

В. И. БОБРОВСКИЙ, Е. Б. ДЕМЧЕНКО (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА НАДВИГА И РОСПУСКА СОСТАВОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ

Виконано аналіз існуючих напрямків дослідження режимів роботи маневрових тепловозів в процесі насування та розпуску составів. Обґрунтована необхідність та надані рекомендації щодо створення імітаційної моделі розформування составів на сортувальній гірці, яка б враховувала особливості роботи гіркових локомотивів.

Ключові слова: сортувальна гірка, режим розформування составів, гірковий локомотив.

Выполнен анализ существующих направлений исследования режимов работы маневровых тепловозов в процессе надвига и роспуска составов. Обоснована необходимость и даны рекомендации по созданию имитационной модели расформирования составов на сортировочной горке, учитывающей особенности работы горочных локомотивов.

Ключевые слова: сортировочная горка, режим расформирования составов, горочный локомотив.

The analysis of existing research guidelines of operating modes of shunting diesel locomotives in pushing and breaking-up processes on a hump yard is made. Necessity is proved and recommendations about creation of simulation model of pushing process are given. This model should consider the hump engine's operation features.

Key words: hump yard, breaking-up mode, hump engine.

Одним из основных направлений обеспечения конкурентоспособности железнодорожного транспорта является внедрение ресурсосберегающих технологий во все звенья перевозочного процесса; при этом особая роль отводится повышению экономичности работы сортировочных комплексов станций. Энергетические расходы в процессе расформирования составов на сортировочных горках можно разделить на две основные составляющие: расходы топлива на надвиг составов и электроэнергию на торможение отцепов. Как показал анализ, исследования по снижению расходов в сортировочном процессе проводились отдельно для каждой из компонент. В то же время, эффективное решение задачи ресурсосбережения в подсистеме расформирования требует комплексного рассмотрения процессов надвига и роспуска составов.

С этой целью модель процесса роспуска, предложенную в [1], целесообразно дополнить моделью надвига составов. Это позволит разработать методику ресурсосберегающего управления процессом расформирования составов на сортировочной горке, направленную на обеспечение высокого качества сортировочного процесса при минимуме затрат энергии на его выполнение.

Известно, что расформирование составов на сортировочных горках выполняется маневро-

выми тепловозами и лишь в отдельных случаях – магистральными тепловозами или электровозами. При этом режимы работы горочных тепловозов значительно отличаются от режимов работы поездных локомотивов. Однако в настоящее время моделирование маневровых передвижений выполняется на основе методики тяговых расчетов для поездной работы [2]. При этом не принимаются во внимание условия работы маневровых локомотивов на сортировочных горках, что, в свою очередь, вносит существенные погрешности в определение затрат времени и топлива на надвиг и роспуск. Таким образом, создание имитационной модели расформирования составов, учитывающей особенности работы горочных локомотивов, является актуальной задачей.

Исследованию режимов работы маневровых тепловозов посвящены труды ряда ученых. Основные теоретические положения по определению режимов работы локомотивов при выполнении различных видов маневров приведены в [3]. В частности, автором указанной работы предлагается методика выбора режима надвига, оптимального по критерию общих затрат, приходящихся на один горочный цикл. При этом для определения продолжительности маневровых операций использовались тяговые расчеты.

Указанная методика авторами [4, 5] была усовершенствована с целью учета последова-

тельно уменьшающейся во время роспуска массы расформируемого состава и непрерывно изменяющегося в процессе надвига сопротивления движению. В работе [6] дополнительно учитывалась и реализация переменной скорости роспуска. При этом удельная сила тяги тепловоза определялась для различных значений массы маневрового состава исходя из мощности, развиваемой локомотивом на максимальной позиции контроллера ($n_k = 8$).

