

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ, СВЯЗАННЫХ С ТОРМОЖЕНИЕМ ВАГОНОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ

Запропоновано методику розрахунку енергетичних витрат, пов'язаних з гальмуванням вагонів на сортувальних гірках. Встановлено існування режимів гальмування з мінімальною витратою енергії, що забезпечують виконання вимог інтервального і прицільного регулювання швидкості відцепів.

Предложена методика расчета энергетических расходов, связанных с торможением вагонов на сортировочных горках. Установлено существование режимов торможения с минимальным расходом энергии, обеспечивающих выполнение требований интервального и прицельного регулирования скорости отцепов.

The technique of calculation the consumptions of energy for the braking of cars on the sorting humps is offered. The existence of the braking modes with a minimum consumption of energy ensuring a executing the requirements of interval and aiming speed control of a cuts is established.

Механизированные сортировочные горки железнодорожных станций являются крупными потребителями электрической энергии, которая используется для управления маршрутами скатывания отцепов, для производства сжатого воздуха, включения и выключения замедлителей. На одной из сортировочных горок на расформирование 790 тыс. вагонов за год израсходовано 909 тыс. кВт·ч электрической энергии, в том числе: 158 тыс. – на функционирование горочного микропроцессорного комплекса, 51 тыс. – на нужды ГАЦ, 700 тыс. – на торможение вагонов.

Таким образом, подавляющая часть расхода электроэнергии связана с торможением вагонов. Решение задач нормирования и экономии расхода энергоресурсов требует наличия соответствующих методик расчета, учитывающих влияющие факторы.

Расход воздуха на торможение отдельного отцепа зависит от множества факторов:

- параметров горки (высота, продольный профиль, количество и тип замедлителей);
- параметров отцепа (количество и масса вагонов, удельное сопротивление движению);
- условий скатывания (скорость роспуска, температура воздуха, скорость и направление ветра, дальность скатывания, стрелки разделения со смежными отцепами);
- режима торможения (распределение погашаемой энергетической высоты между тормозными позициями, количество включений замедлителей).

Множество влияющих факторов и сложные взаимодействия между ними затрудняют адек-

ватное описание зависимости расхода воздуха на торможение отцепа. В связи с этим существующие методы нормирования расхода энергоресурсов [1–3] основаны на статистических данных, полученных на действующих горках, теоретически не обоснованы. В качестве основного норматива расходования электроэнергии на горке применяется ее удельный расход на единицу погашаемой энергетической высоты вагона  $\varepsilon_h$ , кВт·ч/м эн. в.

При многопозиционном торможении и нескольких замедлителях на каждой тормозной позиции погашение определенной энергетической высоты скатывающегося отцепа может быть реализовано различными вариантами, отличающимися количеством включений замедлителей и расходом воздуха. Более того, само значение погашаемой энергетической высоты существенно изменяется при перераспределении участия отдельных позиций в торможении отцепа.

Между тем, указанный норматив  $\varepsilon_h$  не учитывает перечисленные выше влияющие факторы, носит усредненный для отцепов и условий скатывания характер, и поэтому не может объективно отражать расходы на торможение конкретного отцепа в определенных условиях. Кроме того, нормативы, основанные на статистических данных, включают утечки воздуха, непроизводительную работу компрессоров и не отражают фактический расход воздуха непосредственно на торможение. Учитывая перечисленные обстоятельства, в данной статье предлагается методика определения расходов, связанных с торможением скатывающихся с горки отцепов, а также исследованы возможности их минимизации.

Расход воздуха при включении замедлителя связан с заполнением емкости тормозных цилиндров и разводящей пневмосети между воздухохборником и цилиндрами  $V_{цс}$ . Включение замедлителя на определенной ступени

торможения  $z$  при давлении  $p_{тс,z}$  соответствует расходу свободного воздуха в объеме  $P_{св} = V_{цс} \cdot p_{тс,z}$ . Данные о емкости подводящей пневмосети и тормозных цилиндров замедлителей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Емкость пневмосети замедлителей

Тип замедлителя	КВ-3	КНП-5	Т-50	ВЗПГ-5	РНЗ-2
Объем питающей сети $V_{цс}$ , м <sup>3</sup>	0,243	0,214	0,143	0,029	0,029

Расход электроэнергии на одно срабатывание (включение) замедлителя можно определить как

$$E_{вкл} = P_{св} \cdot \epsilon_{св},$$

где  $\epsilon_{св}$  – удельный расход электроэнергии на 1 м<sup>3</sup> свободного воздуха, кВт·ч/м<sup>3</sup>.

В чистом виде (без расходов на вспомогательные нужды, непроизводительную работу компрессоров и утечки воздуха) величину  $\epsilon_{св}$  можно определить с использованием тех-

нических характеристик компрессоров следующим образом:

$$\epsilon_{св} = \frac{N_{дк}}{60\Pi},$$

где  $N_{дк}$  – мощность двигателя компрессора, кВт;  $\Pi$  – производительность компрессора, м<sup>3</sup>/мин.

