

УДК 656.21.001.2

А. А. ГОРДИЕНКО, доцент технических наук, Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Х. Х. ДЖАЛИЛОВ, аспирант, Ш. Б. ДЖАББАРОВ, аспирант, Ташкентский государственный транспортный университет, С. Г. ИНАГАМОВ, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНА ПО СПУСКНОЙ ЧАСТИ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ ПРИ ПОПУТНОМ ВЕТРЕ

Приведены результаты исследований влияния уклона профиля и расположения на кривом участке пути третьей тормозной позиции сортировочной горки при воздействии силы попутного ветра. Расчетами доказано, что увеличение уклона профиля третьей тормозной позиции, а также ее размещение на кривом участке пути незначительно повышает скорость соударения вагонов в подгорочном парке. Доказано, что при размещении третьей тормозной позиции как на прямом, так и на кривом участках пути при воздействии попутного ветра на «очень плохой бегун», а также полном использовании мощностей тормозных позиций не обеспечивается соблюдение нормативной скорости подхода вагонов к группе вагонов в подгорочном парке. Обеспечение допустимых скоростей соударения при указанных условиях может быть достигнуто изменением профилей отдельных участков спускной части сортировочной горки или применением дополнительных вагонных замедлителей.

Введение. Рассмотрение работ по динамике скатывания вагонов с сортировочных горок и анализ действующих нормативных документов по проектированию сортировочных устройств позволяют сделать вывод, что в настоящее время отсутствует методика определения кинематических характеристик движения вагонов на спускных частях сортировочных горок.

Проблема аналитического определения рациональных параметров продольного профиля спускной части сортировочных горок до сих пор не решена и на протяжении многих лет остается актуальной. Однако вопросу повышения эффективности сортировочной работы при расформировании составов грузовых поездов на немеханизированных сортировочных горках, регулирования скорости скатывания отцепов на сортировочных горках посвящен ряд работ [1–14]. При этом действующей методикой расчета скорости скатывания на каждом участке спускной части сортировочных горок нормируется, а затем рассчитывается время движения, но не учитываются характер движения, реальный смысл физических процессов.

Метод исследования. Для решения данной задачи авторами статьи в работах [15–23] была предложена уточненная методика расчета кинематических характеристик движения вагонов и отцепов на участках продольных профилей сортировочных горок, позволяющая объективно оценить параметры движения при различных режимах роспуска, климатических условиях, технических средствах и продольных профилях. Кроме того, предложенная методика позволяет определять рациональный режим роспуска и сочетание мощностей тормозных позиций, обеспечивающие соблюдение допустимых скоростей соударения вагонов в сортировочных парках, установленных правилами технической эксплуатации.

Разработанная и уточненная методика легла в основу созданной авторами автоматизированной программы расчета кинематических характеристик движения вагонов на участках продольных профилей сортировочных горок [18] и предназначена для расчета ускорений, скоростей, времени движения вагонов на участках про-

дольных профилей сортировочных горок. В качестве исходных данных для программы используются технико-эксплуатационные характеристики функционирующих сортировочных горок.

Программа адаптирована под реальные, сложившиеся в данный момент и в данном месте условия. Подразумевается, что любые геометрические параметры (уклон i_k , длина участка l_k) любого k участка горки легко настраиваемы, например, под конкретные погодные-климатические условия.

Экспериментальные данные и результаты. Приведем результаты исследования влияния уклона профиля и размещения в кривой третьей тормозной позиции на кинематические характеристики движения вагона с сортировочной горки с использованием вышеуказанной программы расчетов [18].

Рассмотрены следующие условия роспуска:

- движение «очень плохого бегуна» при воздействии попутного ветра;
- полное использование мощности тормозных позиций (1ТП, 2ТП и 3ТП);
- расположение третьей тормозной позиции (3ТП) на прямом или на кривом участках пути.

