

Образование временных интервалов на первом стрелочном переводе сортировочной горки при роспуске отцепов дифференцированной длины

Поступила	18.10.2017
Рецензирование	29.11.2017
Принята к печати	15.01.2018

В статье разрабатывается уточненный метод определения положения первого стрелочного перевода на спускной части сортировочной горки при роспуске отцепов дифференцированной длины. Приводится обзор существующих методов, описывается преимущество имитационного моделирования при решении данной задачи. В качестве объекта исследования выбрана сортировочная горка средней мощности, расположенная на станции *Н-В*. Критерием выбора сортировочного устройства служил тип первого разделительного элемента. При проведении экспериментов использована программа «Скат-отцеп», разработанная автором статьи для определения резерва времени на первом разделительном элементе для различных вариантов его размещения относительно вершины горки. Определено конструктивное ограничение максимально близкого расположения первой разделительной стрелки к вершине горки. Согласно действующим нормативам расчет конструктивных параметров сортировочных горок производится по результатам скатывания отцепов из одиночных вагонов – расчетных бегунов.

В данной работе разработан алгоритм расчета резерва времени на разделительном элементе, расположенном в допустимом диапазоне значений, для отцепов дифференцированной длины. При выполнении расчетов рассматривалась структура перерабатываемого отцепопотока, в том числе проводился учет распределения массы внутри «длинных» отцепов. Проведенным исследованием влияния длины смежных отцепов, распускающихся с сортировочной горки, на резерв времени по первому стрелочному переводу на спускной части горки установлено, что интервал времени в основном зависит от длины первого смежного отцепа и мало зависит от длины и структуры второго отцепа. Определены «длинные» отцепы с наилучшим и наихудшим условием отрыва от состава, надвигаемого на горб сортировочной горки.

Ключевые слова: *сортировочная горка, отцепы дифференцированной длины, имитационное моделирование, спускная часть горки, интервалы между смежными отцепами, первый разделительный элемент.*

При проектировании и реконструкции сортировочных горок решается задача определения местоположения первого разделительного элемента относительно вершины горки, которым может быть стрелочный перевод или замедлитель тормозной позиции. Положения существующей методики решения данной задачи основаны на анализе временных интервалов, определяемых по результатам скатывания расчетных бегунов – одиночных отцепов. При этом на большинстве сортировочных горок основная часть вагонопотока перерабатывается в отцепах из нескольких вагонов, в связи с чем требуются дополнительные исследования влияния структуры перерабатываемого отцепопотока на местоположение первого разделительного элемента.

В данном случае рассматривается вопрос определения местоположения первого стрелочного перевода на спускной части горки.

Существует несколько методов для решения этой задачи:

- аналитический, в котором присутствуют некоторые допущения как при определении скорости движения отцепов, так и при расчете временного интервала на первом стрелочном переводе [1, с. 91; 2, с. 226];

- графоаналитический, основанный на построении и графическом анализе фазовых траекторий скатывания расчетных бегунов [3, с. 152];

- имитационное моделирование – разработанные модели предназначенные для определения местоположения первого разделительного элемента (стрелочного перевода) при условии максимального резерва времени (резерва интервала) только для одиночных отцепов [4, с. 118; 5, с. 98].

Таким образом, существующие методики в основном предназначены для определения

оптимальных условий скатывания одиночных отцепов с сортировочной горки и дают слишком большую погрешность при скатывании многовагонных отцепов сложной структуры. В связи с этим исследование влияния отцепов дифференцированной длины на положение первого стрелочного перевода является актуальной задачей.

Для определения резерва времени при скатывании смежных отцепов, состоящих из нескольких вагонов с различными ходовыми характеристиками, был использован метод имитационного моделирования (программный комплекс «Скат-отцеп» [6, с. 88] с блоком, учитывающим упругие связи междвагонных соединений [7, с. 336]).

Прототипом было выбрано горочное сортировочное устройство средней мощности, расположенное на станции *Н-В*, рассматривалась величина резерва времени между отцепами на разделительном элементе.

В ходе экспериментов исследовались временные интервалы на первой разделительной стрелке в зависимости от ее положения относительно вершины горки, скорости надвига, а

также композиции смежных многовагонных отцепов. Исследования проводились для разных положений первого разделительного стрелочного перевода (301 на рис. 1) относительно вершины горки, с учетом соблюдения действующих правил и норм [8, с. 34].