В то же время, в результате наблюдений за процессом расформирования составов на ст. Одесса-Застава I установлено, что горочные локомотивы работают под нагрузкой в основном на 1-4-й позициях; при этом контроллер при надвиге не перемещался далее 5-й позиции (рис. 1). Маневровые передвижения на 8-й позиции согласно статистическим данным [7] составляют не более 0,8 % от суммарного времени работы маневровых тепловозов. Кроме того, режим работы тепловозов на сортировочной горке отличается частой сменой положения контроллера: при надвиге состава на горку может выполняться до 40 таких переключений [8].

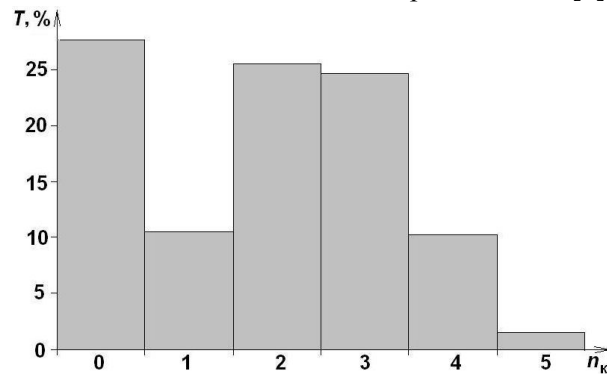


Рис. 1. Распределение времени работы горочных тепловозов по позициям контроллера

Кроме того, частая смена положения контроллера приводит к тому, что дизель работает преимущественно в переходных режимах (рис. 2). Так, для тепловозов ЧМЭ-3 производится до 150 переключений контроллера в час, из них всего 4 из установившегося режима (работа на позиции более 1 мин); при этом выполняется до 35 сбросов-наборов нагрузки [7].

Одним из возможных способов учета указанных выше условий работы горочных локомотивов является применение разработанных автором [9] маневровых тяговых характеристик. Однако указанные тяговые характеристики, представляющие собой эмпирические зави-

симости удельных ускоряющих усилий от скорости движения, лишь частично учитывают особенности переходных режимов разгона маневрового состава и поэтому могут использоваться только для ориентировочных расчетов. Несмотря на это, следует отметить, что подход, предложенный в [9], является качественно новым применением тяговых расчетов для нормирования маневровых операций.

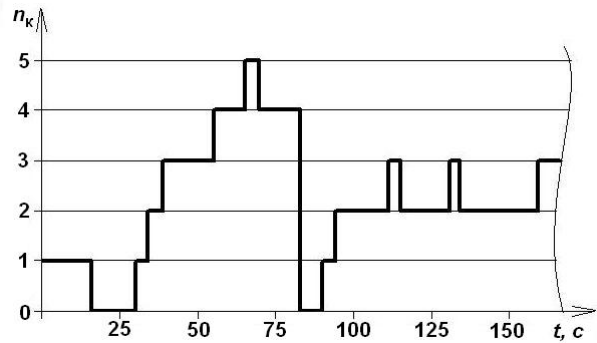


Рис. 2. Динамика перевода контроллера при расформировании состава на сортировочной горке

Автором [10] предложена методика тяговых расчетов для маневровой работы, на основании которой в [11] разработан алгоритм тяговых расчетов для надвига и роспуска составов на сортировочной горке. При этом сила тяги маневрового тепловоза F_k определялась по частичным (промежуточным) характеристикам, которые могут быть реализованы по условиям сцепления при нулевой скорости и далее по следующим промежуточным характеристикам вплоть до выхода на автоматическую (внешнюю) характеристику (рис. 3).

Такой подход к моделированию режимов работы локомотивов наиболее точно отвечает практике их эксплуатации и поэтому может быть принят за основу при создании имитационной модели процесса надвига. При этом в работах [10, 11] указанная методика изложена недостаточно детально, что не позволяет оценить её эффективность.

В работах [5, 12, 13] проводились исследования работы горочных локомотивов с целью поиска такой конструкции плана и продольного профиля подвижной части горки, которая бы минимизировала энергетические расходы, связанные с расформированием составов. В то же время рекомендации по выбору энергоэффективного режима надвига составов в данных работах отсутствуют.

