

Анализ организации транспортного обеспечения в вооруженных силах иностранных государств показывает, что данный вид тылового обеспечения в условиях современной вооруженной борьбы продолжает оставаться одним из основных видов обеспечения войск. Транспорт имел и имеет огромное военное значение во все времена, во всех странах.

УДК 656.212

ВОЗДЕЙСТВИЕ СИЛЫ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ВАГОН ПРИ ЕГО СКАТЫВАНИИ С ГОРКИ

Х. Т. ТУРАНОВ, А. В. МЯГКОВА

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
г. Екатеринбург, Российская Федерация

Н. У. ЮНУСОВ, Д. Б. БУТУНОВ

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ)

Актуальность темы. Анализ литературных источников [1, 2] показывает, что расчётная скорость ролпуска вагона с горки найдена по формуле Галилея, как свободно падающего тела или согласно закону сохранения энергии (потенциальная энергия вагона переходит в кинетическую), что не соответствует физическому смыслу решаемой задачи, поскольку она должна быть определена в результате решения дифференциального уравнения движения вагона. Соппротивления движению при скатывании вагона с горки в виде удельных сил сопротивления в кгс/тс (как внесистемные единицы измерения сил) представлены эмпирическими формулами.

В полученных формулах для определения времени и пройденного пути при скатывании с горки на скоростном участке (и не только на этом участке) вовсе не учтены движения вагона по профилю горки при чистом качении или при сочетании качения со с

В соответствии с этим разработана основа теории расчёта скатывания вагона с сортировочной горки созданием, например, расчётной модели горки на скоростном участке остаётся всё ещё актуальной прикладной задачей железнодорожного транспорта и транспортной науки.

Формулировка задачи. Требуется определить зависимости продольной составляющей проекции относительной скорости воздушного потока от скорости ветра по отношению к земле (абсолютная скорость частиц воздуха) и скорости вагона (переносная скорость) при его скатывании с горки при встречном и попутном ветре.

Методы решения. Воспользуемся классическими понятиями и положениями теоретической механики, например, такими, как теорема о сложении скоростей при сложном движении [3].

Условия задачи и принятые предпосылки. Рассмотрим общий случай, когда вагон с сортировочной горки скатывается поступательно с заданной начальной скоростью v_0 (обычно 4–5 км/ч или 1,1–1,38 м/с). При скатывании одиночного вагона (или отцепа) с горки вагон будет испытывать воздействие в основном внешних сил в виде сил тяжести вагона с грузом или без груза – \vec{G} и силы аэродинамического сопротивления воздуха – \vec{F}_a (где $\vec{F}_a \in \vec{F}'_{ax}, \vec{F}'_{ay}$).

Сила аэродинамического сопротивления воздуха \vec{F}_a относится к классу реактивной силы, зависит от относительной скорости и действует на объект, движущийся в такой, например, среде, как воздух. Сила аэродинамического сопротивления воздуха – это результат учёта отбрасываемой среды. Как и другая реакция, она препятствует движению, в данном случае относительно скорости движения воздушного потока (встречный ветер) \vec{v}_a . Вместе с тем она может быть отнесена к числу активных сил, поскольку, начав действовать на объект, может привести его в движение, если направление скорости воздуха (попутный ветер) совпадает с направлением скорости вагона.

Силу \vec{F}_a , кН определяют по аэродинамической формуле [3]

$$F_a = 0,5 \cdot 10^{-3} c_x \rho_a A v_a^2, \quad (1)$$

где c_b – безразмерный экспериментальный коэффициент сопротивления воздуха, зависящий от формы тела и от того, как оно ориентировано при движении (обычно принимают в зависимости от формы поверхности в пределах от 0,55 до 1,2, например, цилиндрические тела, имеющие в сечении круг (труба) $c_b = 0,6$; для плоской поверхности $c_b = 1,1$); ρ_b – средняя плотность воздуха, кг/м^3 (обычно принимают 1,26–1,29); A – максимальная площадь сечения плоскости, перпендикулярной воздушному потоку, м^2 ($A \in \{A_t, A_b\}$ – площадь либо торцевой, либо боковой поверхностей вагона с грузом); \bar{v}_{rb} ($\bar{v}_{rb} \in \{\bar{v}_{rb,x}, \bar{v}_{rb,y}\}$) – скорость воздуха относительно вагона с грузом, м/с .

Если вычисляется сила аэродинамического сопротивления воздуха на вагон (отцеп) в поперечном направлении, то $\bar{v}_{rb} = \bar{v}_{rb,y}$ – поперечная составляющая скорости воздуха относительно вагона, а если в продольном направлении, то $\bar{v}_{rb} = \bar{v}_{rb,x}$ – продольная составляющая этой скорости.