Технико-эксплуатационные характеристики компрессоров и удельный расход электроэнергии приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технико-эксплуатационные характеристики компрессоров

Показатель	Значение показателя для компрессоров				
	305ВП	2ВМ5	ВПЗ	2ВМ2,5	ВП2
Мощность двигателя $N_{дк}$ , кВт	160	160	125	85	75
Производительность $\Pi$ , м <sup>3</sup> /мин	30	27	22	14	11
Удельный расход электроэнергии $\epsilon_{св}$ , кВт·ч/м <sup>3</sup>	0,089	0,099	0,095	0,101	0,114

Данные табл. 2 показывают, что удельный расход электроэнергии колеблется в зависимости от типа компрессора в пределах 0,09...0,11 кВт·ч/м<sup>3</sup>. Таким образом, расходы электроэнергии, связанные с торможением отдельного отцепа при скатывании его с горки, могут быть определены как

$$E_{отц} = \epsilon_{св} \sum_{i=1}^{K_{вкл}} V_{цсi} p_{тцzi},$$

где  $K_{вкл}$  – количество включений замедлителей для торможения отцепа при скатывании его по маршруту.

Расходы на электроэнергию для торможения отцепов отдельного состава можно определить по формуле

$$\mathcal{E}_{эт} = c_{эл} \sum_{j=1}^{k_c} E_{отцj}, \quad (1)$$

где  $c_{эл}$  – стоимость 1 кВт·ч электрической энергии, грн/кВт·ч;  $k_c$  – количество отцепов в составе.

Выражение (1) можно рассматривать как целевую функцию при решении задач оптимизации регулирования скорости скатывания отцепов. Оптимизируемыми факторами при этом являются режимы торможения отцепов состава, выраженные числом включений замедлителей, а ограничения – требования интервального и прицельного регулирования скорости скатывания отцепов. Аналитическое описание зависимости количества включений замедлителей от указанных выше влияющих факторов весьма затруднительно, и поэтому для оценки расходов на торможение целесообразно использовать моделирование процесса расформирования составов на горке с помощью ЭВМ.

Для примера рассмотрим влияние режимов торможения на величину энергетических расходов при регулировании скорости скатывания очень хорошего бегуна (ОХ) в расчетной группе ОП-ОХ-ОП на сортировочной горке типовой конструкции, приведенной в [1]. Характеристики тормозных позиций горки приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Техническое оснащение  
тормозных позиций горки**

Тормозные позиции	Тип замедлителей	Количество замедлителей	Расчетная мощность, м эн.в.
1	КНП-5	2	2,4
2	КНП-5	2	2,4
3	РНЗ-2	3	1,2

Режимы скатывания отцепа ОХ можно характеризовать скоростями его выхода из тормозных позиций ВТП и СТП ( $v_1$ ,  $v_2$ ) и представить на координатной плоскости (рис. 1). На этой плоскости линиями изображены следующие предельные значения скоростей:

– скорости выхода ОХ из ВТП при отсутствии торможения ( $h_1 = 0$ ), при торможении одним замедлителем ( $h_1 = 1,2$  м эн.в.) и двумя замедлителями ( $h_1 = 2,4$  м эн.в.);

– зависимости  $v_2 = f(v_1)$  при отсутствии торможения на СТП ( $h_2 = 0$ ), при торможении одним ( $h_2 = 1,2$  м эн.в.) и двумя замедлителями ( $h_2 = 2,4$  м эн.в.);

– скорости выхода из СТП, обеспечивающие допустимую скорость в точке прицеливания, при различной мощности ПТП ( $h_3 = 0,4$ ;

$h_3 = 0,8$ ;  $h_3 = 1,2$  м эн.в.), соответствующей включению одного, двух и трех замедлителей.

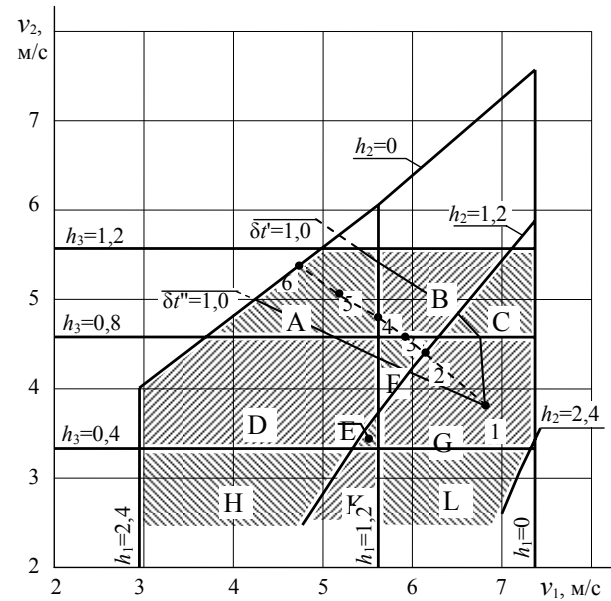


Рис. 1. Области режимов торможения отцепа ОХ

Линии указанных ограничений разбивают всю плоскость  $v_1 v_2$  на отдельные области, соответствующие включению определенного количества замедлителей на каждой тормозной позиции. Числовые характеристики этих областей при  $\epsilon_{св} = 0,1$  кВт·ч/м<sup>3</sup>,  $c_{эл} = 0,23$  грн/кВт·ч приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Расходные характеристики областей режимов торможения расчетного отцепа**