Изменение положения первого разделительного элемента оказывает влияние на резерв времени между отцепами при прочих равных характеристиках отцепов, скоростях надвига и погодных условиях (рис. 2).

При имитационном моделировании необходимо учитывать длину отцепа, которая оказывает существенное влияние на время занятия разделительного элемента. Время хода первого отцепа до конца изолированного участка стрелочного перевода всегда рассчитывается от момента отрыва отцепа до захода последней колесной оси за изостык. При определении момента подхода второго отцепа к началу изолированного участка возможны два варианта:

– момент отрыва отцепа от надвигаемого состава на горб горки происходит раньше захода первой колесной оси за первый изостык

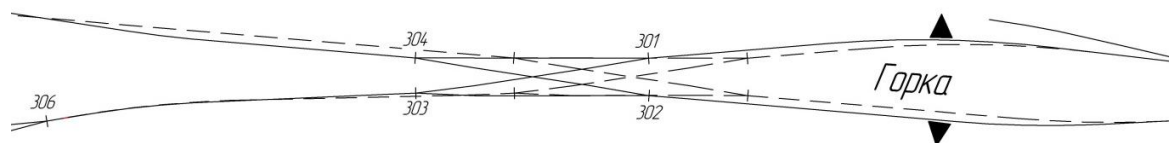


Рис. 1. Принципиальные варианты размещения первого стрелочного перевода относительно вершины горки

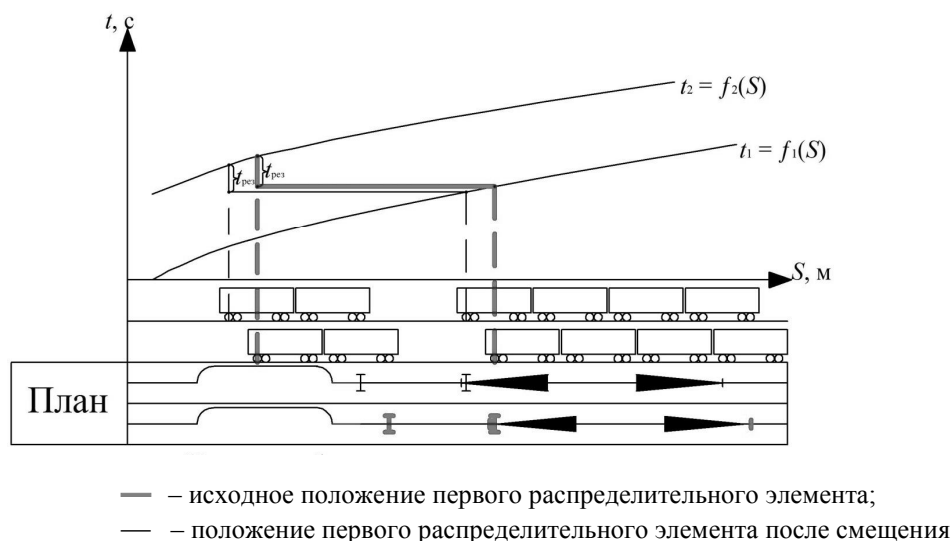


Рис. 2. Расчетная схема определения резерва времени по первому стрелочному переводу при смещении разделительного элемента в сторону вершины горки

изолированного участка стрелочного перевода (в данном случае расчет момента занятия стрелочного перевода производится аналогично [9, с. 111]);

– заход первой оси отцепа на изолированный участок первого стрелочного перевода происходит до отрыва отцепа от надвигаемого состава на горб горки (в данном случае определение времени от момента отрыва предыдущего отцепа до момента занятия стрелочного перевода должно рассчитываться отдельно).

При моделировании необходимо произвести сравнение положения последней оси отцепа в момент отрыва $S_{то2}$ и в момент пересечения отцепом первого изостыка стрелочного перевода на спускной части горки $S_{н.сп2}$.

В случае если отрыва не происходит, рассчитывается расстояние от первого изостыка до положения второго отцепа в момент отрыва предыдущего $S_{то1-сп2}$. Для нахождения времени $t_{то1-сп2}$, за которое отцеп дойдет до первого изостыка стрелочного перевода, полученное расстояние делится на скорость надвига $v_{надв}$. Резерв времени $t_{рез}$ в данном варианте рассчитывается как разность времени, за которое отцеп дойдет до первого изостыка, и времени освобождения изолированного участка стрелочного перевода первым отце-

пом $t_{к.сп1}$. Фрагмент блок-схемы алгоритма расчета представлен на рис. 3.