В (1) безразмерный экспериментальный коэффициент сопротивления воздуха c_b соответствует коэффициенту воздушного сопротивления одиночных вагонов или первого вагона в отцепе, описанному в [3].

Вагон движется поступательно с переносной скоростью $\bar{v}_e = \bar{v} = \bar{v}_a$ (отыскиваемая величина) с сортировочной горки (рисунок 1).

На рисунке 1 обозначены: \bar{G} – сила тяжести вагона с грузом (или без груза), кН ; \bar{F}'_{ax} и \bar{F}'_{ay} – проекции силы аэродинамического сопротивления на продольную и поперечную оси вагона, кН ; I_{ey} – поперечная переносная сила инерции, направленной поперёк вагона (ось Oy) при движении вагона как на прямом, так и на кривом участках пути и появляющейся также при ударе колёсных пар на стрелочные переводы, кН ; I_{nx} – нормальная составляющая силы инерции в абсолютном движении, направленной горизонтально поперёк вагона (ось Oy), кН ; $2L$, $2B$ и $2H$ – соответственно длина, ширина и высота груза, м ; ψ (или ψ_0) – уклон профиля горки относительно горизонтали, рад.

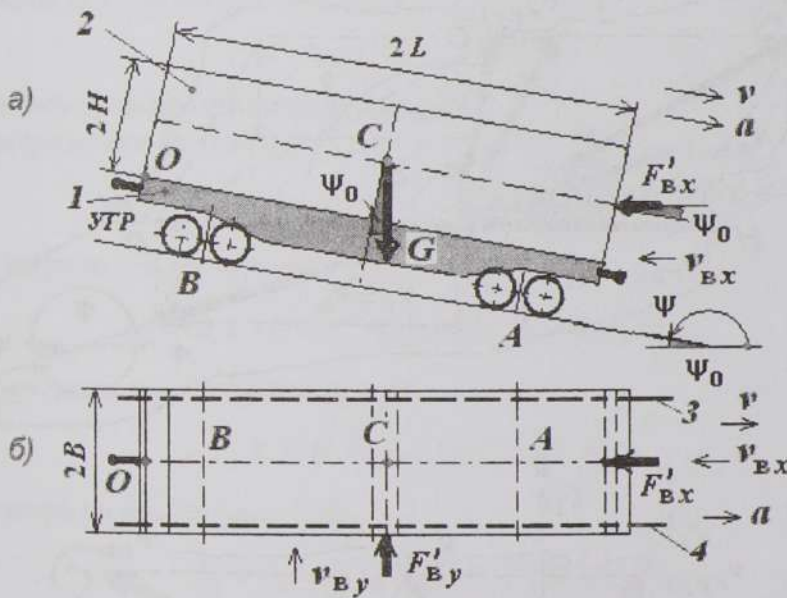


Рисунок 1 – Физическая модель скатывания вагона с горки:
1 – вагон; 2 – груз; 3 и 4 – наружный и внутренний рельсовые нити

Решение. Покажем зависимость проекции относительной скорости частиц воздуха (скорость ветра) \bar{v}_{rb} (вычисляемая величина) от скорости ветра по отношению к вершине горки (земле) (т. е. абсолютная скорость частиц воздуха) $\bar{v}_{a,b}$ (по данным главы 5 СНиП «Строительная климатология и геофизика» величина задаваемая) и скорости вагона $\bar{v} = \bar{v}_a$ (отыскиваемая величина). Допускаем, что вагон скатывается с вершины горки с переносной скоростью $\bar{v}_e = \bar{v} = \bar{v}_a$ относительно неподвижной системы координат $Oxyz$. Примем, что с вагоном жёстко связана подвижная система координат $O_1x_1y_1z_1$, а частицы воздуха, в свою очередь, движутся со скоростью \bar{v}_{rb} относительно подвижной системы координат $O_1x_1y_1z_1$ (т. е. вагона) (рисунок 2).

