

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Каширцева, Т. И.* Выбор рационального соотношения объемов работы и технического оснащения ПТС : дис. ... канд. техн. наук (05.22.08 – Управление процессами перевозок) / Т. И. Каширцева; рук. работы Н. В. Правдин. – М. : МИИТ, 2002. – 245 с.

2 *Шень, А.* Программирование: теоремы и задачи / А. Шень. – 6-е изд., доп. – М. : МЦНМО, 2017. – 320 с.

3 *Каширцева, Т. И.* Система критериев оптимизации технико-технологической структуры ПТС / Т. С. Каширцева // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : Междунар. сб. науч. трудов ; под общ. ред. д-ра техн. наук А. К. Головнича. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 28–33.

T. I. KASHIRTSEVA

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL STRUCTURE OF PASSENGER COACH YARDS

Methods of optimization of technical equipment and operation technology of passenger coach and service yards are considered.

Получено 14.10.2018.

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2019

УДК 656.2

К. И. КОРНИЕНКО, С. А. БЕССОНЕНКО

*Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС)
kkonstantini@mail.ru*

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ОТЦЕПА В СОРТИРОВОЧНОМ ПАРКЕ С УЧЕТОМ ДВИЖЕНИЯ НАЗАД ПОСЛЕ ОСТАНОВКИ

Рассматриваются проблемы движения отцепа назад после остановки в сортировочном парке. Предложен новый алгоритм расчета скорости движения отцепа, учитывающий откат отцепа. На основании данного алгоритма была разработана имитационная модель. Рассмотрены отличия в определении точки остановки отцепа по существующим и предлагаемому алгоритмам.

Совершенствование инфраструктуры Российских железных дорог является важным направлением, которое определено стратегией развития холдинга РЖД на период до 2030 года [1]. В настоящее время на сортировочных станциях происходит больше всего происшествий, угрожающих без-

опасности движения [2]. Большинство коммерческих браков возникает в сортировочном парке, когда вагоны соударяются с повышенной скоростью. Поэтому определение скорости движения отцепа на сортировочной горке и в сортировочном парке является одной из самых важных и сложных задач для моделирования [3–7].

Исследования ученых ДИИТа [12–16] во многом заложили основу корректного имитационного моделирования движения отцепа [8–11]. В дальнейшем проблемами определения скорости движения и точки остановки отцепа занимались многие ученые [12–16]. На сегодня на сортировочных горках внедрены многие научные идеи, Так, получают широкое применение системы автоматизации, разработанные Ростовским филиалом НИИАС [17–18]. В своих работах ученые из этого филиала рассматривают основные положения разработки автоматизированных сортировочных горок. Их алгоритм во многом является похожим на алгоритмы, разработанные ранее. Также при сотрудничестве с Siemens Ростовский филиал НИИАС внедряет систему MSR32 на сортировочных горках Черняховск и Лужская-Сортировочная. Анализируя опыт зарубежных сортировочных горок [19–20], можно сделать вывод о том, что в большинстве случаев на сортировочных путях используются дополнительные устройства торможения отцепов. На тех горках, где применяются только парковые замедлители, достигается незначительная среднестатистическая заполняемость путей.

Исследования показывают, что данные алгоритмы правильно работают только при выпуске отцепа на путь, на котором уже стоят вагоны. При этом они не учитывают ситуации, когда отцеп по каким-либо причинам не докатывается до стоящих вагонов или он выпускается на свободный путь. В этих случаях при определенных условиях может возникнуть ситуация, когда отцеп самопроизвольно начнет движение назад в сторону спускной части. Если при этом за ним следует еще один отцеп, то может произойти соударение с большой скоростью.

Целью данного исследования является разработка имитационной модели движения отцепа в сортировочном парке, учитывающей фактор реверсного движения.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- 1) исследовать теоретический аспект движения отцепа в сортировочном парке;
- 2) исследовать фактор реверсного движения;
- 3) разработать алгоритм расчета скорости движения;
- 4) на основании данного алгоритма разработать программное средство.

Скорость движения отцепа согласно [4, 5, 8, 11, 12] можно найти с помощью уравнения

$$v_{\text{кон}} = \sqrt{v_{\text{нач}}^2 + 2g'l(i-W)}, \quad (1)$$

где $v_{\text{нач}}$ – начальная скорость отцепа, м/с; g' – ускорение силы тяжести с учетом инерции вращающихся частей отцепа, м/с²; l – длина участка, м; i – уклон участка, ‰; W – суммарное удельное сопротивление на участке, Н/кН.