Моделирование выполняется при следующих исходных данных:

- тип вагона – полувагон (Л – порожний, массой 22 т; Т – груженный, массой 85 т);
- количество вагонов в отцепе варьируется от 1 до 8;
- маршрут скатывания – трудный путь¹;
- условия скатывания – неблагоприятные²;
- скорость надвига – 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,7; 2,0; 2,22; 2,78 м/с;
- положение первого стрелочного перевода на спускной части горки варьируется от текущего местоположения – 11,96 м до 2,26 м от вершины горки, что является минимально допустимым расстоянием с учетом вертикального радиуса кривой.

Для различных сочетаний вагонов в отцепе разработан план проведения экспериментов на модели, которые разделены на четыре серии, различающиеся различными сочетаниями вагонов внутри отцепа. В каждой серии экспериментов рассматривалось скатывание смежных отцепов определенной композиции. Полная матрица плана модельных экспериментов представлена в табл. 1.

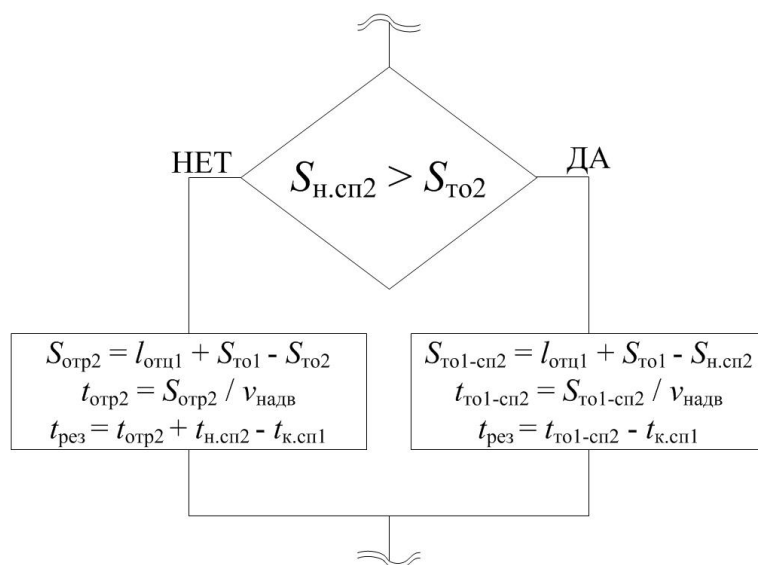


Рис. 3. Фрагмент блок-схемы алгоритма определения резерва времени на стрелочном переводе спускной части сортировочной горки

¹ Путь, на котором по маршруту скатывания суммарная удельная работа всех сил сопротивления движению имеет наибольшее значение.

² За неблагоприятные условия скатывания отцепа принимается сочетание встречного ветра и отрицательной температуры окружающей среды.

Таблица 1

Матрица плана модельных экспериментов

Порядковый номер отцепа при скатывании	Вариант распределения вагонов в отцепах				
	первый	второй	третий	четвертый	пятый
<i>Серия экспериментов 1</i>					
Отцеп 1	1 Л	1 Т – 1 Л	2 Т – 2 Л	3 Т – 3 Л	4 Т – 4 Л
Отцеп 2	1 Т	1 Т	1 Т	1 Т	1 Т
<i>Серия экспериментов 2</i>					
Отцеп 1	1 Л	1 Т – 1 Л	2 Т – 2 Л	3 Т – 3 Л	4 Т – 4 Л
Отцеп 2	1 Т	1 Л – 1 Т	2 Л – 2 Т	3 Л – 3 Т	4 Л – 4 Т
<i>Серия экспериментов 3</i>					
Отцеп 1	1 Л	1 Л	1 Л	1 Л	1 Л
Отцеп 2	1 Т	2 Т	4 Т	6 Т	8 Т
<i>Серия экспериментов 4</i>					
Отцеп 1	1 Т – 7 Л	8 Л	8 Т	4 Л – 4 Т	3 Л – 5 Т
Отцеп 2	1 Т	1 Т	1 Т	1 Т	1 Т

Примечание: 1 Л – отцеп, состоящий из одного порожнего полувагона; 1 Т – отцеп, состоящий из одного груженого полувагона; 3 Л – 5 Т – отцеп, состоящий из трех порожних полувагонов (Л) в хвосте и пяти груженых полувагонов (Т) в голове отцепа.