На рисунке 2 обозначены: O – начала неподвижной системы координат $Oxyz$, жёстко связанной с вершиной горки (ВГ); O_1 – начала подвижной системы координат $O_1x_1y_1z_1$, жёстко связанной с вагоном; H, V и W – горизонтальная, вертикальная и фронтальная плоскости; ψ_0 – угол спуска (в соответствии с профилем горки – величина задаваемая); $\bar{v}_{r.n}$ – относительная скорость частиц воздуха (скорость ветра) по отношению к подвижной системе отсчёта $O_1x_1y_1z_1$ (вагон) (величина вычисляемая); λ – направляющий угол вектора относительной скорости частиц воздуха по оси Ox (вычисляемая величина); $\bar{v}_{a.n}$ – абсолютная скорость частиц воздуха по отношению к земле (к вершине горки) (величина задаваемая); ξ – направляющий угол вектора абсолютной скорости частиц воздуха по оси Ox (величина задаваемая).

Считаем, что относительная скорость частиц воздуха (скорость ветра) $\bar{v}_{r.n}$ расположена на горизонтальной плоскости H и направлена под углом λ (или λ_0) к горизонту (ось Ox), а переносная скорость (скорость вагона) $\bar{v}_e = \bar{v} = \bar{v}_b$ – на вертикальной плоскости V и направлена под углом спуска горки ψ (или ψ_0) к горизонту (ось Ox).

Согласно теореме о сложении скоростей при сложном движении [4]

$$\bar{v}_{a.n} = \bar{v}_{ex} + \bar{v}_{r.n} \quad (2)$$

где $\bar{v}_{a.n}$ – абсолютная скорость частиц воздуха (скорость ветра); $\bar{v}_{ex} = \bar{v}_x = \bar{v}_b$ – проекция переносной скорости (скорость вагона) $\bar{v}_e = \bar{v} = \bar{v}_b$ на ось Ox ,

$$v_{ex} = v_x = v_{bx} = v_e \cos(\psi_0),$$

с учётом того, что ψ (или ψ_0) – угол спуска горки к горизонту (ось Ox);

$\bar{v}_{r.n}$ – относительная скорость частиц воздуха (скорость ветра) по отношению к вагону.

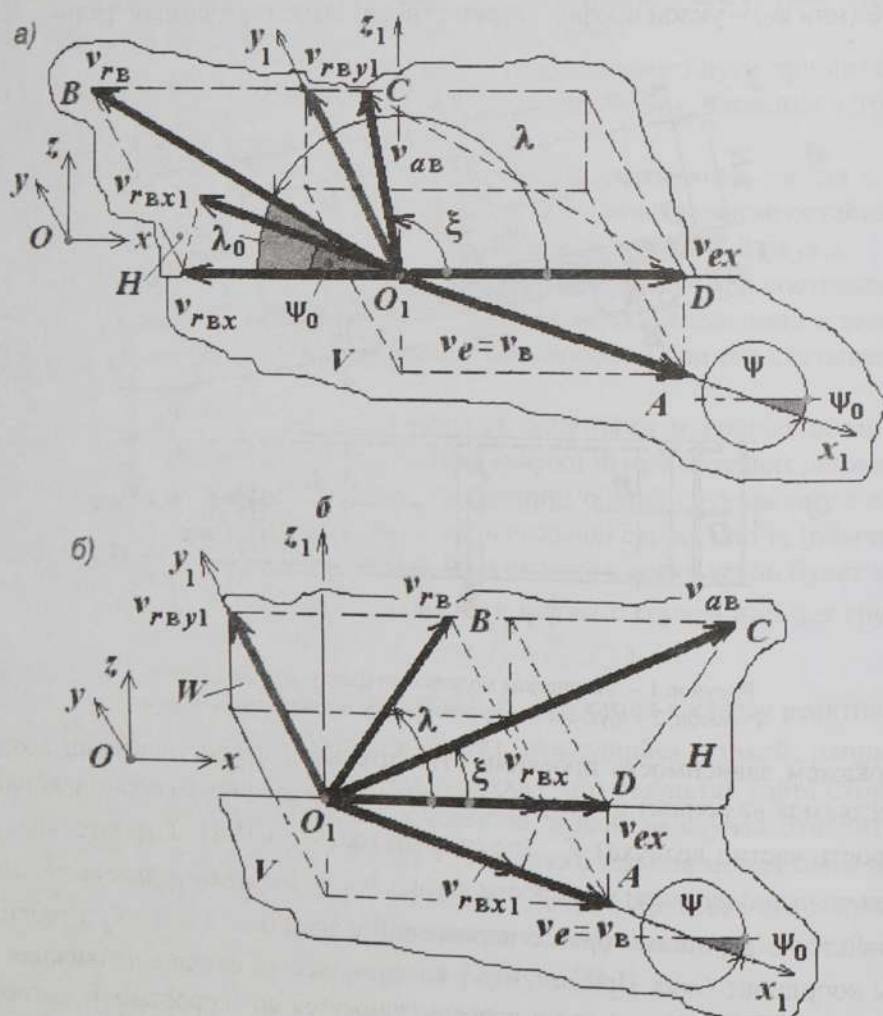


Рисунок 2 – Векторная диаграмма скорости вагона и ветра: а – встречный ветер; б – попутный ветер