Вначале рассмотрим случай при соблюдении условия вогнутости профиля (например, на участке СК1 – 35 ‰, СК2 – 18 ‰, 1ТП – 13 ‰, ПР – 10 ‰, 2ТП – 10 ‰, СЗ – 1,2 ‰, СП1 – 1,0 ‰, СП2 – 0,6 ‰) и расположении третьей тормозной позиции на прямом участке пути.

Результаты расчетов сведены в таблицу 1 в виде, удобном для построения графических зависимостей ускорения a_k , времени t_k и скорости v_k движения вагона на каждом участке l_k спускной части горки, т. е. для $a_k = f(l_k)$, $t_k = f(l_k)$, и $v_k = f(l_k)$.

Анализ полученных результатов исследований при расположении третьей тормозной позиции (3ТП) на прямом участке позволяет сделать вывод, что при подходе вагона к расчетной точке (РТ) скорость вагона достигает $v_{кРТ} \approx 2,1$ м/с (или $\approx 7,5$ км/ч). Заметим, что при $v_{кРТ} \approx 2,1$ м/с средняя скорость движения вагона равна $v_{кРТср} \approx 1,53$ м/с, что меньше, чем допустимая средняя скорость движения вагона на участке второго сортировочного пути (СП2), равная $[v_{кРТ}] = 2,0$ м/с.

Таким образом, при заданном режиме роспуска не будет обеспечиваться нормативная скорость подхода вагонов к группе вагонов в подгорочном парке (5 км/ч) [8]. По данным таблицы 1 построены графические

зависимости изменения ускорения вагона a_k на протяжении всей длины пути l_k при воздействии силы попутного ветра малой величины F_{px} с учётом силы сопротивлений всякого рода F_c (рисунок 1).

Таблица 1 – Результаты расчета кинематических характеристик движения вагона по спускной части сортировочной горки при расположении третьей тормозной позиции на прямом участке пути

| Участки спускной части горки | Элементы участков спускной части горки | l_k , м | i_k , ‰ | h_k , м | a_k , м/с ² | t_k , с | v , км/ч | |
|------------------------------|--|-----------|--------------------|-----------|--------------------------|-----------|----------------------|-------|
| | | | | | | | м/с | км/ч |
| | | | | | | | Вычисляемые величины | |
| | ВГ | – | | – | – | – | 1,7 | 6,12 |
| СК1 | СК1 | 39,924 | 35 | 1,396 | 0,372 | 10,779 | 5,708 | 20,55 |
| | До С | 54,935 | | 1,666 | 0,205 | 13,294 | 6,224 | 22,41 |
| СК2 | После С | 73,569 | 18 | 2,001 | 0,20 | 16,156 | 6,795 | 24,46 |
| | КБ | 81,87 | | 2,109 | 0,156 | 17,361 | 6,983 | 26,18 |
| 1ТП | ЗТ | 95,212 | 13 | 2,125 | -2,037 | 20,761 | 0,057 | 0,205 |
| | ОТ | 102,57 | | 2,239 | 0,156 | 30,98 | 1,652 | 5,95 |
| | До С | 122,571 | | 2,439 | 0,127 | 39,98 | 2,792 | 10,05 |
| ПР | После С | 143,842 | 10 | 2,649 | 0,121 | 46,64 | 3,596 | 12,95 |
| | КБ | 154,243 | | 2,753 | 0,127 | 49,398 | 3,945 | 14,2 |
| 2ТП | ЗТ | 158,15 | 10 | 2,791 | -2,067 | 51,298 | 0,019 | 0,067 |
| | ОТ | 174,843 | | 2,959 | 0,127 | 67,456 | 2,065 | 7,435 |
| | До С1 | 190,843 | | 2,978 | 0,04 | 74,692 | 2,357 | 8,49 |
| С3 | С1 | 216,533 | 1,2 | 3,009 | 0,033 | 84,858 | 2,697 | 9,71 |
| | С2 | 237,533 | | 3,034 | 0,033 | 92,305 | 2,943 | 10,6 |
| | С3 | 261,533 | | 3,063 | 0,033 | 100,115 | 3,2 | 11,53 |
| СП1 | СП1 | 320,713 | 1,0 | 3,122 | 0,038 | 116,926 | 3,837 | 13,81 |
| 3ТП | ЗТ | 326,963 | 1,5 прямой участок | 3,127 | -2,15 | 118,626 | 0,182 | 0,657 |
| | ОТ | 330,977 | | 3,144 | 0,041 | 137,884 | 0,969 | 3,487 |
| СП2 | СП2 | 385,213 | 0,6 | 3,173 | 0,034 | 170,539 | 2,094 | 7,537 |