Суммарное удельное сопротивление движению отцепа в свою очередь можно разделить на составляющие:

$$W = w_0 + w_{\text{св}} + w_{\text{си}}, \quad (2)$$

где w_0 – основное удельное сопротивление движению вагонов, Н/кН; $w_{\text{св}}$ – сопротивление от воздушной среды и ветра, Н/кН; $w_{\text{си}}$ – удельное сопротивление движению вагонов от снега и инея, Н/кН.

Результаты натуральных наблюдений указывают на то, что движение отцепов назад после остановки является немаловажным фактором в обеспечении безопасности [3, 7, 21].

Уравнение, которое описывает условие трогания отцепа, имеет вид

$$i_{\text{ук}} \geq W + w_{\text{тр}}, \quad (3)$$

где $w_{\text{тр}}$ – сопротивление троганию отцепа с места, Н/кН.

В выражении (3) производится сравнение суммы суммарного удельного сопротивления движению отцепа и сопротивления троганию с места с уклоном пути, на котором данный отцеп остановился. Если уклон превысит значение суммы, отцеп начнет движение назад в сторону горба горки.

Экспериментально было установлено, что основу сопротивления трогания с места составляет застывание смазки в роликовых подшипниках. При рассмотрении кратковременных остановок (меньше минуты) данным сопротивлением можно пренебречь. Для правильного определения точки остановки и скорости движения был разработан алгоритм, представленный на рисунке 1 [21].

Основными отличиями представленного алгоритма от разработанных ранее являются:

- определение условий, при которых отцеп после остановки в сортировочном парке может двигаться назад;
- имитационное моделирование движения отцепа при трогании его в сторону горба горки;
- расчет действительной точки остановки.

На основании данного алгоритма была разработана имитационная модель движения отцепа в сортировочном парке [22]. На рисунке 2 представлены графики зависимостей значимых параметров по результатам работы программы «СортПарк» для конкретного профиля пути сортировочного парка.

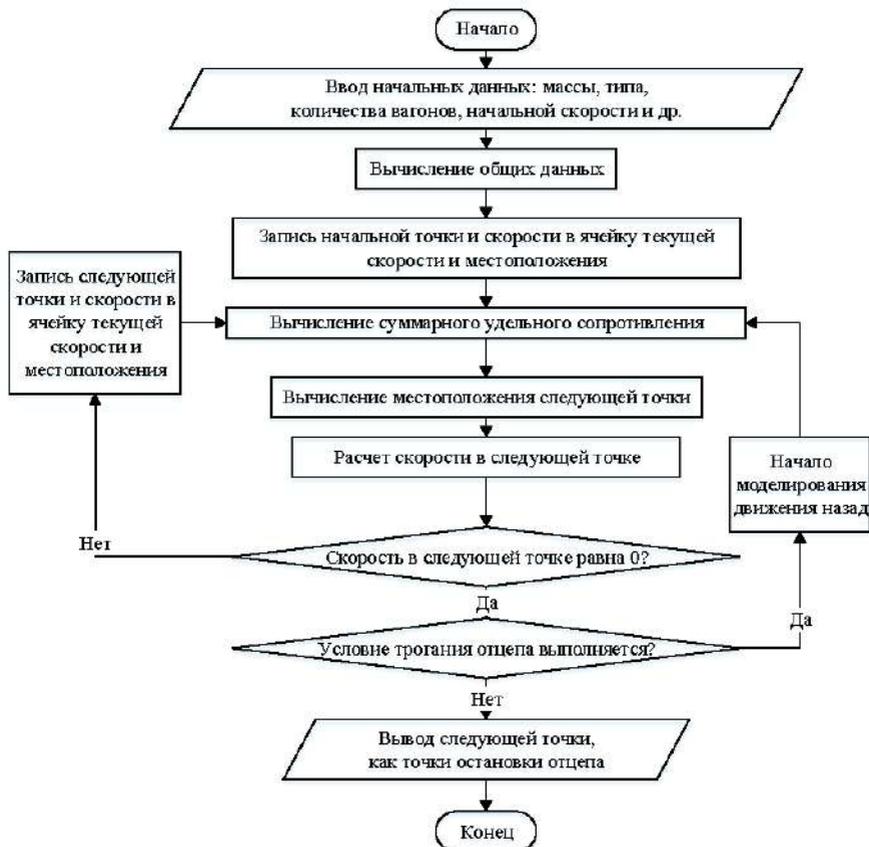


Рисунок 1 – Алгоритм поиска конечной точки остановки с учетом возможности трогания отцепы назад

