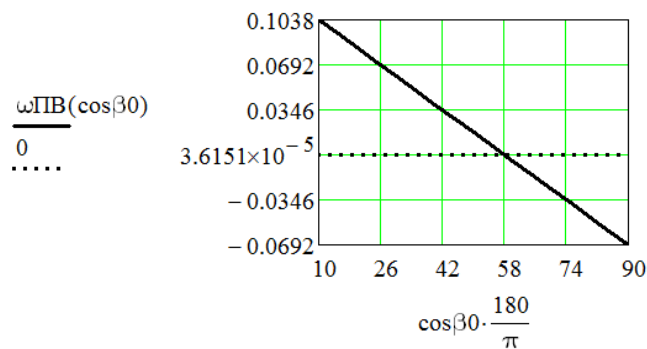


Рис. 2. Графическая зависимость $\omega_{св} = f(\beta)$

Анализируя характер зависимости $\omega_{св} = f(\beta)$ отметим, что эта зависимость, нелинейно убывающая в соответствии с формулой (4.2) и (4.5) в [15] и/или (9) в [17], начиная при значении угла $\beta = 57^\circ 29'$, при котором угол $\alpha = 0$ (см. пояснение к рис. 6 в [27]).

При этом при $\beta \geq 60^\circ$ значение $\omega_{св} < 0$, т. е. получается отрицательный результат, означающий бессмысленность применения формулы (4.2) и (4.5) в [15] и/или (9) в [17].

Пример расчёта 2.

Исходные данные примера при учёте воздействия встречного ветра такие же, как и в примере расчёта 1 в [17]. Изложим результаты расчёта, выполненные в системе **Matchad** [20].

2.1. Подставляя исходные данные в формулу (4.5) в [15] и/или (9) в [17], получим относительную скорость частиц воздуха v_{r1} , м/с:

$$v_{r2} = \sqrt{v_e^2 + v_a^2 + 2 v_e v_a \cos \beta} = \sqrt{2,475^2 + 2,9^2 + 2 \cdot 2,475 \cdot 2,9 \cdot (0,866)} = 5,193.$$

Построим графическую зависимость $v_{r1} = f(\beta)$, варьируя значение угла β между скоростью движения вагона v_e и скоростью ветра по отношению к земле v_a , в пределах от 10° до 90° с шагом $\Delta\beta = 5^\circ$ (рис. 3).

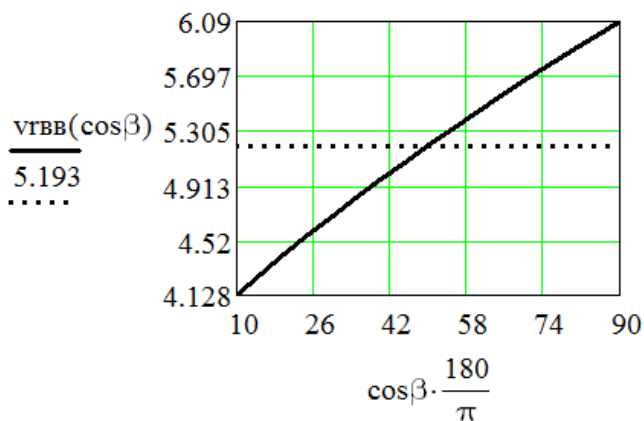


Рис. 3. Графическая зависимость $v_{r\text{ВВ}} = f(\beta)$

Как видно, зависимость $v_{r1} = f(\beta)$ почти нелинейно возрастает в соответствии с формулой (9) в [17] при β в пределах от 10° до 90° .

2.2. Отыщем ту же относительную скорость частиц воздуха v_{r2} по конечной аналитической формуле (4), м/с:

$$v_{r2} = v_e \cos \alpha + \sqrt{(v_e \cos \alpha)^2 - (v_e^2 - v_a^2)} = 2,475 \cdot (0,8781) + \sqrt{(2,475 \cdot (0,8781))^2 - (2,475^2 - 2,9^2)} = 4,82.$$

Произведем расчёт второго корня уравнения (4):

$$v_{r2} = v_e \cos \alpha + \sqrt{(v_e \cos \alpha)^2 - (v_e^2 - v_a^2)} = 2,475 \cdot (0,8781) - \sqrt{(2,475 \cdot (0,8781))^2 - (2,475^2 - 2,9^2)} = -0,474.$$

Как видно, второй корень уравнения (4) не удовлетворяет решению задачи, поскольку при этом значение скорости v_{r2} имеет отрицательный знак, т.е. $v_{r2} = -0.474$ м/с, означающий отсутствие физического смысла расчёта:

Отметим, что относительная ошибка расчёта первого корня уравнения (4), сравнительно с данными формулы (9 в [17]), составила $\delta v_{r2} \approx 7,2\%$, что находится в пределах точности инженерных расчётов. Однако следует иметь в виду, что формула (4.5) в [15] и/или (9) в [17] некорректна.