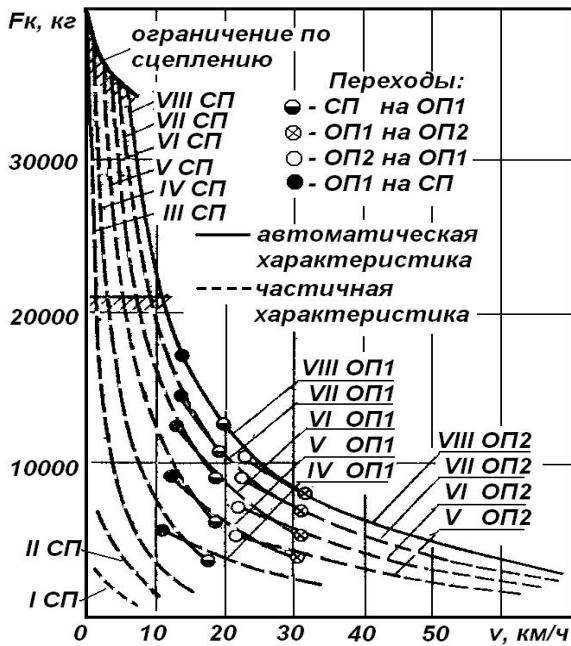


Рис. 3. Тяговые характеристики тепловоза ТЭМ 2 для различных позиций контроллера

Одним из возможных способов экономии энергоресурсов на надвиг и роспуск составов является привлечение для работы на горках менее мощных маневровых локомотивов [14, 15]. При этом расформирование составов массой более 2500 т производится путем деления их на части, масса которых соответствует мощности локомотива. В то же время, эксплуатация сортировочных станций характеризуется высокой степенью неравномерности поступления поездов в расформирование, и в периоды их сгущенного прибытия указанный способ не обеспечит потребной интенсивности сортировочного процесса. В этой связи актуальной является задача повышения эффективности эксплуатации уже имеющихся мощных горочных локомотивов. С этой целью необходимо разработать алгоритм перевода контроллера, который бы в соответствии с потребной интенсивностью расформирования составов обеспечивал энергоэффективный режим работы локомотива.

При этом реализация конкретного режима надвига составов в конечном итоге зависит от действий машиниста горочного локомотива. Поэтому при разработке указанного выше алгоритма перевода контроллера, наряду с физической стороной процесса надвига составов на горку, должны быть учтены и бихевиоральные факторы. Для этого необходимо формализовать действия машиниста по управлению локомотивом во время надвига и роспуска составов.

В работах [9, 16] предложена модель автомашиниста, в которой предполагается, что ма-

шинист при управлении тепловозом должен руководствоваться рядом требований, обеспечивающих безопасность эксплуатации локомотива и производства маневровой работы. Так, основным условием при разгоне, по мнению авторов, является плавность движения, которая достигается путем последовательного увеличения силы тяги и ограничения ее по максимально допустимому ускорению. С этой целью были рассмотрены два режима перевода рукоятки контроллера: максимальный и замедленный. Решение о применении того или иного режима переключения контроллера для отдельной серии локомотива предлагается принимать перед каждым полурейсом на основании массы маневрового состава. При максимальном режиме набор позиций осуществляется с минимально допустимой по условиям безопасной эксплуатации тепловозов задержкой контроллера в каждом положении (3 с). Замедленный же перевод контроллера выполняется так, чтобы ускорение при разгоне не превышало $0,1-0,2 \text{ м/с}^2$.

В случае необходимости движения с установленной скоростью в момент ее достижения (рис. 4, точка А) процесс разгона завершается, а использующийся при этом режим тяги, в зависимости от конкретных условий, заменяется выбегом, частичной тягой, а в отдельных случаях – торможением. Таким образом, модель расформирования должна содержать такой алгоритм переключения контроллера локомотива, который бы обеспечивал дальнейшее движение маневрового состава с постоянной скоростью. С точки зрения динамики, выполнение этого условия достигается при равенстве ускоряющих и замедляющих усилий, действующих на состав при данной скорости.