При расчете скорости выпуска отцепы на путь важно определить точку остановки предыдущего отцепы. При неправильном определении этой точки скорость соударения отцепов будет выше допустимой. Критичным является такой результат при выпуске на путь двух отцепов через определенный промежуток времени. На рисунке 3 представлен график зависимости места положения поезда от времени. На рисунке 4 изображен график зависимости скорости отцепов от пройденного расстояния. Согласно имитационной модели второй отцеп был выпущен на путь через 150 секунд после первого. Точкой прицеливания была точка, отстоящая от горба горки на 850 метров. Скорость выхода второго отцепы была рассчитана из условия соединения вагонов в точке прицеливания с нулевой скоростью.

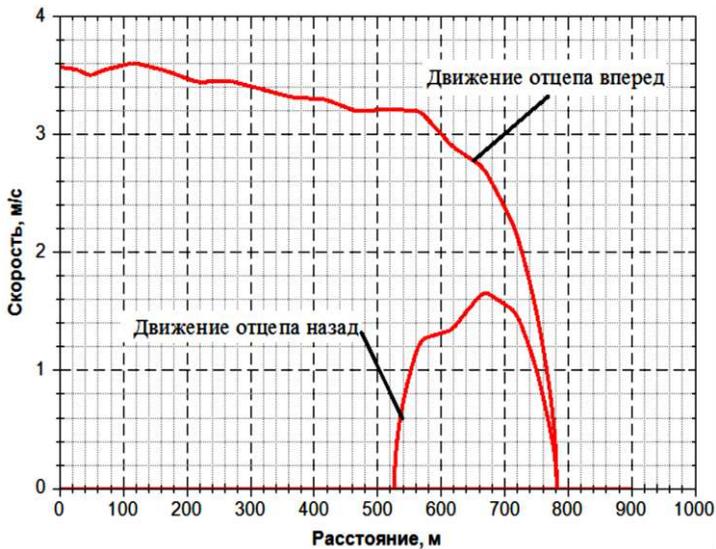


Рисунок 2 – График зависимости скорости движения отцепа в сортировочном парке от пройденного расстояния

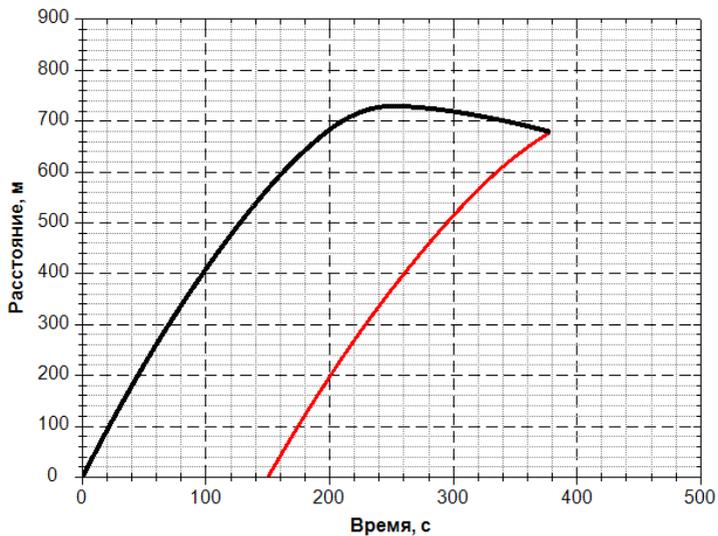


Рисунок 3 – График зависимости местоположения отцепа от времени

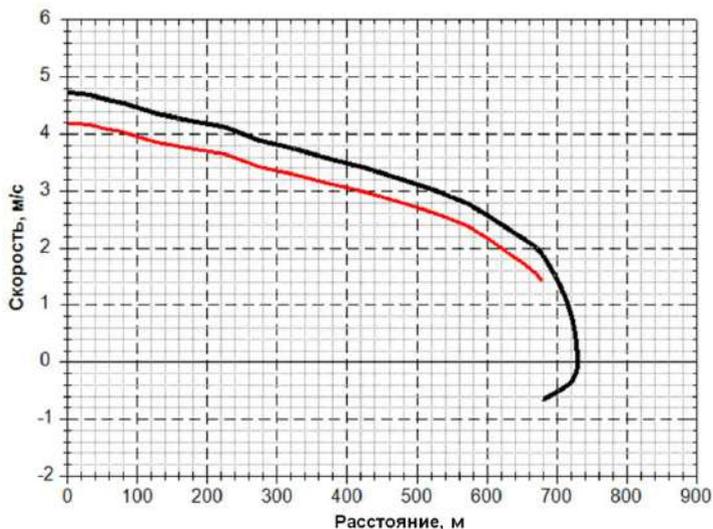


Рисунок 4 – График зависимости скорости отцепов от пройденного расстояния

По рисункам 3 и 4 можно сделать следующие выводы.