2.3. Теперь вычислим относительную скорость частиц воздуха v_{r2} по другой аналитической формуле (7), м/с:

$$v_{r1} = v_a \cos \alpha + \sqrt{(v_a \cos \alpha)^2 - (v_a^2 - v_e^2)} = 2,9 \cdot 0,866 + \sqrt{(2,9 \cdot 0,866)^2 - (2,9^2 - 2,475^2)} = 4,596.$$

Произведем расчёт второго корня уравнения (7):

$$v_{r2} = v_a \cos \alpha - \sqrt{(v_a \cos \alpha)^2 - (v_a^2 - v_e^2)} = 2,9 \cdot 0,866 - \sqrt{(2,9 \cdot 0,866)^2 - (2,9^2 - 2,475^2)} = 0,497.$$

Здесь второй корень уравнения (7) не удовлетворяет решению задачи, поскольку значение скорости v_{r2} значительно меньше, чем величина v_{r1} .

Отметим, что относительная ошибка расчёта первого корня уравнения (7), сравнительно с данными первого корня формулы (4), составила $\delta v_{r1} = 4,68\%$, что приемлемо для инженерных расчётов. Поэтому для дальнейших расчётов рекомендуем воспользоваться либо аналитической формулой (4), либо конечной формулой (7).

Построим графическую зависимость $v_{r\text{ВВ}} = f(\alpha)$, варьируя значение угла α между относительной скоростью частиц воздуха v_r и скоростью движения вагона v_e , (см. формулу (4)), а также между скоростью движения вагона v_e и скоростью ветра по отношению к земле v_a в пределах от 10° до 90° с шагом $\Delta\alpha = 5^\circ$, согласно формуле (7), (рис. 4).

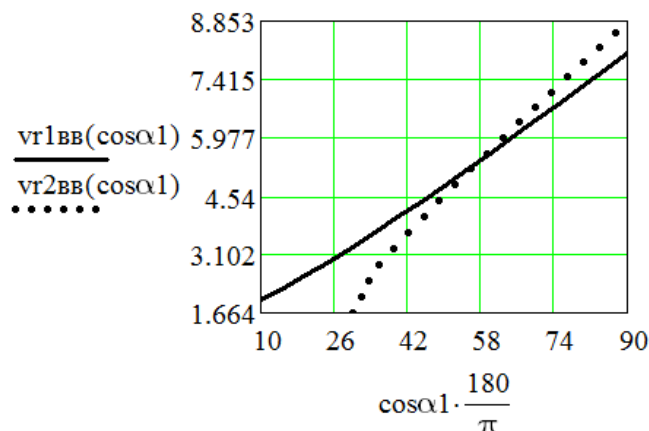


Рис. 4. Графическая зависимость $v_{r\text{ВВ}} = f(\alpha)$

Анализируя характер зависимости $v_{r\text{ВВ}} = f(\alpha)$, построенный по формулам (4) и (7), отметим, что эти зависимости нелинейно возрастающие, причем в соответствии с формулой (7), начиная от значения угла $\alpha \geq 30^\circ$.

При этом по формуле (7) при $\alpha = 29^\circ 59'$ получается комплексный результат:

$$v_{r1} = \mathbf{R}(v_{r1}) + \mathbf{I}(v_{r1}) = 1,498 - 0,203i \cdot 10^{-3},$$

где $\mathbf{R}(v_{r1}) = 1,498$ – действительные части чисел v_{r1} ; $\mathbf{I}(v_{r1}) = -0,203i \cdot 10^{-3}$ – мнимые части чисел v_{r1} (i – мнимая единица) [18].

Это означает, что формула (7) при заданных исходных данных применима лишь при $\alpha \leq 29^\circ 59' \approx 30^\circ$.