В рамках исследования рассматривались скорости роспуска в диапазоне от 0,8 до 2,78 м/с. Нижняя граница установлена по нормам проектирования [8, с. 29], верхняя граница принималась с учетом местных инструкций по работе сортировочной горки.

В ходе экспериментов определялось минимальное расстояние до первого стрелочного перевода от вершины горки и величина резерва времени (резерва интервала) для различных сочетаний смежных отцепов и скоростей роспуска (табл. 2).

Таблица 2

Пример значений $t_{\text{рез}}$, с, на первом разделительном элементе для серии экспериментов 4

Расстояние от вершины горки до оси передних стыков рамных рельсов стрелочного перевода, м	Вариант моделирования				
	первый	второй	третий	четвертый	пятый
<i>Скорость надвига 1,70 м/с</i>					
11,96	1,86	6,03	13,16	20,29	21,11
10,96	1,67	5,82	12,88	20,00	20,82
9,96	1,46	5,60	12,60	19,70	20,52
8,96	1,24	5,36	12,31	19,39	20,21
7,96	1,01	5,10	12,00	19,06	19,88
6,96	0,77	4,84	11,68	18,71	19,54
5,96	0,53	4,57	11,35	18,36	19,20
4,96	0,29	4,29	11,01	17,99	18,84
3,96	0,04	4,02	10,67	17,63	18,48
2,96	-0,22	3,73	10,31	17,24	18,09
2,26	-0,22	3,73	10,31	17,24	18,09
<i>Скорость надвига 2,78 м/с</i>					
11,96	-0,93	0,53	3,49	6,66	6,90
10,96	-1,00	0,45	3,36	6,52	6,76
9,96	-1,08	0,36	3,24	6,38	6,62
8,96	-1,16	0,26	3,11	6,24	6,48
7,96	-1,25	0,17	2,97	6,09	6,33
6,96	-1,33	0,07	2,84	5,94	6,19
5,96	-1,42	-0,03	2,70	5,78	6,03
4,96	-1,51	-0,13	2,56	5,63	5,88
3,96	-1,59	-0,23	2,42	5,47	5,72
2,96	-1,68	-0,34	2,27	5,30	5,56
2,26	-1,74	-0,41	2,17	5,20	5,45

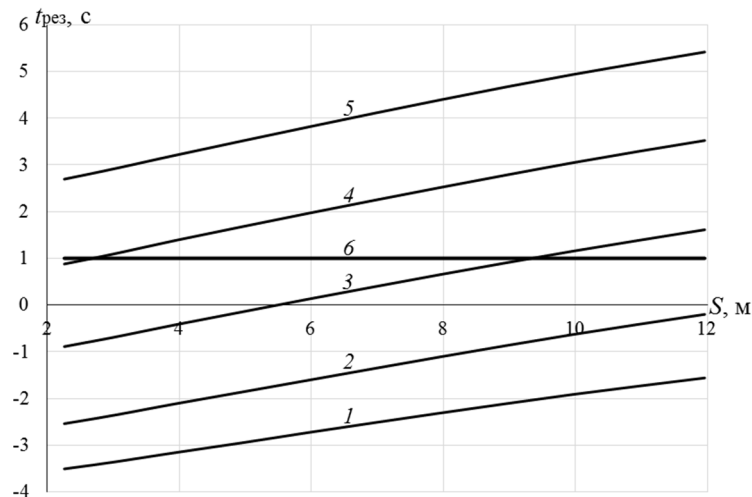


Рис. 4. График зависимости резерва времени $t_{рез}$ от положения стрелочного перевода относительно вершины горки при скорости роспуска 1,7 м/с, серия экспериментов 1:
 1 – 1 Л / 1 Т; 2 – 1 Т – 1 Л / 1 Т; 3 – 2 Т – 2 Л / 1 Т; 4 – 3 Т – 3 Л / 1 Т; 5 – 4 Т – 4 Л / 1 Т;
 6 – минимально допустимое значение $t_{рез}$