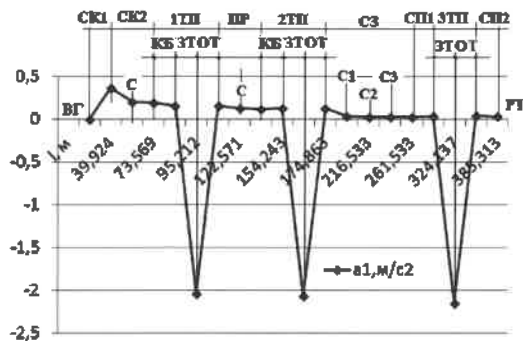


Рисунок 1 – График изменения ускорения вагона на спускной части сортировочной горки при расположении третьей тормозной позиции на прямом участке пути.

Обозначения на рисунке 1 аналогичны приведенным в таблице 1.

Из рисунка 1 видно, что на участках торможения 1ТП, 2ТП и 3ТП вагон движется равнозамедленно с ускорениями, имеющими отрицательные значения, т. е. $a_{1т} < 0$, $a_{2т} < 0$ и $a_{3т} < 0$ (где $|a_{1т}| = -a_{1т}$, $|a_{2т}| = -a_{2т}$ и $|a_{3т}| = -a_{3т}$).

Изменение ускорения движения вагона при его затормаживании (ЗТ) на примере участка первой тормозной позиции (1ТП) в случае полного использования мощности тормозных позиций может быть представлено в следующем виде:

$$a_{1т}(t) = f(t) = \begin{cases} f(\tau_5) = a_{КБ} & \text{при } t < \tau_5, \\ f(t) = f(\tau_5) = -a_{1т} & \text{при } \tau_5 \leq t \leq \tau_6, \\ f(\tau_6) = a_6 & \text{при } t > \tau_6. \end{cases} \quad (1)$$

Аналогично зависимости $a_k = f(l_k)$ построены зависимости $t_k = f(l_k)$ (рисунок 2), $v_k = f(l_k)$ (рисунок 3) с использованием данных таблицы 1.

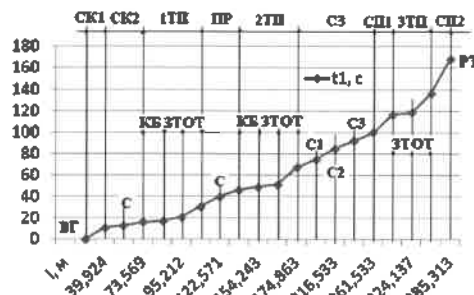


Рисунок 2 – График изменения времени движения вагона на спускной части сортировочной горки

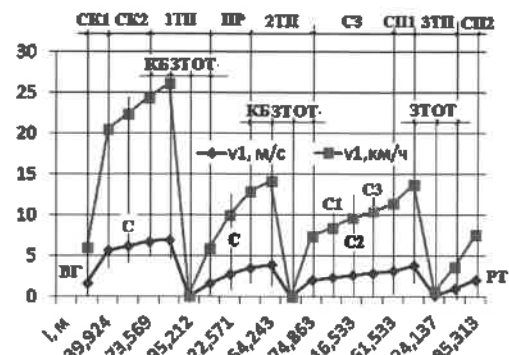


Рисунок 3 – Графики изменения скорости движения вагона на спускной части сортировочной горки