Будем иметь в виду, что для рисунка 1, а, где направление ветра противоположно направлению движения вагона (т. е. встречный ветер), выражение (2), согласно правилу вычитания векторов, запишется в виде $\vec{v}_{a,в} = \vec{v}_{ex} + (-\vec{v}_{r,в})$, откуда $\vec{v}_{r,в} = \vec{v}_{ex} - \vec{v}_{a,в}$.

В последнем выражении модуль относительной скорости частиц воздуха (т.е. скорость ветра относительно вагона) $\vec{v}_{r,в}$ находят согласно теореме косинусов [5]:

$$v_{r,в} = \sqrt{v_{ex}^2 - v_{a,в}^2 \pm 2v_{ex}v_{a,в} \cos(v_{ex}, v_{a,в})}. \quad (3)$$

В (3), если угол между векторами \vec{v}_{ex} и $\vec{v}_{a,в}$ и $\cos(v_{ex}, v_{a,в})$ тупой, чему соответствует попутный ветер, то $\cos(v_{ex}, v_{a,в}) = \cos(\xi)$ и знак «плюс», а, если угол между векторами \vec{v}_{ex} и $\vec{v}_{a,в}$ и $\cos(v_{ex}, v_{a,в})$ острый, чему соответствует встречный ветер, то $\cos(v_{ex}, v_{a,в}) = \cos(\xi)$ и знак «минус» (ξ – угол между векторами \vec{v}_{ex} и $\vec{v}_{a,в}$).

В (3) направляющий угол λ относительной скорости частиц воздуха (скорость ветра) $\vec{v}_{r,в}$ находят согласно теореме синусов $\sin(\lambda) = \frac{v_{a,в}}{v_{r,в}} \sin(\xi)$.

Для рисунка 1, а, где направление ветра противоположно направлению движения вагона (т. е. встречный ветер), проекция (2.4) на ось Ox имеет вид

$$v_{r,вx} = v_e \cos(\psi_0) - v_{a,в} \cos(\xi) \quad (4)$$

где ξ – угол между результирующим вектором $v_{a,в}$ (абсолютная скорость частиц воздуха (скорость ветра)) и продольной осью Ox , рад.

Для рисунка 1, б, где направление ветра совпадает с направлением движения вагона (т. е. попутный ветер), проекция (2.2) на ось Ox имеет вид

$$v_{r,вx} = v_{a,в} \cos(\xi) - v_e \cos(\psi_0) \quad (5)$$

Сила аэродинамического сопротивления воздуха, кН:

для встречного ветра на ось Ox (рисунок 1, а)

$$F'_{rx} = 0,5 \cdot 10^{-3} c_x \rho_v A_T (v_e \cos(\psi_0) - v_{a,в} \cos(\xi))^2; \quad (6)$$

– для попутного ветра на ось Ox (рисунок 1, б)

$$F'_{rx} = 0,5 \cdot 10^{-3} c_x \rho_v A_T (\cos(\xi) - v_e \cos(\psi_0))^2; \quad (7)$$

– для встречного ветра на ось Oy (рисунок 1, а)

$$F'_{ry} = 0,5 \cdot 10^{-3} c_x \rho_v A_6 (v_{r,в} \sin(\lambda_0))^2; \quad (8)$$

– для попутного ветра на ось Oy (рис. 1, б)

$$F'_{ry} = 0,5 \cdot 10^{-3} c_x \rho_v A_6 (v_{r,в} \sin(\lambda))^2. \quad (9)$$

В последних формулах: A_T – площадь торцевой поверхности вагона с грузом, м²: $A_T = 2B \times 2H$ (где $2B$ и $2H$ – ширина и высота наветренных поверхностей вагона с грузом, м); A_6 – площадь боковой поверхности вагона с грузом: $A_6 = 2L \times 2H$ (где $2L$ – длина боковых наветренных поверхностей вагона с грузом, м), м².

Выводы. На основе классических положений теоретической и прикладной механики построена расчётная модель горки на скоростном участке при чистом качении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Правдин, Н. В. Анализ существующих методов расчёта сортировочных горок. / Н. В. Правдин, С. А. Бессоненко // Транспорт: Наука, техника и управление. – 2004, – № 5. – С. 22–27.
- 2 Правдин, Н. В. Определение уклонов скоростных участков и тормозных позиций на спусковой части сортировочной горки / Н. В. Правдин, С. А. Бессоненко // Транспорт: Наука, техника и управление. – 2008, – № 9. – С. 6–10.