- 1 Первый отцеп после остановки в точке 730 м начал движение назад.
- 2 В точке 680 метров отцепы соударились со скоростью 2 м/с, определяемой как повышенная, так как максимально допустимая скорость соударения в сортировочном парке согласно ПТЭ должна быть не более 5 км/ч.
- 3 Если бы расчет точки остановки первого отцепов производился по предложенному алгоритму, то скорость соударения двух отцепов была бы минимальной с точкой прицеливания второго отцепов, совпадающей с точкой полной остановки первого отцепов в 560 метрах.

Для исследования отличия предложенного алгоритма от существующего было проведено имитационное моделирование движения 100 тысяч отцепов. Вначале анализировались отцепы, поступающие на путь сортировочного парка, имеющего постоянную специализацию. В ходе анализа выявлялись доли весовых категорий отцепов. После этого с помощью генератора случайных чисел выбиралась масса отцепов. Закон распределения вероятности появления массы задавался в табличном виде. На основании значений массы и исходя из формулы, приведенной в «Правилах и нормах проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм», выбиралось случайно значение основного удельного сопротивления движению. Точка прицеливания располагалась на расстоянии 850 метров от горба горки. Далее рассчитывалась скорость выпуска отцепов на путь при условии движения отцепов по нормативному профилю [2]. При моделировании дви-

жения отцепа использовалась шарнирно-осевая модель движения отцепа. Для этого определялся эквивалентный уклон по формуле, разработанной ДИИТом. По результатам вычислялось суммарное удельное сопротивление движению отцепа по формуле (2). После этого по формуле (1) рассчитывалась скорость выхода отцепа с тормозной позиции. Чтобы учесть точность работы замедлителя, скорость выхода также задавалась случайной величиной. Далее производился расчет движения вперед. Точка остановки отцепа заносилась в таблицу, которая в дальнейшем использовалась для построения рисунка 6. Производилась проверка условия (3) с моделированием движения отцепа назад в сторону горба горки. Точка остановки заносилась в таблицу, которая использовалась для построения рисунка 7.

На основании полученных значений w_0 была получена кривая плотности распределения вероятности основного удельного сопротивления, изображенная на рисунке 5. На рисунках 6 и 7 представлены кривые плотности вероятности остановки отцепа при вычислении точки остановки по существующим и предложенному алгоритмам.

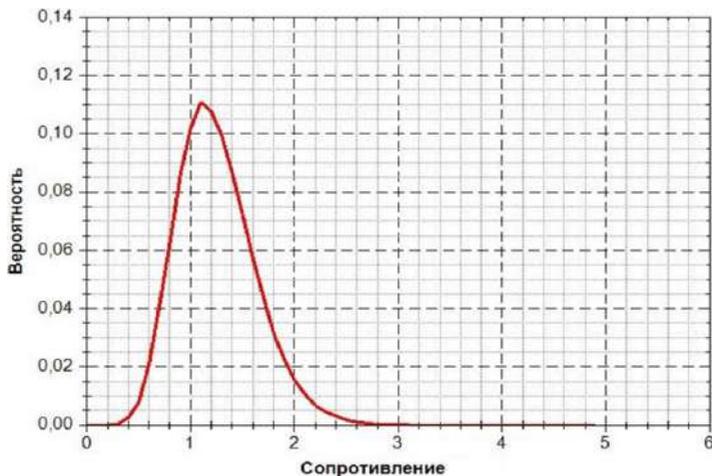


Рисунок 5 – Кривая плотности распределения вероятности основного удельного сопротивления движению отцепа

Анализируя рисунки 6 и 7, можно сделать следующие выводы:

- согласно расчетам по старому алгоритму с наибольшей вероятностью отцепы остановятся на координате 720 м. При этом все отцепы остановятся в интервале от 680 до 820 м;
- расчет по предложенному алгоритму указывает на то, что большинство отцепов остановятся в точке 560 м, при этом точкой остановки почти всех отцепов является интервал от 540 до 680 м.