Из рисунка 3 видно, что в зонах торможения, где значения линейных ускорений имеют отрицательные значения (рисунок 1), происходят снижения скорости движения вагонов практически до нуля, что связано с полным использованием мощности всех тормозных по-

зиций. Представим результаты расчета кинематических характеристик движения вагона по спускной части сортировочной горки при расположении третьей тормозной позиции на кривом участке пути с увеличением уклона до 2 ‰ в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета кинематических характеристик движения вагона по спускной части сортировочной горки при расположении третьей тормозной позиции в кривом участке пути

| Участки спускной части горки | Элементы участков спускной части горки | $l_k, м$ | $i_k, ‰$ | $h_k, м$ | $a_k, м/с^2$ | $t_k, с$ | $v, к$ | |
|------------------------------|--|---------------------|--------------------|----------|----------------------|----------|--------|-------|
| | | | | | | | м/с | км/ч |
| | | Задаваемые величины | | | Вычисляемые величины | | | |
| | ВГ | – | | – | – | – | 1,7 | 6,12 |
| СК1 | СК1 | 39,924 | 35 | 1,396 | 0,372 | 10,779 | 5,708 | 20,55 |
| СК2 | До С | 54,935 | 18 | 1,666 | 0,205 | 13,294 | 6,224 | 22,41 |
| | После С | 73,569 | | 2,001 | 0,20 | 16,156 | 6,795 | 24,46 |
| 1ТП | КБ | 81,87 | 13 | 2,109 | 0,156 | 17,361 | 6,983 | 26,18 |
| | ЗТ | 95,212 | | 2,125 | -2,037 | 20,761 | 0,057 | 0,205 |
| | ОТ | 102,57 | | 2,239 | 0,156 | 30,98 | 1,652 | 5,95 |
| ПР | До С | 122,571 | 10 | 2,439 | 0,127 | 39,98 | 2,792 | 10,05 |
| | После С | 143,842 | | 2,649 | 0,121 | 46,64 | 3,596 | 12,95 |
| 2ТП | КБ | 154,243 | 10 | 2,753 | 0,127 | 49,398 | 3,945 | 14,2 |
| | ЗТ | 158,15 | | 2,791 | -2,067 | 51,298 | 0,019 | 0,067 |
| | ОТ | 174,843 | | 2,959 | 0,127 | 67,456 | 2,065 | 7,435 |
| СЗ | До С1 | 190,843 | 1,2 | 2,978 | 0,04 | 74,692 | 2,357 | 8,49 |
| | С1 | 216,533 | | 3,009 | 0,033 | 84,858 | 2,697 | 9,71 |
| | С2 | 237,533 | | 3,034 | 0,033 | 92,305 | 2,943 | 10,6 |
| | С3 | 261,533 | | 3,063 | 0,033 | 100,115 | 3,2 | 11,53 |
| СП1 | СП1 | 320,713 | 1,0 | 3,122 | 0,038 | 116,926 | 3,837 | 13,81 |
| ЗТП | ЗТ | 324,137 | 2,0 кривой участок | 3,129 | -2,145 | 118,626 | 0,191 | 0,687 |
| | ОТ | 335,313 | | 3,350 | 0,046 | 136,856 | 1,024 | 3,69 |
| СП2 | СП2 | 385,313 | 0,6 | 3,650 | 0,034 | 168,658 | 2,12 | 7,63 |