- 3 Туранов, Х. Т. Теоретическая механика в задачах грузовых перевозок : [монография] / Х. Т. Туранов. – Новосибирск : Наука СО РАН, 2009. – 376 с.
- 4 Бутенин, Н. В. Курс теоретической механики. В 2 т. / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. – СПб. : Изд-во «Лань», 1998. – 736 с.
- 5 Воднев, В. Т. Основные математические формулы / В. Т. Воднев, А. Ф. Наумович, Н. Ф. Наумович. – Минск : Вышэйшая школа, 1988. – 269 с.

УДК 656

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМЕДЛЕНИЯ И НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ НА РПК С РАЗЛИЧНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА ПРИМЕРЕ Г. ГОМЕЛЯ

Д. П. ХОДОСКИН

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Замедление и начальная скорость являются основными параметрами при составлении модели движения ТС в зоне дилеммы. В ходе проведения замеров искомым параметром использовался прибор «Эффект». В итоге были собраны наборы данных, описывающих условия движения автомобилей при подъезде к РПК с разными характеристиками. Целью данных исследований было сбор данных для более глубокого изучения механизма столкновений с ударом сзади, так как причиной этого вида аварий является резкое торможение лидирующего автомобиля. Прибор «Эффект» кроме искомым параметров фиксирует также фактический тормозной путь; норму тормозного пути, приведенную к реальной начальной скорости; время торможения; усилие давления водителя на педаль; линейное отклонение. С помощью данного прибора проводились замеры на подъездах к РПК, обладающих какой-либо особенностью. Все исследуемые РПК были разбиты на шесть групп особенностей (характеристик): на РПК имеются светофорные объекты (СФО) с таймером; на РПК отсутствуют дублирующие светофоры; на РПК имеются СФО, вынесенные над проезжей частью; при подъезде к РПК видимость сигналов светофора менее 150 м; на РПК имеются входы с полосами, на которых динамический коэффициент приведения состава ТП более 1,25; на РПК имеются СФО с продолжительностью красно-желтого сигнала 3 с. Результаты исследований замедления и начальной скорости торможения приведены в таблице 1.

Далее с помощью компьютерной программы кафедры ОАПДД «Исследование распределения случайных величин» были определены оптимальные распределения полученных в ходе проведения замеров выборок по каждой характеристике РПК.

В итоге по таблице 1 и в целом по проведенной работе можно сделать следующие выводы:

- самое большое среднее замедление ($3,52 \text{ м/с}^2$) зарегистрировано в группе РПК, на которых имеются полосы движения с динамическим коэффициентом приведения ТП более 1,25. Эта величина замедления объясняется тем, что здесь речь идет преимущественно о крайних полосах, по которым движутся грузовые автомобили, автопоезда, автобусы, сочлененные автобусы, т.е. с тяжелым транспортным составом, который приводит к частым и резким торможениям;
- в данной характеристике РПК была отмечена одна из самых низких скоростей при подъезде к РПК – 37 км/ч; причина этого очевидна;
- в выборке с характеристикой «видимость сигналов светофора менее 150 м» отмечается одна из наиболее больших средних скоростей (!) – 38,6 км/ч, соответственно и большое среднее замедление – $3,44 \text{ м/с}^2$. Причина таких характеристик в данной выборке неясна, так как плохая видимость преимущественно связана с наличием перед РПК резких поворотов, опор освещения или деревьев перед СФО. Может быть, по данным причинам эти РПК являются одними из наиболее аварийных в г. Гомеле;
- на РПК, на которых имеются СФО с таймером, были зарегистрированы начальная скорость торможения 38,1 км/ч и практически самое минимальное замедление $2,91 \text{ м/с}^2$. Причина таких величин лежит на поверхности – оборудование таймером. Однако при минимальном количестве столкновений с ударом сзади на таких РПК резко (по сравнению с обычными РПК) возрастает величина межфазных аварий, что доказано как исследованиями, так и статистикой;
- на РПК, на которых отсутствуют дублирующие светофоры, отмечаются самая минимальная начальная скорость торможения – 32,8 км/ч и самое наименьшее среднее замедление – $2,66 \text{ м/с}^2$. Это отчасти объясняется тем, что водители должны остановиться перед стоп-линией, а не на ней или на пешеходном переходе, как бывает в большом количестве случаев.