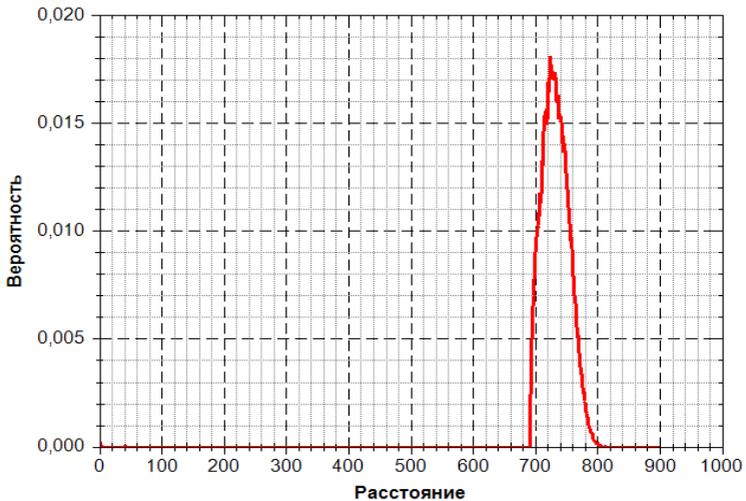


Рисунок 6 – Кривая плотности распределения вероятности остановки отцепа по существующим алгоритмам

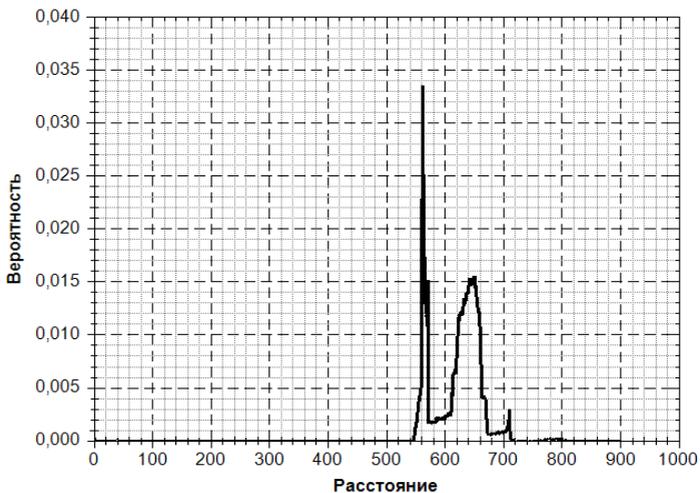


Рисунок 7 – Кривая плотности распределения вероятности остановки отцепа по предложенному алгоритму

Такое отличие в результатах обусловлено тем, что с 600 метров на данном пути начинается противоуклон, при остановке на котором отцепы начнут движение назад, в сторону горба горки. Если вести расчет точки остановки по старому алгоритму, не учитывающему условие (3), то это приводит к соударению с повышенной скоростью при выпуске группы отцепов

на свободный путь через определенные промежутки времени. Если в начале пути будет находиться противоуклон, то выпуск отцепа со скоростью, не достаточной для преодоления данного противоуклона, может привести к началу движения назад в сторону горба горки и даже с выкатыванием на спускную часть горки [23–25].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года (основные положения) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396. – Дата доступа : 25.12.2017.

2 Кандыбина, С. А. Анализ факторов и причин, определяющих количество и структуру случаев нарушения безопасности движения в хозяйстве перевозок / С. А. Кандыбина, Т. Н. Каликина // Вестник транспорта Поволжья. – 2013. – № 5 (41). – С. 39–45.

3 Корниенко, К. И. Исследование опасности образования противоуклона в сортировочном парке / К. И. Корниенко // Транспортная инфраструктура сибирского региона. – 2017. – С. 80–83.

4 Корниенко, К. И. Исследования влияния профиля горки на скорость движения отцепа в сортировочном парке / К. И. Корниенко // Молодежь. Наука. Технологии (МНТК-2017) : сб. статей. – Новосибирск, 2017. – Ч. 1. – С. 44–47.

5 Исследование влияния профиля горки на скорость движения отцепов в сортировочном парке при попутном ветре / Е. А. Ахмаев [и др.] // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 1. – С. 13–18.

6 Корниенко, К. И. Исследование влияния профиля сортировочного парка на скорость движения отцепа / К. И. Корниенко // Инновационные технологии на транспорте. – Алматы, 2017. – С. 11–15.

7 Корниенко, К. И. Обеспечение безопасности движения отцепов при выпуске их на свободный путь / К. И. Корниенко // Проблемы безопасности на транспорте. – Гомель : 2017 – С. 36–37.