Выполненные расчеты доказывают, что при расположении третьей тормозной позиции (ЗТП) в кривом участке пути, скорость вагона при подходе к расчётной точке (РТ) достигает $v_{кРТ} \approx 2,12$ м/с (или $\approx 7,63$ км/ч). Заметим, что при $v_{кРТ} \approx 2,12$ м/с средняя скорость движения вагона равна $v_{кРТср} \approx 1,57$ м/с, что меньше допустимой средней скорости движения вагона на участке второго сортировочного пути (СП2) [$v_{кРТ}$] = 2,0 м/с. Сопоставляя данные таблиц 1 и 2, можно утверждать, что увеличение уклона третьей тормозной позиции, а также ее размещение на кривом участке пути незначительно влияет на скорость соударения вагонов в подгорочном парке (7,537 и 7,63 км/ч). Общая длина спускной части горки от вершины (ВГ) до расчётной точки (РТ) в случае, когда третья тормозная позиция расположена на кривом участке пути, $L_{кр} \approx 385,31$ м (в то время как $L_{пр} \approx 385,21$ м), а общее время движения вагона $t_{общ.кр} \approx 168,7$ с (в то время как $t_{общ.пр} \approx 170,6$ с), что сопоставимо с данными, приведенными в таблице 1. Графические зависимости $a_k = f(i_k)$, $t_k = f(i_k)$ и $v_k = f(i_k)$, построенные по данным таблицы 2, имеют вид, аналогичный приведенным на рисунках 1–3. Кроме того, рассмотренные режимы роспуска не обеспечивают соблюдение нормативной скорости подхода вагонов к группе вагонов в подгорочном парке [8]. Обеспечение допустимых скоростей соударения при указанных условиях может быть достигнуто либо изменением профиля отдельных участков спускной части сортировочной горки, либо применением дополнительных вагонных замедлителей.

Заключение. Предложенная авторами уточненная методика расчета кинематических характеристик движения вагонов на участках продольных профилей сортировочных очных горок и автоматизированная программа позволяют определять рациональный режим роспуска и сочетание мощностей тормозных позиций и обеспечивать соблюдение допустимых скоростей соударения вагонов в сортировочных парках, установленных Правилами технической эксплуатации.

Таким образом, приведены результаты исследований влияния уклона профиля и плана участка третьей тормозной позиции на кинематические характеристики движения вагонов на участках продольных профилей сортировочных горок, полученные при помощи автоматизированной программы расчетов.

Показано, что увеличение уклона третьей тормозной позиции, а также ее размещение на кривом участке пути незначительно повышает скорость соударения вагонов в подгорочном парке.

При размещении третьей тормозной позиции как на прямом, так и на кривом участках пути не обеспечивается соблюдение нормативной скорости подхода вагонов к группе вагонов в подгорочном парке. Обеспечение допустимых скоростей соударения при указанных условиях может быть достигнуто изменением профилей отдельных участков спускной части сортировочной горки или использованием дополнительных вагонных замедлителей.

Список литературы

1 Огар, О. М. Удосконалення наукового підходу до розрахунку раціональних параметрів позовного профілю спускної частини сортувальних гірок / О. М. Огар // *Всхідно-Європейський журнал передових технологій*. – 2009. – № 3 (41). – С. 11–15.

2 Поджидаев, С. А. Повышение эффективности сортировочной работы при расформировании составов грузовых поездов на немеханизированных сортировочных горках / С. А. Поджидаев, Ю. Д. Рослякова // *Всхідно-Європейський журнал передових технологій*. – 2013. – С. 76–81.

3 Журавель, В. В. Проблеми регулювання швидкості скочування відцепів на сортувальних гірках / В. В. Журавель // *Всхідно-Європейський журнал передових технологій*. – 2014. – № 8. – С. 45–50.

4 Журавель, В. В. Вплив наявності вагонів, які заборонено спускати з гірки, на процес розпуску составів / В. В. Журавель // *Всхідно-Європейський журнал передових технологій*. – 2012. – № 3 (58). – С. 38–43.

5 Бессоненко, С. А. Теория расчета сортировочных горок для различных климатических зон : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / С. А. Бессоненко. – М. : МИИТ, 2011. – 37 с.

6 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.

7 К вопросу движения вагона по уклону железнодорожного пути / Ю. О. Позойский [и др.] // *Бюллетень транспортной информации*. – 2018. – № 2 (272). – С. 35–38.

8 Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм. – М. : ТЕХИНФОРМ, 2003. – 168 с.

9 Образцов, В. Н. Станции и узлы. Ч. II / В. Н. Образцов. – М. : Трансжелдориздат, 1938. – 492 с.