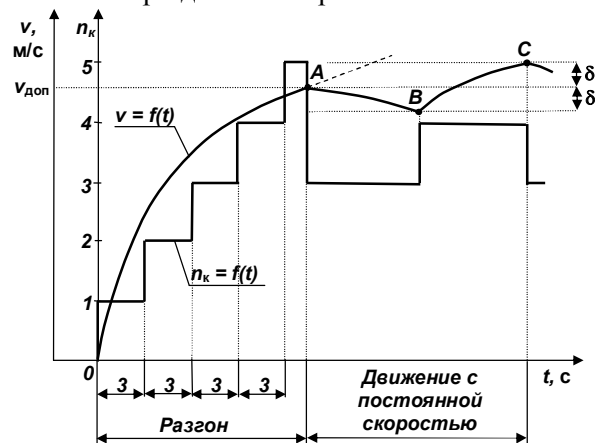


Рис. 4. Алгоритм управления контроллером при движении с постоянной скоростью

Автором [16] в результате анализа массовых тяговых расчетов найдена эмпирическая зависимость, которая позволяет установить пози-

цию, при которой обеспечивается равномерное движение с заданной скоростью. Однако на практике невозможно найти такое положение контроллера, которое бы обеспечивало данный баланс ускоряющих и замедляющих сил. Нужная же мощность локомотива в большинстве случаев находится между двумя смежными позициями контроллера.

В работе [17] предлагается из двух таких соседних позиций выбирать ту, которая обеспечивает несколько меньшую мощность, чтобы не превысить в процессе дальнейшего движения допустимую скорость $v_{\text{доп}}$. Дальнейший алгоритм управления локомотивом заключается в попеременном установлении контроллера на указанные позиции (рис. 4, точки B, C). При этом отклонение фактической скорости от допустимой не должно превышать величины $\delta = \pm 10\%$; в противном случае необходимо осуществить перевод контроллера для набора или сброса позиций, причем сброс позиции может производиться до истечения минимально допустимой выдержки во времени (3 с). При расформировании составов на горке выбор конкретного значения δ зависит от скорости надвига состава и требуемой точности её реализации.

Существенное влияние на эффективность сортировочного процесса оказывает применяемый в конкретных условиях тип полурейса надвига, который характеризуется комбинацией различных режимов работы горочного локомотива. Авторами [3, 5, 6] с целью сокращения продолжительности горочного цикла для надвига как основной определен полурейс типа "Разгон – Движение по инерции" (РИ). При этом надвигаемый состав разгоняется в режиме максимального темпа перевода контроллера до определенной скорости v_{max} с таким расчетом, чтобы, двигаясь далее в режиме выбега (рис. 5, а, участок A-B), на вершине горки (ВГ)

его скорость оказалась равной требуемой скорости роспуска v_0 .

В работах [8, 16] полурейс типа РИ, ввиду большого удельного веса элемента "движение по инерции" в его общей продолжительности, характеризуется как наиболее эффективный по расходу топлива. Данное предположение является справедливым при производстве маневров на участках с благоприятным профилем (площадка, спуск) и достаточной для разгона длинной маршрута. В то же время на горках маневровому составу для преодоления подъема надвижной части при относительно небольшой длине маршрута (200-300 м) необходимо сообщить достаточно высокое ускорение. Данное обстоятельство сводит к минимуму использование режима выбега в полурейсе надвига, а при значительной массе состава в сочетании с неблагоприятными условиями сцепления полностью его исключает. Кроме того, реализация полурейса типа РИ на практике оказывается достаточно затруднительной и требует оборудования маневровых локомотивов вспомогательными приборами.