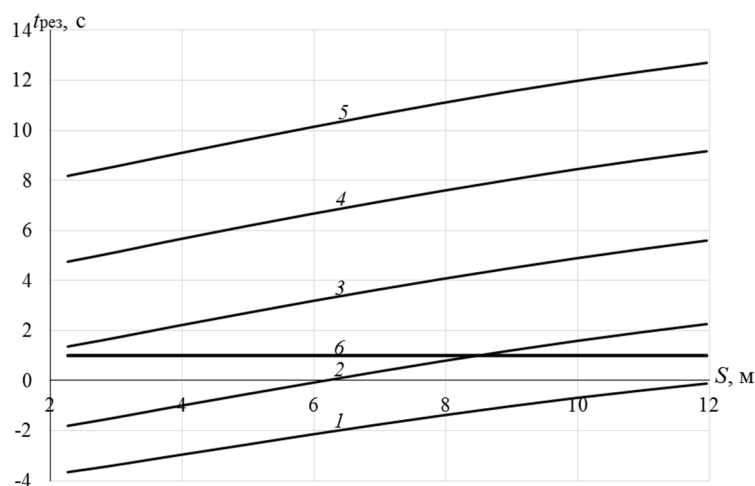


Рис. 5. График зависимости резерва времени $t_{рез}$ от положения стрелочного перевода относительно вершины горки при скорости роспуска 1,2 м/с, серия экспериментов 1:
 1 – 1 Л / 1 Т; 2 – 1 Т – 1 Л / 1 Т; 3 – 2 Т – 2 Л / 1 Т; 4 – 3 Т – 3 Л / 1 Т; 5 – 4 Т – 4 Л / 1 Т;
 6 – минимально допустимое значение $t_{рез}$

Значения резерва времени по первому стрелочному переводу для серии экспериментов 1 представлены на рис. 4–5. На графике в условных обозначениях для каждой функции в числителе записывается характеристика первого отцепа, в знаменателе – второго. Расчетное сочетание одновагонных отцепов 1 Л / 1 Т на графике приводится как контрольное.

Для большинства сочетаний отцепов данная скорость роспуска не реализуема практически на всем диапазоне возможного местоположения стрелочного перевода. Со скоростью 1,7 м/с и более могут распускаться отцепы

с числом вагонов более шести. При существующем положении первого стрелочного перевода также возможен роспуск отцепа, состоящего из четырех порожних полувагонов. В данной серии экспериментов роспуск отцепов с горки при сохранении резерва времени по разделительному элементу возможен со скоростью 1,2 м/с (рис. 5).

Большинство «длинных» отцепов с плохими ходовыми характеристиками выдерживают резерв времени на всем диапазоне возможных местоположений первого стрелочного перевода. Он создается за счет различ-

ного местоположения точки отрыва «длинных» и «коротких» отцепов от надвигаемой части состава на горб сортировочной горки, а также за счет увеличения скорости оторвавшегося отцепа относительно скорости роспуска. Для неблагоприятного сочетания одновагонных отцепов скорость роспуска 1,2 м/с также не реализуема, притом что согласно [10, с. 14] средняя расчетная скорость роспуска на механизированной сортировочной горке для одновагонных отцепов равна 1,8 м/с.

В серии экспериментов 2 (рис. 6) исследуется зависимость резерва времени на первом стрелочном переводе от его положения относительно вершины горки, а также от скорости ро-

спуска при сочетании отцепов равной длины с самыми плохими (отцеп 1) и самыми хорошими (отцеп 2) ходовыми характеристиками.

Установлено, что отцепы с конфигурацией «груженный хвост, порожняя голова» при прочих равных параметрах имеют худшие условия отрыва при роспуске от надвигаемого состава в сравнении с порожним отцепом. На величину резерва времени по первому стрелочному переводу это влияет незначительно.

Для определения зависимости резерва времени от длины второго отцепа была проведена серия экспериментов 3. Согласно [10, с. 14] для такого сочетания отцепов принимается скорость роспуска более 1,7 м/с (рис. 7).