8 Муха, Ю. А. Имитационное моделирование процесса скатывания отцепа при выполнении горочных расчетов / Ю. А. Муха, А. А. Муратов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск : ДИИТ, 1990. – С. 11–20.

9 Муха, Ю. А. Моделирование на ЭВМ процесса скатывания отцепов с сортировочной горки / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях : тр. ДИИТа. – Вып. 90/6. – Днепропетровск, 1969. – С. 53–63.

10 Муха, Ю. А. Алгоритмы и библиотека программ для моделирования на ЭВМ «Наири-К» сортировочного процесса на горках / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : тр. ДИИТа. – Вып. 194/11. – Днепропетровск : ДИИТ, 1977. – С. 53–102.

11 Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств / Л. Б. Тишков [и др.]. – М. : Транспорт, 1994. – 220 с.

12 Карасёв, С. В. Программный комплекс имитации процесса заполнения пути накопления вагонов в сортировочном парке / С. В. Карасёв, О. В. Красножён // Интеллектуальный потенциал Сибири : тез. докл. Новосиб. межвуз. науч. конф. – Новосибирск : СГУПС, 2001. – С. 103–104.

13 Жуков, В. И. Имитация процесса заполнения пути накопления вагонов в сортировочном парке / В. И. Жуков, С. В. Карасёв, О. В. Куценко // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог : сб. науч. тр. – Новосибирск, 2002. – С. 119–129.

14 *Бобровский, В. И.* Математическая модель для оптимизации интервального регулирования скорости отцепов на горках / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – № 3(42). – Харків, 2003. – С. 3–8.

15 Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках : [монография] / В. И. Бобровский [и др.]. – Днепропетровск : Маковецкий, 2010. – 260 с.

16 *Климов, А. А.* Моделирование процесса скатывания отцепов из нескольких вагонов с сортировочной горки при роспуске / А. А. Климов, А. А. Гунбин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2011. – № 2. – С. 88–91.

17 *Шабельников, А. Н.* Управление тормозными средствами сортировочных горок: повышение качества и эффективности / А. Н. Шабельников, И. А. Ольгейзер, С. А. Рогов // Вестник ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015. – С. 74–79.

18 *Шабельников, А. Н.* Интеллектуализация транспортных процессов: проблемы и решения / А. Н. Шабельников, Н. Н. Лябах // Транспорт: наука, техника, управление. – 2012. – С. 3–6.

19 Siemens Transportation systems: The MSR 32 Microcomputer System. Great Efficiency and Safety for Freight Transport, 2008.

20 *Judge, T.* Yard management gets smarter / T. Judge // Railway Age. – November 2007. – P. 33–34.

21 *Корниенко, К. И.* Алгоритм расчета точки останова отцепа в сортировочном парке / К. И. Корниенко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2017. – № 11. – С. 36–40.

22 *Корниенко, К. И.* Программа для имитационного моделирования скорости движения отцепа в сортировочном парке «СортПарк» / К. И. Корниенко // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование». – 2017. – № 6 (97). – С. 30.

23 *Kornienko, K.* Effect of the sorting track profile change on the it's occupancy quality at train humping / K. Kornienko, S. Bessonenko // MATEC Web of Conferences. – Vol. 216 [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access : <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821602012>. – Date of access : 02.08.18.

24 *Kornienko, K.* Influence of opposite elevation on the occupancy level of the tracks of sorting park / K. Kornienko, S. Bessonenko, L. Tanaino // MATEC Web of Conferences, Vol. 239 [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access <https://doi.org/10.1051/mateconf/20182390300>. – Date of access : 02.08.18.

25 *Корниенко, К. И.* Совершенствование методики имитационного моделирования заполнения пути сортировочного парка / К. И. Корниенко // Транспорт Урала. – 2018. – № 2 (57). – С. 35–42.

K. I. KORNIENKO, S. A. BESSONENKO

IMITATION MODEL OF THE MOTION OF THE RELEASED SET OF CARS IN THE MARSHALLING YARD, WHICH TAKES INTO ACCOUNT BACKWARD MOTION OF THE RELEASED SET OF CARS AFTER ITS STOP

The problems of motion of the released set of cars after stopping in the marshaling yard are considered. A new algorithm for calculating the velocity of the released set of cars is proposed, taking into account backward motion of the released set of cars. Based on this algorithm, a simulation model was developed. Using the existing algorithms and the proposed one, the author considered the differences in determining the point where the released set of cars will stop.

Получено 02.10.2018.