Как показали наблюдения, наиболее распространенным при надвиге и роспуске составов является полурейс типа "Разгон – Движение с постоянной скоростью" (см. рис. 4). При этом маневровый состав в режиме высокого темпа перевода контроллера интенсивно разгоняется до требуемой скорости роспуска; дальнейшее же движение до ВГ производится с постоянной скоростью путем попеременного использования первых четырех позиций контроллера.

Возможен также замедленный разгон состава (рис. 5, б), при котором контроллер переводится с низким темпом не далее 3-4 позиции, а необходимая скорость роспуска достигается на ВГ, либо непосредственно перед ней. Такой режим надвига характеризуется с одной стороны относительно малым расходом топлива, а с другой – высокой своей продолжительностью.

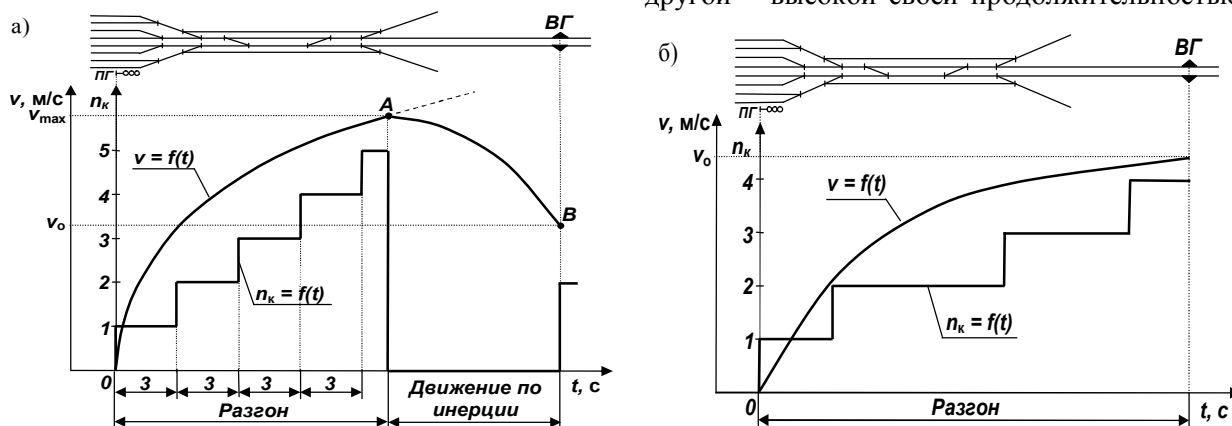


Рис. 5. Режим надвига составов на горку: а - ускоренный; б – замедленный

Как видно, исследованию режимов работы маневровых локомотивов посвящено достаточно большое число публикаций. Выполненный анализ показал, что с помощью моделирования работы маневровых локомотивов решается широкий круг научно-практических задач: определение продолжительности технологических операций, нормирование расхода топлива, оптимизация плана и продольного профиля подвижной части сортировочных горок и др. Вопросы же выбора эффективного режима надвига и роспуска составов до настоящего времени остаются нерешенными.

Успешное решение указанной задачи возможно при условии комплексного рассмотрения процессов надвига и роспуска составов. Для этого должна быть построена имитационная модель расформирования составов, в которой бы учитывались особенности работы горочных локомотивов при различных режимах функционирования сортировочных комплексов.

Так, в периоды сгущенного прибытия поездов во избежание их задержек на подходах к станции должна быть обеспечена высокая интенсивность расформирования. Такой режим работы сортировочного комплекса может быть достигнут при высокой скорости роспуска и сокращении продолжительности полурейса надвига путем применения максимального темпа перевода контроллера горочного локомотива. И, наоборот, во время падения объемов переработки расформирование целесообразно проводить с пониженной скоростью. При этом может применяться режим работы локомотива, характеризующийся замедленным темпом перевода контроллера. Такой подход, помимо повышения качества сортировочного процесса и сокращения расходов на торможение отцепов, позволит достичь экономии энергоресурсов на надвиг составов.