2.4. По формуле (4.5) в [5] и/или (9) в [17] вычислим относительную скорость частиц воздуха v_r при принятом значении $\beta = 30^\circ$ и/или $\beta = \pi/6$ рад. [15], м/с:

$$v_{r3} = v_e + v_a = 2,475 + 2,9 = 5,375.$$

Здесь положительный знак величины относительной скорости частиц воздуха v_{r3} означает наличие воздействия сопротивления от воздушной среды и ветра $\omega_{\text{вс}}$ и/или $\omega_{\text{вс}}$ на движение вагона.

По формуле (13) произведем расчёт относительной скорости частиц воздуха v_{r3} при $\alpha = 28^\circ 35'$ (см. результаты расчетов по формуле (17) в [17]), м/с:

$$v_{r3} = v_e - v_a \sin \alpha = 2,475 - 2,9 \cdot 0,4784 = 1,088.$$

Осуществим расчет относительной скорости частиц воздуха v_{r3} по скорректированной формуле (14), м/с:

$$v_{r3} = v_e - v_a = 2,475 - 2,9 = -0,425.$$

Относительная ошибка расчёта v_{r3} , вычисленная по формуле (9), сравнительно с данными формулы (13), составляет $\delta v_{r3} \approx 79,8\%$, что подтверждает некорректность принятого допущения о пренебрежении значением $\cos \chi = 0,4784$ при $\beta < 30^\circ$ при учете проекции встречного ветра.

2.5. Производим расчёт удельного сопротивления от воздушной среды и ветра $\omega_{\text{св}}$ на движение вагона при воздействии встречного ветра, кг/тс (размерность в системе единиц МКГСС, согласно [15]):

по формулам (4.2) и (4.5) в [15] и/или (9) в [17] –

$$\omega_{cb} = cv_r^2 = 0,0086 \cdot 5,193^2 = 0,249 = 0,25;$$

по формулам (4.2) в [15] и по конечной аналитической формуле (4) в [17] –

$$\omega_{cb} = cv_r^2 = 0,0086 \cdot 4,82^2 = 0,201 = 0,2;$$

по формулам (4.2) в [15] и по другой аналитической формуле (7) –

$$\omega_{cb} = cv_r^2 = 0,0086 \cdot 4,596^2 = 0,174;$$

по формулам (4.2) в [15] и (9) в [17] –

$$\omega_{cb} = cv_r^2 = 0,0086 \cdot 5,375^2 = 0,273;$$

по формулам (4.2) в [15] и уточнённой формуле (13) в [17] –

$$\omega_{cb} = cv_r^2 = 0,0086 \cdot 1,088^2 = 0,01.$$

Выполнение расчёта по уточнённой формуле (14) не имеет смысла, поскольку $v_a < v_e$, а в рассматриваемом примере $v_a = 2,9$ и $v_e = 2,475$ м/с, т.е. $v_a > v_e$ и $v_r = 2,475 - 2,9 = -0,325$.

Результаты расчётов ω_{cb} при воздействии встречного ветра по формуле (4.2) в [15] при различных значениях относительной скорости частиц воздуха v_r , оставим без комментариев.

Построим графическую зависимость $\omega_{cb} = f(\alpha)$, варьируя значение угла α между относительной скорости частиц воздуха v_r и скоростью движения вагона v_e (см. формулу (4)), а также между скоростью движения вагона v_e и скоростью ветра по отношению к земле v_a , согласно формуле (7), в пределах от 10° до 90° с шагом $\Delta\alpha = 5^\circ$ (рис. 5).

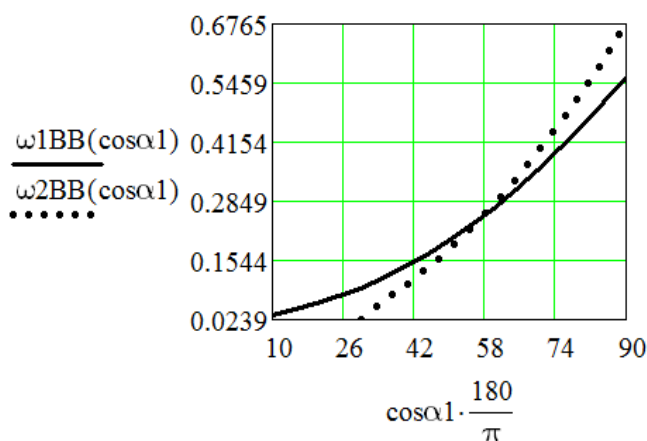


Рис. 5. Графическая зависимость $\omega_{cb} = f(\alpha)$

Анализируя характер зависимости $\omega_{cb} = f(\alpha)$, построенный по формулам (4.2) в [15] и (4), (7) в [17], отметим, что эти зависимости нелинейно возрастающие, причем в соответствии с формулам (4.2) в [15] и (7) в [17], начиная при значении угла $\alpha \geq 30^\circ$.