10 Шмаль, С. Н. Попытка заново рассчитать брахистохрону / С. Н. Шмаль // *Мир транспорта*. – 2011. – № 3. – С. 34–38.

11 Кобзев, В. А. Особенности расчёта спускной части сортировочных горок методом покоординатного спуска / В. А. Кобзев // *Наука и техника транспорта*. – 2014. – № 1. – С. 17–20.

12 Долженко, А. М. Problems of optimization control of trains formation / А. М. Долженко // *Наука и образование в*

жизни современного общества : сб. науч. трудов по материалам междунар. науч.-практ. конф. : в 18 ч. – 2013. – С. 53–54.

13 Долженко, А. М. Оптимальное управление роспуском поездов на сортировочных горках малой мощности / А. М. Долженко // *Вестник транспорта Поволжья*. – 2014. – № 1 (43). – С. 56–60.

14 Железнодорожные станции и узлы / В. И. Алатцев [и др.]. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – 332 с.

15 Turanov, Kh. T. Analytical investigation of wagon speed and traversed distance during wagon hump rolling under the impact of gravity forces and head wind / Kh. T. Turanov // *Global Journal of Researches in Engineering: A. Mechanical and Mecha-nics Engineering*. – 2014. – Vol. 14. – Is. 1. Version 1.0 Year 2014. – New York. – P. 1–9.

16 Turanov, Kh. T. Analytical Determination of Conditions of Wagon Rolling Down Marshalling Hump Profiles / Kh. T. Turanov, A. A. Gordienko // *Open Acces Library Journal*. – 2003. – No. 2, e1912.

17 Туранов, Х. Т. Движения вагона на сортировочной горке при попутном ветре / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко // *Мир транспорта*. – 2015. – Т. 13. – № 6 (61). – С. 36–48.

18 Джаббаров, Ш. Б. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ DGU №09078 от 08.09.20 / Ш. Б. Джаббаров, Ш. У. Саидвалиев. – 2020.

19 Turanov, Kh. Designing the height of the first profile of the marshalling hump / Kh. T. Turanov, A. A. Gordienko // *E3S Web of Conferences*. – Vol. 164, 03038. – 2020.

20 Movement of the wagon on the marshalling hump under the impact of air environment and tailwind / Kh. T. Turanov [et al.] // *E3S Web of Conferences*. – Vol. 164, 03041. – 2020.

21 Туранов, Х. Т. Ореление кинематических параметров движения вагона на участках тормозных позиций сортировочной горки / Х. Т. Туранов, Ш. У. Саидвалиев // *Современные проблемы транспортного комплекса России*. – 2019. – Т. 9. – № 1. – С. 21–26.

22 Туранов, Х. Т. Кинематические характеристики вагона на протяжении всей длины профиля сортировочной горки / Х. Т. Туранов, Х. Х. Джалилов // *Modern scientific challenges and trends*. – 2020. – № 6 (28). – С. 107–123.

23 Джалилов, Х. Х. Расчет скорости движения вагона на всей протяженности профиля пути с различными уклонами сортировочной горки / Х. Х. Джалилов // *Вестник ТашиИИТ*. – 2019. – № 2. – С. 58–67.

Получено 02.11.2020

A. A. Gordienko, Kh. Kh. Djalilov, Sh. B. Djabbarov, S. G. Inagamov. About movement of the freight wagon on a descent part of a sorting hill at a fair wind.

In article results of researches of influence of slope profile and location on a curved section of track the third brake positions at hump effect of wind. Calculations have proved that increasing the slope of the profile of the third brake position, as well as its placement on a curved section of the track, slightly increases the speed of collision of cars in the sub-road park. It is proved that when placing the third brake position on both straight and curved sections of the track, when a tailwind affects a "very bad runner", as well as when the full capacity of the brake positions is used, the standard speed of the approach of cars to a group of cars in the podhorochny Park is not met. Ensuring acceptable collision speeds under these conditions can be achieved by changing the profiles of individual sections of the descent part of the sorting slide or by using additional car decelerators.