

УДК 656.212.5

https://doi.org/10.33619/2414-2948/103/46

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВСТРЕЧНОГО ВЕТРА НА УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ СКАТЫВАНИИ ВАГОНА С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

©*Ситников С. А.*, ORCID: 0000-0002-7653-6587, SPIN-код: 6830-4129,  
канд. техн. наук, Уральский государственный университет путей сообщения,  
г. Екатеринбург, Россия, S.Sitnikov1958@mail.ru

## ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF HEADWIND SPEED AND DIRECTION ON THE SPECIFIC RESISTANCE WHEN ROLLING A WAGON FROM A SHIPMENT HUMPH

©*Sitnikov S.*, ORCID: 0000-0002-7653-6587, SPIN-code: 6830-4129, Ph.D., Ural State University  
of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia, S.Sitnikov1958@mail.ru

*Аннотация.* От конструкции и текущего состояния сортировочной горки зависят качество сортировочного процесса, перерабатывающая способность станции, сохранность вагонного парка и перевозимых грузов. Изучение и оценка влияния различных факторов на удельное сопротивление движению вагонов от воздушной среды и ветра позволит упростить решение отдельных задач в данной области. В работе показан расчет с учетом метеоусловий для оценки скорости вагонов железнодорожного транспорта. Представленные значения могут быть использованы в качестве справочного материала при определении расчетных метеорологических условий для проектирования сортировочных горок.

*Abstract.* The quality of the sorting process, the processing capacity of the station, and the safety of the rolling stock and transported goods depend on the design and current condition of the hump. Studying and assessing the influence of various factors on the specific resistance to the movement of cars from the air and wind will simplify the solution of individual problems in this area. The paper shows a calculation taking into account weather conditions to estimate the speed of railway cars. The presented values can be used as reference material when determining the design meteorological conditions for the design of hump humps.

*Ключевые слова:* железнодорожный транспорт, сортировочная горка, метеоусловия, удельное сопротивление.

*Keywords:* railway transport, hump, weather conditions, resistivity.

Большая часть вагонопотока перерабатывается на сортировочных станциях, одним из основных элементов которых является сортировочная горка. В настоящее время действуют Правила и нормы проектирования сортировочных устройств, в которых приведена методика расчета высоты сортировочной горки, включающая в себя расчет климатических условий [1]. По существующей методике рассматриваются 4 встречных и 4 попутных румба. Не все румбы оказывают равнозначное влияние на удельное сопротивление движению вагонов от среды и ветра. На данный момент очень сложно оценить, какой из румбов оказывает большее влияние, не выполнив довольно сложный расчет. Соответственно изучение и оценка влияния различных факторов на удельное сопротивление движению вагонов от воздушной среды и ветра является актуальной задачей.

### Методика расчета

Расчет удельного сопротивления движению вагона (отцепа) от воздушной среды и ветра проводился в соответствии с пунктом 4.2. Правил и норм проектирования сортировочных устройств [1]. Удельное сопротивление движению вагона (отцепа) от воздушной среды и ветра:

$$\omega_{\text{св}} = c \cdot v_{\text{от}}^2, \text{ кгс/тс}, \quad (1)$$

где  $c$  — приведенный коэффициент воздушного сопротивления;  $v_{\text{от}}^2$  — относительная (результатирующая) скорость вагона (отцепа) с учетом направления ветра, м/с. Значение коэффициента  $c$  для одиночных вагонов:

$$c = \frac{17,8 \cdot c_x \cdot S}{(273 + t) \cdot q} \quad (2)$$

где  $c_x$  — коэффициент воздушного сопротивления одиночных вагонов или первого вагона в отцепе;  $S$  — площадь поперечного сечения соответственно одиночного (или первого) вагона в отцепе и последующих вагонов в отцепе, м<sup>2</sup>;  $q$  — вес вагона, тс;  $t$  — расчетная температура наружного воздуха, °С. Коэффициент  $c_x$  принимаются по Таблице 1 в зависимости от рода вагона и угла  $\alpha$  (угол между результирующим вектором относительной скорости  $v_{\text{от}}$  и направлением скатывания отцепа). Скорость  $v_{\text{от}}$  и угол  $\alpha$ :

$$v_{\text{от}}^2 = v^2 + v_{\text{в}}^2 + 2 \cdot v \cdot v_{\text{в}} \cdot \cos\beta, \quad (3)$$

$$\alpha = \arcsin \frac{v_{\text{в}} \cdot \sin\beta}{v_{\text{от}}}, \quad (4)$$