Применение данной модели позволит оценивать энергетические затраты на процесс расформирования для различных значений скорости роспуска. Это, в свою очередь, даст возможность в оперативных условиях определять оптимальный по минимуму расходов режим функционирования сортировочного комплекса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст]: Монография / под ред. В. И. Бобровского – Д.: Изд-во Маковецкий, 2010. – 260 с.
2. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст]. - М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

3. Забелло, М. Л. Маневровая работа на железных дорогах [Текст] / М. Л. Забелло // Сб. научн. тр. – 1958. – Вып. 160. – М.: ЦНИИ, 1958. – 232 с.

4. Туляганов, У. Рациональное использование маневровых средств на станциях [Текст] / У. Туляганов, С. С. Мацкель – Ташкент: Ин-т научно-технич. информации, 1972. – 23 с.

5. Никитин, В. Д. Проектирование продольного профиля парков сортировочной станции с помощью математического моделирования маневровых процессов на ЭЦВМ [Текст] / В. Д. Никитин, С. С. Мацкель // Сб. научн. тр. – Вып. 304. – М.: МИИТ, 1969. – С. 4-41.

6. Бледный, А. М. Исследование основных параметров горочных локомотивов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 – Д.: ДПТ, 1975. – 24 с.

7. Настанова по економному використанню дизельного палива при експлуатації тепловозів. ЦТ-0198 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 29.10.2010. № 161-ЦЗ / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2011. – 101 с.

8. Болховитинов, Г. Ф. Эксплуатационные режимы работы дизелей маневровых тепловозов [Текст] / Г. Ф. Болховитинов, А. М. Белостоцкий // Железнодорожный транспорт. – 1966. – № 12. – С. 45-48.

9. Гончаров, Н. Е. Маневровая работа на железнодорожном транспорте [Текст] / Н. Е. Гончаров, В. П. Казанцев – М.: Транспорт, 1978. – 183 с.

10. Назаров, Л. С. Тяговые расчеты для маневровой работы [Текст] / Л. С. Назаров // Железнодорожный транспорт. – 1990. – № 3. – С. 31-34.

11. Назаров, Л. С. Повышение эффективности маневровой работы [Текст] / Л. С. Назаров, С. Л. Назаров // Железнодорожный транспорт. – 2001. – № 8. – С. 56-57.

12. Бутько, Т. В. Дослідження впливу конструктивних параметрів повздожнього профілю насувної частини гірок на витрати палива при розформуванні составів [Текст] / Т. В. Бутько, О. М. Огар, М. П. Топчів // Зб. наук. праць, УкрДАЗТ, 2003. – Вип. 53. – С. 13-19.

13. Данько, М. І. Математичне моделювання витрат палива маневровими локомотивами [Текст] / М. І. Данько, Т. В. Бутько, В. Д. Зонов, М. П. Топчів // Залізничний транспорт України. – 2004. – № 3. – С. 29-32.

14. Овчинников, В. М. Сокращение расхода дизельного топлива на маневрах [Текст] / В. М. Овчинников, С. А. Пожидаев, Н. Г. Швец, В. В. Скрежендевский // Зб. наук. праць ДНУЗТ «Транспортні системи та технології перевезень». – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – Вип. 1. – С. 62-70.

15. Швец, Н. Г. Энергоэффективные режимы маневровой работы на сортировочных горках [Текст] / Н. Г. Швец, В. М. Овчинников, С. А. Пожидаев // Материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф. «Интеграция Украины в международную транспортную систему». – Д.: ДНУЗТ, 2010. – С. 116-119.

16. Гончаров, Н. Е. Повышение качества и эффективности управления транспортными средствами [Текст] / Н. Е. Гончаров – К.: Будівельник, 1976. – 152 с.

17. Шелест, П. А. Тяговые расчеты тепловозов промышленного транспорта [Текст] / П. А. Шелест – М.: Транспорт, 1972. – 160 с.

Поступила в редколлегию 11.09.2012.

Принята к печати 15.09.2012.