При этом по формулам (4.2) в [15] и (7) в [17] при $\alpha = 29^\circ 59'$ получается комплексный результат:

$$\omega_{cb1} = \mathbf{R}(\omega_{cb1}) + \mathbf{I}(\omega_{cb1}) = 0,019 + 5,2255i \cdot 10^{-3},$$

где

$$\begin{aligned} \mathbf{R}(\omega_{cb1}) &= 0,019^\circ - \text{действительные части чисел } \omega_{cb1}; \\ \mathbf{I}(\omega_{cb1}) &= 5,2255i \cdot 10^{-3} - \text{мнимые части чисел } \omega_{cb1} \\ & (i - \text{мнимая единица}). \end{aligned}$$

Это означает, что формулы (4.2) в [15] и (7) в [17] при заданных исходных данных применимы лишь при $\alpha \geq 29^\circ 59'$.

Выводы

По результатам расчёта относительной скорости v_r частиц воздуха видны грубые ошибки, допущенные при построении математической модели учета воздействия попутного и/или встречного ветра (см. формулы (4.5) и (4.7) в [15]). Они окончательно сводят на нет практическую значимость применения в горочных конструктивных и технологических расчётах формулы (4.2) для нахождения удельного сопротивления от воздушной среды и ветра ω_{cb} (или w_{bc}) на движение вагона в нормативно-техническом документе [15], полученные на основе эмпирических зависимостей с учётом аэродинамических показателей (обтекаемость) вагонов (см. среднюю колонку на стр. 37 в [21]).

Таким образом, на наш взгляд, (выражаясь словами авторов статьи [22]) в развёрнутом универсальном виде формулы (2) в [22] и в нормативно-техническом документе [15] содержатся антинаучные материалы, не соответствующие принципам теоретической механики [19].

Отсюда ещё раз возникает резонный вопрос: разве, ради справедливости в науке, такие непоправимые антинаучные материалы, допущенные в [11 – 16], не могут послужить основанием для пересмотра существующей методики горочных и технологических расчётов сортировочной горки. Как нами отмечено ранее, к сожалению, «они затрагивают научную репутацию основателей науки о железнодорожных станциях и узлах и целой плеяды их последователей» (см. второй и третий абзацы первой колонки на стр. 21 в [21]).

Литература

1. Prokop J. & Myojin Sh.: Design of Hump Profile in Railroad Classification Yard. *Memoirs of the Faculty of Engineering, Okayama University*. 1993. Vol. 27. No. 2. P. 41-58. - [Электронный ресурс]. URL: http://ousar.lib.okayama_u.ac.jp/file/15404/Mem_Fac_Eng_OU_27_2_41.pdf.
2. Prokop J. & Myojin Sh.: Simulation of Hump Performance in Railroad Classification Yard. *Memoirs of the Faculty of Engineering, Okayama University*. 1993. Vol. 27. No. 2. P. 59-71.
3. Zhang C. Wei Y., Xiao G., Wang Z., Fu J.: Analysis of Hump Automation in China. Proc. of Second Intern. Conf. on Transportation and Traffic Studies, 2000, pp. 285-290. DOI: 10.1061/40503(277)45.
4. Zářecký S. & Grůň J. & Žilka J. The newest trends in marshalling yards automation. *Transport Problems*. 2008. Vol. 3. No. 4. P. 87-95. - [Электронный ресурс]. URL: http://transportproblems.polsl.pl/pl/Archiwum/2008/zeszyt4/2008t3z4_13.pdf
5. Bobrovskiy V., Kozachenko D., Dorosh A., Demchenko E., Bolvanovska T., Kolesnik A.: The research of the domain of permissible braking modes of cuts on the gravity humps. *Transport Problems. IV Symposium of Young Researchers*. 2015. – pp. 632-640.