где  $v$  — средняя скорость скатывания отцепа на участке, м/с;  $v_{\text{в}}$  — скорость ветра, м/с;  $\beta$  — угол между направлением ветра и осью участка пути, по которому движется вагон (отцеп).

Таблица 1

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ВОЗДУШНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ  $c_x$

Род вагона	Числ о осей	$S, \text{ м}^2$	Угол $\alpha$ между результирующим вектором относительной скорости и направлением движения отцепа, град						
			0	10	20	30	50	70	90
Значения коэффициента воздушного сопротивления $c_x$									
Крытый	4	9,7	1,12	1,46	1,64	1,58	0,92	0,29	0,1

Таблица 2

СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПА НА УЧАСТКЕ  $v, \text{ м/с}$

Расчетные участки горки	с двумя и более ТП на спускной части				с одной ТП на спускной части		без ТП на спускной части
	ГПМ	ГБМ	ГСМ	ГММ	ГСМ	ГММ	ГММ
От вершины горки до начала ТП	4,5	4,2	4,0	3,5	4,5	3,5	
От начала ТП до начала ПТП	6,0	5,5	5,0	4,0	4,5	3,5	3,0
От начала ПТП до начала парковой механизированной тормозной позиции или до башмакобрасывателя	5,0	5,0	4,0	3,0	4,0	3,0	
Сортировочные пути (до расчетной точки)	2,0	2,0	2,0	1,4	2,0	1,4	1,4

Все расчеты проведены исходя из условия, что расчетный бегун – крытый вагон, вес – 24 тс. Исходные данные для расчета:

Скорость встречного ветра $v_B$ , м/с	от 0,1 до 10 с шагом 0,1
Средняя скорость скатывания отцепа на участке $v$ , м/с	1,4; 2; 3; 3,5; 4; 4,2; 4,5; 5; 5,5; 6
Угол между направлением ветра и осью участка пути, по которому движется вагон (отцеп) $\beta$ , градусы	от 0,5 до 90 с шагом 0,5
Расчетная температура наружного воздуха $t$ , °C	-20

Анализ методики расчета [1] позволяет утверждать, что значение угла  $\beta$ , при котором удельное сопротивление максимально, зависит только от скорости встречного ветра и средней скорости скатывания отцепа на участке. Из этого следует, что, определив все значения угла  $\beta$ , при которых удельное сопротивление максимально, с изменением скорости отцепа и скорости встречного ветра (Таблица 3), которую допустимо использовать как справочный материал для определения расчетных метеорологических условий.

Таблица 3

ЗНАЧЕНИЯ УГЛА  $\beta$ , ПРИ КОТОРЫХ УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ  $\omega_{CB}$  ПРИ РАЗНЫХ СКОРОСТЯХ  $v_B$  И  $v$  МАКСИМАЛЬНО