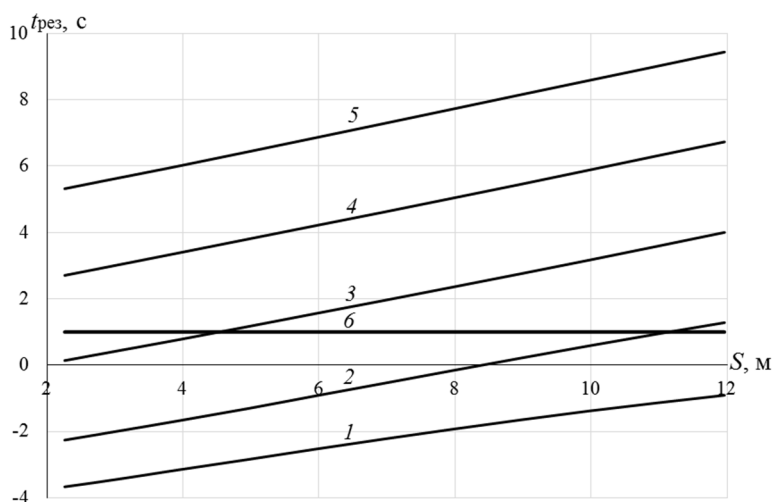


Рис. 6. График зависимости резерва времени $t_{рез}$ от положения стрелочного перевода относительно вершины горки при скорости роспуска 1,4 м/с, серия экспериментов 2:
1 – 1 Л / 1 Т; 2 – 1 Т – 1 Л / 1 Л – 1 Т; 3 – 2 Т – 2 Л / 2 Л – 2 Т; 4 – 3 Т – 3 Л / 3 Л – 3 Т;
5 – 4 Т – 4 Л / 4 Л – 4 Т; 6 – минимально допустимое значение $t_{рез}$

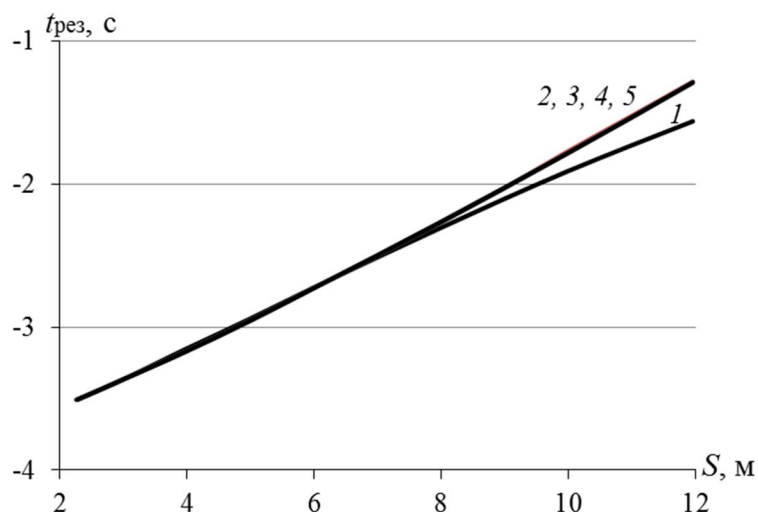


Рис. 7. График зависимости резерва времени $t_{рез}$ от положения стрелочного перевода относительно вершины горки при скорости роспуска 1,7 м/с, серия экспериментов 3:
1 – 1 Л / 1 Т; 2 – 1 Л / 2 Т; 3 – 1 Л / 4 Т; 4 – 1 Л / 6 Т; 5 – 1 Л / 8 Т

Установлено, что для всех вариантов моделирования (кроме первого и частично второго вариантов) значения резерва времени одинаковы. Это объясняется тем, что «длинный» отцеп не успевает оторваться от надвигаемой части состава и заходит на первую стрелку со скоростью роспуска. Очевидно, что при данной конструкции сортировочного

устройства скорость роспуска более 1 м/с не реализуема (рис. 8).

В серии экспериментов 4 (рис. 9) производится исследование зависимости резерва времени от композиции вагонов внутри восьмивагонного отцепа при различных скоростях надвига. Расчеты выполнены для скорости роспуска 2,78 м/с (согласно местной инструкции по работе сортировочной горки).