6. Bobrovskiy V., Kozachenko D., Dorosh A., Demchenko E., Bolvanovska T., Kolesnik A.: Probabilistic Approach for the Determination of Cuts Permissible Braking Modes on the Gravity Humps. *Transport Problems*. 2016. Vol. 11, Issue 1, pp. 147-155. doi: 10.20858/tp.2016.11.1.14.
7. Dmitro Kozachenko, Vladymyr Bobrovskiy, Yvgen Demchenko.: A method for optimization of time intervals between rolling cuts on sorting humps. *Journal of Modern Transportation*, Vol 26, Iss. 3, Pp. 189-199 (2018). – [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1007/s40534-018-0161-2>
8. Khabibulla Turanov, Andrey Gordienko.: Analytical Determination of Conditions of Wagon Rolling Down Marshalling Hump Profiles. *Open Access Library Journal*, 2015, 2, e1912. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/oalib.1101912>. PP. 1-11.
9. Туранов Х.Т. Некоторые проблемы теоретических предпосылок динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации, 2015, № 3 (237). – С. 29 - 36. ISSN 2072-8115.
10. Turanov Kh.T., Gordienko A.A.: Movement of a railway car rolling down a classification hump with a tailwind. Book series: MATEC Web of Conferences conference proceedings. 2018. - С. 02027.
11. Старшов И.П. Определение воздушного сопротивления движению вагонов на сортировочных горках / И.П. Старшов // Вестник Всесоюз. научно-исслед. ин-та ж.-д. транспорта. -1970. - № 6. – С. 16-20.
12. Сопротивление движению грузовых вагонов при скатывании с горок / Под ред. Е.А. Сотникова // Труды ЦНИИ МПС, вып. 545. – М: Транспорт, 1975. - 104 с. (с. 88–97).
13. Родимов Б.А. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных горок / Б.А. Родимов, В.Е. Павлов, В.Д. Прокинова. – М: Транспорт, 1980. - 96 с. (с. 10, 11).
14. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР (ВСН 56–78) / Минстрой – МПС СССР. – М: 1978. - С. 151–158.
15. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1 520 мм. – М.: ТЕХИНФОРМ, 2003. - 168 с.
16. 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.
17. Туранов Х.Т. О некорректности формулы удельного воздушного сопротивления движению вагона по профилю сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джаббаров // Бюллетень транспортной информации. - 2020. - № 2 (296). – С. 21 - 28. ISSN 2072-8115.
18. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: Учебн. пос. / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – СПб.: Изд-во «Лань», 2009. - 608 с.
19. Комаров К.Л. Теоретическая механика в задачах железнодорожного транспорта / К.Л. Комаров, А.Ф. Яшин. – Новосибирск: Наука, 2004. - 296 с.
20. Кирьянов Д.В. Самоучитель MathCAD 13. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. - 528 с.
21. Рудановский В.М. О попытке критики теоретических положений динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки / В.М. Рудановский, И.П. Старшов, В.А. Кобзев // Бюллетень транспортной информации. - 2016. - № 6 (252). – С. 19-28. ISSN 2072-8115.
22. Позойский Ю.О. К вопросу движения вагона по уклону железнодорожного пути / Ю.О. Позойский, В.А. Кобзев, И.П. Старшов, В.М. Рудановский // Бюллетень транспортной информации. - 2018. - № 2 (272). – С. 35-38. ISSN 2072-8115.

Сведения об авторах

Туранов Хабибулла Туранович, Почётный железнодорожник, доктор техн. наук, профессор кафедры «Теоретическая механика и теории механизмов и машин» ТашГТУ.

Узбекистан, 100174, Ташкент. ул. Университетская, 2.
Тел. + 7 963 035 31 89 (моб.).
E-mail: khturanov@yandex.ru.

Илсалиев Даурен Ихтиярович, кандидат техн. наук, доцент кафедры «Грузовые транспортные системы» ТашГТУ

Узбекистан, 100069, Ташкент. ул. Темирийулчилар, 1.
Тел. + 998 97 462 21 29 (моб.).
E-mail: shuxratxoja@mail.ru.

Саидвалиев Шухрат Умарходжаевич, докторант кафедры «Грузовые транспортные системы» ТашГТУ

Узбекистан, 100069, Ташкент. ул. Темирийулчилар, 1.
Тел. + 998 97 462 21 29 (моб.).
E-mail: shuxratxoja@mail.ru.