		Скорость встречного ветра $v_B$ , м/с									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Средняя скорость скатывания отцепа на участке $v$ , м/с	Значения угла $\beta$ , при которых удельное сопротивление $\omega_{CB}$ максимально										
	1,4	41,5	42	42,5	43,5	39	34	30,5	30	31	32
	2	41,5	41,5	42	42,5	43	43,5	39,5	36	33	30,5
	3	41	41,5	41,5	42	42,5	42,5	43	43	43,5	41
	3,5	41	41,5	41,5	42	42	42,5	42,5	43	43	43,5
	4	41	41,5	41,5	41,5	42	42	42,5	42,5	43	43
	4,2	41	41,5	41,5	41,5	42	42	42,5	42,5	42,5	43
	4,5	41	41,5	41,5	41,5	42	42	42	42,5	42,5	43
	5	41	41	41,5	41,5	41,5	42	42	42	42,5	42,5
	5,5	41	41	41,5	41,5	41,5	42	42	42	42	42,5
6	41	41	41,5	41,5	41,5	41,5	42	42	42	42,5	
		Скорость встречного ветра $v_B$ , м/с									
		1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
Средняя скорость скатывания отцепа на участке $v$ , м/с	Значения угла $\beta$ , при которых удельное сопротивление $\omega_{CB}$ максимально										
	1,4	33	34	35	35,5	36,5	37	36	35	34,5	33,5
	2	30	30,5	31	32	32,5	33	34	34,5	35	35,5
	3	38	36	33,5	32	30,5	29,5	30	30,5	31	31,5
	3,5	43,5	40,5	38	36	34	32,5	31	30	29,5	30
	4	43,5	43,5	42	39,5	37,5	36	34	33	31,5	30,5
	4,2	43	43,5	43,5	41	39	37	35,5	34	32,5	31,5
	4,5	43	43	43,5	43,5	41	39	37,5	36	34,5	33
	5	43	43	43	43,5	43,5	42,5	40,5	39	37	36
	5,5	42,5	42,5	43	43	43,5	43,5	43,5	42	40	38,5
6	42,5	42,5	42,5	43	43	43	43,5	43,5	43	41	
		Скорость встречного ветра $v_B$ , м/с									
		2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3

		Значения угла $\beta$ , при которых удельное сопротивление $\omega_{св}$ максимально									
Средняя скорость скатывания отцепа на участке $v$ , м/с	1,4	33	32,5	32	31,5	31	30,5	30	30	29,5	29
	2	36,5	37	37	36,5	35,5	35	34,5	34	33,5	33
	3	32	32,5	32,5	33	33,5	34	34,5	35	35,5	35,5
	3,5	30,5	31	31,5	31,5	32	32,5	33	33	33,5	34
	4	29,5	30	30	30,5	31	31	31,5	32	32	32,5
	4,2	30,5	29,5	30	30	30,5	31	31	31,5	31,5	32
	4,5	32	31	30	29,5	30	30	30,5	31	31	31,5
	5	34,5	33,5	32,5	31,5	30,5	30	29,5	30	30	30,5
	5,5	37	36	34,5	33,5	32,5	31,5	31	30	29,5	30
	6	39,5	38	37	36	34,5	33,5	33	32	31,5	30,5
		Скорость встречного ветра $v_B$ , м/с									
		3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4
		Значения угла $\beta$ , при которых удельное сопротивление $\omega_{св}$ максимально									
Средняя скорость скатывания отцепа на участке $v$ , м/с	1,4	29	28,5	28,5	28	28	27,5	27,5	27	27	27
	2	32,5	32	32	31,5	31	31	30,5	30,5	30	30
	3	36	36,5	37	37,5	37	36,5	36	35,5	35	34,5
	3,5	34	34,5	35	35,5	35,5	36	36,5	37	37	37
	4	33	33	33,5	34	34	34,5	34,5	35	35,5	35,5
	4,2	32,5	32,5	33	33,5	33,5	34	34	34,5	35	35
	4,5	31,5	32	32,5	32,5	33	33	33,5	33,5	34	34,5
	5	31	31	31,5	31,5	32	32	32,5	32,5	33	33
	5,5	30	30,5	30,5	31	31	31	31,5	31,5	32	32
	6	30	29,5	30	30	30,5	30,5	30,5	31	31	31,5
		Скорость встречного ветра $v_B$ , м/с									
		4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5
		Значения угла $\beta$ , при которых удельное сопротивление $\omega_{св}$ максимально									
Средняя скорость скатывания отцепа на участке $v$ , м/с	1,4	26,5	26,5	26,5	26	26	26	26	25,5	25,5	25,5
	2	29,5	29,5	29	29	28,5	28,5	28,5	28	28	28
	3	34,5	34	33,5	33,5	33	32,5	32,5	32	32	31,5
	3,5	36,5	36,5	36	35,5	35	35	34,5	34,5	34	33,5
	4	36	36,5	36,5	37	37,5	37	36,5	36,5	36	35,5
	4,2	35,5	35,5	36	36,5	36,5	37	37	37	37	36,5
	4,5	34,5	35	35	35,5	35,5	36	36,5	36,5	37	37
	5	33,5	33,5	34	34	34,5	34,5	35	35	35,5	35,5
	5,5	32,5	32,5	33	33	33,5	33,5	34	34	34,5	34,5
	6	31,5	32	32	32,5	32,5	32,5	33	33	33,5	33,5
		Скорость встречного ветра $v_B$ , м/с									
		5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6
		Значения угла $\beta$ , при которых удельное сопротивление $\omega_{св}$ максимально									
Средняя скорость скатывания	1,4	25,5	25,5	25	25	25	25	25	25	24,5	24,5
	2	27,5	27,5	27,5	27,5	27	27	27	27	26,5	26,5
	3	31,5	31,5	31	31	30,5	30,5	30,5	30	30	30
	3,5	33,5	33	33	32,5	32,5	32	32	32	31,5	31,5
	4	35,5	35	35	34,5	34	34	33,5	33,5	33,5	33
	4,2	36	36	35,5	35	35	34,5	34,5	34	34	33,5