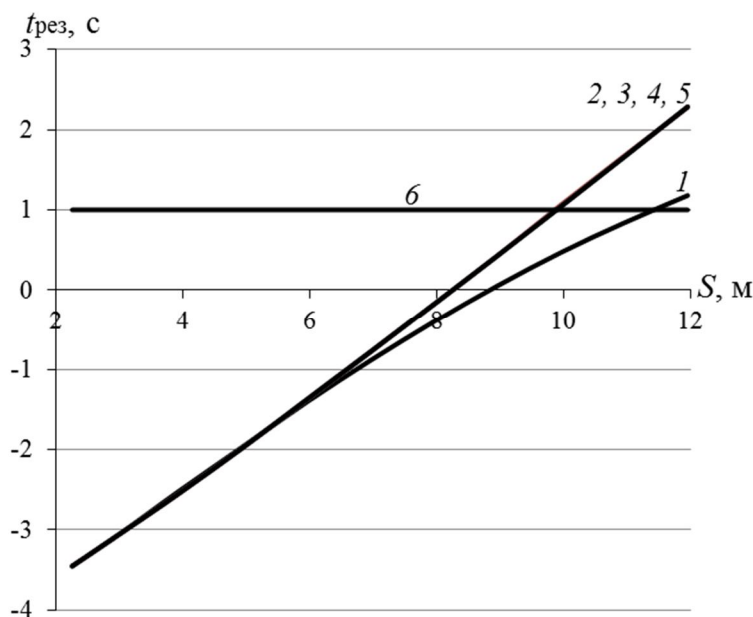


Рис. 8. График зависимости резерва времени $t_{рез}$ от положения стрелочного перевода относительно вершины горки при скорости роспуска 1 м/с, серия экспериментов 3:
 1 – 1 Л / 1 Т; 2 – 1 Л / 2 Т; 3 – 1 Л / 4 Т; 4 – 1 Л / 6 Т; 5 – 1 Л / 8 Т;
 6 – минимально допустимое значение $t_{рез}$

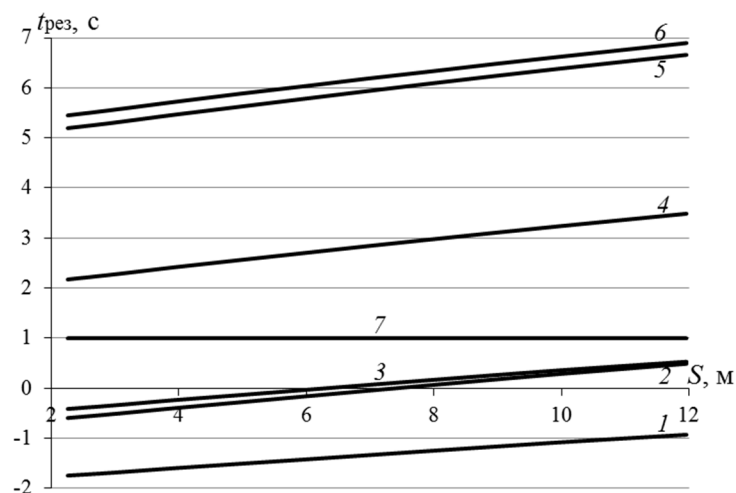


Рис. 9. График зависимости резерва времени $t_{рез}$ от положения стрелочного перевода относительно вершины горки при скорости роспуска 2,78 м/с, серия экспериментов 4:
 1 – 1 Т / 7 Л – 1 Т; 2 – 4 Т – 4 Л / 1 Т; 3 – 8 Л / 1 Т; 4 – 8 Т / 1 Т; 5 – 4 Л – 4 Т / 1 Т; 6 – 3 Л – 5 Т / 1 Т;
 7 – минимально допустимое значение $t_{рез}$

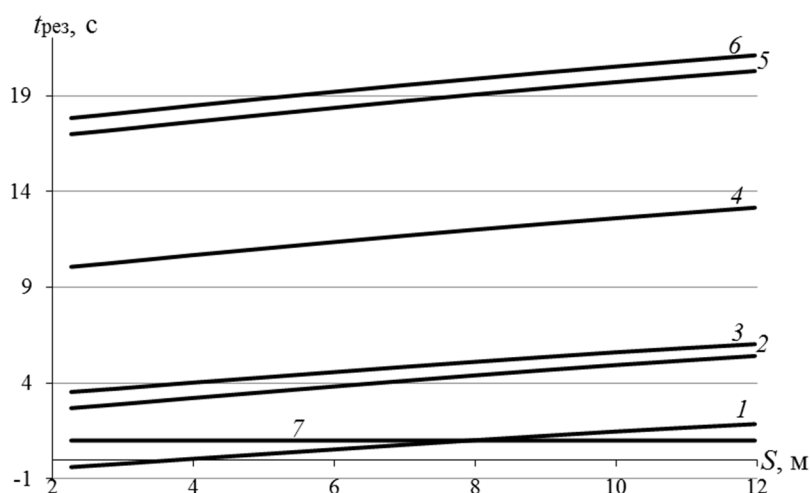


Рис. 10. График зависимости резерва времени $t_{рез}$ от положения стрелочного перевода относительно вершины горки при скорости роспуска 1,7 м/с, серия экспериментов 4:
 1 – 1 Т / 7 Л – 1 Т; 2 – 4 Т – 4 Л / 1 Т; 3 – 8 Л / 1 Т; 4 – 8 Т / 1 Т; 5 – 4 Л – 4 Т / 1 Т; 6 – 3 Л – 5 Т / 1 Т;
 7 – минимально допустимое значение $t_{рез}$

Установлено, что разброс значений резерва времени значительный и зависит от композиции вагонов с разными ходовыми характеристиками внутри отцепа. Наилучшим условием отрыва от состава обладает отцеп со следующей композицией: в хвостовой части – три порожних вагона, в голове – пять груженных вагонов. Отцеп с наихудшим условием отрыва состоит из одного груженого вагона в хвосте и семи порожних вагонов в голове. Соблюдение временных интервалов на первом стрелочном переводе в значительной мере зависит от реализуемой скорости роспуска, так, при скорости роспуска 1,7 м/с резерв времени соблюдается в большинстве случаев (рис. 10).

В результате выполненных исследований получены следующие выводы:

– разработанная методика определения диапазона возможных положений первого стрелочного перевода на спускной части позволяет учитывать отцепы различной длины при принятии проектных решений;

– определены условия захода отцепа за изостык изолированного участка первого стрелочного перевода до отрыва отцепа от надвигаемой на горб горки части состава;

– установлено, что фактическая скорость роспуска отцепов дифференцированной длины может быть ниже средней расчетной скорости роспуска, приведенной в [10, с. 14];

– установлено, что на образование резерва времени по первому стрелочному переводу в основном влияет структура первого отцепа.

Библиографический список

1. Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты) / Н. В. Правдин, Т. С. Банек, В. Я. Негрей и др. ; под общ. ред. Н. В. Правдина. М. : Транспорт, 1984. 296 с.
2. Федотов Н. И. Исследование процессов работы и проектирования транспортных систем при колебаниях транспортных потоков : дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 1971. 470 с.
3. Быкадоров А. В. Некоторые особенности скатывания отцепов из нескольких вагонов // Труды Новосибирского института инженеров железнодорожного транспорта. Вопросы эксплуатации железных дорог. Вып. XX. 1959. С. 150–157.
4. Бессоненко С. А. Теория расчета сортировочных горок для различных климатических зон : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08. М., 2010. 419 с.
5. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств / Ю. А. Муха, Л. Б. Тишков, В. П. Шейкин и др. М. : Транспорт, 1994. 220 с.

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

7. Гунбин А. А. Алгоритм имитационного моделирования скатывания с горки многовагонных отцепов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы VII междунар. науч.-практ. конф. Т. 1. 2016. С. 334–337.

8. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм / МПС РФ. М. : Техинформ, 2003. 168 с.

9. Гунбин А. А. Исследование интервалов на разделительных элементах сортировочной горки при скатывании отцепов дифференцированной длины // Вестник УрГУПС. 2017. № 3 (35). С. 108–117.

10. Нормы времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожных станциях ОАО «РЖД», нормативы численности бригад маневровых локомотивов. М. : Техинформ, 2007. 101 с.

А. А. Gunbin

Modeling Time Intervals on the First Switch of the Hump Yard when Dissolving Different Length Cuts

Abstract. In this article is developed a refined method for determining the position of the first switch at the bottom of the sorting roller during the dissolution of different lengths. The review of existing methods is given; the advantage of simulation modeling is presented in solving this problem. As the object of the prototype, a sorting hump of medium power, located at the station HB, was chosen. The first separating element served as the criterion for choosing the sorting device. During the experiments, the "Scat-Otsep" program, developed by the author of the article, is used to determine the time reserve on the first separation element for various variants of its location relative to the top of the hill. A constructive restriction of the closest location of the first dividing arrow to the top of the slide is defined. According to the current regulations, the calculation of the design parameters of the sorting hills is carried out according to the results of rolling off the trains from single cars - rated runners.

In this paper, an algorithm is developed for calculating the time reserve on a separating element located within an allowable range of values for different lengths. When performing calculations, the structure of the reprocessed detachment flow was considered, including taking into account the distribution of mass inside the "long" traps. The study of the influence of the length of adjacent trails that are opening from the sorting roller to the time reserve on the first turnout on the downhill part of the hill has established that the time interval mainly depends on the length of the first adjacent detachment and depends little on the length and structure of the second traverse, all other conditions being equal. The exception is the one-way fences. There are defined "long" traps with the best and worst condition of separation from the composition, coming to the hump of the sorting roller coaster.

Key words: *hump yard; cuts of differentiated length; simulation modeling; drainage part of hump yard; interval between adjacent cuts; the first separating element.*

Гунбин Антон Андреевич – преподаватель кафедры «Железнодорожные станции и узлы». E-mail: gunbin_gdsu@mail.ru