4,5	37,5	37	36,5	36,5	36	35,5	35,5	35	35	34,5
5	36	36	36,5	36,5	37	37	37	37	36,5	36,5
5,5	35	35	35	35,5	35,5	36	36	36,5	36,5	37
6	34	34	34	34,5	34,5	35	35	35,5	35,5	35,5

В работе изучено влияние угла между направлением ветра и осью участка пути, по которому движется вагон, средней скорости скатывания отцепа на участке, скорости встречного ветра на удельное сопротивление движению вагонов от воздушной среды и ветра при неблагоприятных условиях.

Представленные табличные значения могут быть использованы в качестве справочного материала при определении расчетных метеорологических условий для проектирования сортировочных горок.

#### Список литературы:

1. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм М.: Техинформ, 2003. 168 с.
2. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР: ВСН 207–89/МПС. М.: Транспорт, 1992. 104 с.
3. Бройтман Я. Г. Пособие по применению "Правил и норм проектирования сортировочных устройств". М.: Транспорт, 1994. 220 с.
4. Правдин Н. В., Бессоненко С. А. Определение уклонов скоростных участков и тормозных позиций на спускной части сортировочной горки // Транспорт: наука, техника, управление. 2009. №6. С. 6-10.

#### References:

1. Pravila i normy proektirovaniya sortirovochnykh ustroystv na zheleznykh dorogakh kolei 1520 mm (2003). Moscow. (in Russian).
2. Pravila i normy proektirovaniya sortirovochnykh ustroystv na zheleznykh dorogakh Soyuz SSR: VSN 207–89/MPS (1992). Moscow. (in Russian).
3. Broitman, Ya. G. (1994). Posobie po primeneniyu "Pravil i norm proektirovaniya sortirovochnykh ustroystv". Moscow. (in Russian).
4. Pravdin, N. V., & Bessonenko, S. A. (2009). Opredelenie uklonov skorostnykh uchastkov i tormoznykh pozitsii na spusknoi chasti sortirovochnoi gorki. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*, (6), 6-10. (in Russian).

Работа поступила  
в редакцию 16.05.2024 г.

Принята к публикации  
21.05.2024 г.

#### Ссылка для цитирования:

Ситников С. А. Оценка влияния скорости и направления встречного ветра на удельное сопротивление при скатывании вагона с сортировочной горки // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №6. С. 441-445. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/103/46>

#### Cite as (APA):

Sitnikov, S. (2024). Assessment of the Influence of Headwind Speed and Direction on the Specific Resistance when Rolling a Wagon from a Shipment Hump. *Bulletin of Science and Practice*, 10(6), 441-445. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/103/46>