Область	Количество включений замедлителей			Суммарный расход свободного воздуха, м <sup>3</sup>	Расход электроэнергии, кВт·ч	Расходы на электроэнергию, грн
	ТП1	ТП2	ТП3			
А	2	1	3	4,74	0,474	0,109
В	1	1	3	3,35	0,335	0,077
С	1	2	3	4,74	0,474	0,109
Д	2	1	2	4,55	0,455	0,105
Е	2	2	2	5,94	0,594	0,137
F	1	1	2	3,16	0,316	0,073
Г	1	2	2	4,55	0,455	0,105
Н	2	1	1	4,36	0,436	0,100
К	2	2	1	5,75	0,575	0,132
Л	1	2	1	4,36	0,436	0,100

Приведенные результаты показывают, что режимы торможения существенно влияют на расходы, связанные с торможением. Так, режи-

мы торможения в области Е требуют максимальных расходов, которые почти в два раза выше, чем в области F, где они минимальны.

Для учета требований интервального регулирования на рис. 1 приведены линии ограничения скоростей выхода ( $v_1, v_2$ ) отцепа ОХ по условию образования необходимого интервала ( $\delta t' = 1,0$  с) с впереди идущим отцепом ОП и с отцепом ОП, идущим сзади ( $\delta t'' = 1,0$  с), на лимитирующих разделительных элементах. Результаты расчетов показывают, что режимы торможения с минимальными расходами (область F) обеспечивают разделение отцепов.

Для надежного разделения отцепов в условиях действия случайных факторов расчетный режим торможения следует определять по условию образования наибольших возможных интервалов на разделительных элементах в обоих парах рассматриваемой группы отцепов. С этой целью путем имитационного моделирования получены зависимости  $v_2 = f(v_1)$  при условии  $\delta t' = \delta t''$ , представленные на рис. 1 линией 1-2-3-4-5-6. Значения интервалов  $\delta t$  в отдельных точках этой линии приведены в табл. 5.

Таблица 5

Показатели процесса регулирования в отдельных точках области торможения

№ точек	1	2	3	4	5	6
$\delta t' = \delta t''$ , с	1,0	2,4	2,8	3,2	3,3	3,2
$D_{\text{тп}}$ , осе-м	114,9	113,8	112,6	111,9	111,1	109,2

Как видно из рис. 1, рациональный режим торможения отцепа ОХ находится в окрестности точки 3 в области F с минимальными расходами энергии; при этом данный режим обеспечивает близкие к максимально возможным интервалы на разделительных элементах.

Анализ полученных результатов показывает, что изменение режимов торможения вдоль линии 3-4-5 приводит к увеличению интервалов на разделительных элементах, но одновременно увеличивает расходы на торможение (см. рис. 1, переход из области F в область B и далее в область A). Очевидно, что при увеличении расчетных интервалов уменьшается вероятность неразделений отцепов и, следовательно, расходы на ликвидацию их последствий. Таким образом, определение режимов торможения, оптимальных по расходам, представляет собой сложную многофакторную задачу, требующую глубоких исследований связи расчетных величин интервалов с вероятностью неразделений и расходами на их ликвидацию.

Выполненные исследования позволяют отметить еще один фактор, который влияет на расходы, связанные с торможением вагонов. Так, установлено, что изменение режимов торможения приводит к изменению длины участка взаимодействия колес вагонов с тормозными шинами замедлителей (величину  $D_{\text{тп}}$  см. в табл. 5), от которой зависит их износ и расходы на ремонт и восстановление. Эти расходы можно считать пропорциональными количеству включений замедлителей

$K_{\text{вкл}}$  и развернутой длине торможения  $D_{\text{тп}}$ , выраженной в осе-метрах.

С использованием расходных ставок на одно включение  $e_{\text{вкл}}$  и один осе-метр  $e_{\text{ом}}$  расходы на ремонт и восстановление замедлителей в расчете на один расформированный состав можно определить как

$$\mathcal{E}_{\text{рв}} = \sum_{j=1}^{k_c} \left( e_{\text{вкл}} K_{\text{вкл},j} + e_{\text{ом}} \sum_{i=1}^{K_{\text{вкл},j}} D_{\text{тп},ji} \right)$$

Учет этой составляющей в целевой функции (1) позволит повысить качество и объективность результатов оптимизации.

## Выводы

1. Расходы на торможение вагонов существенно зависят от количества включений замедлителей и могут быть определены по предлагаемой методике.
2. Существуют режимы торможения отцепов, требующие минимального расхода энергии и обеспечивающие в тоже время выполнение условий интервального и прицельного регулирования.
3. Выбор рациональных режимов торможения отцепов может осуществляться на основе моделирования процесса расформирования составов с использованием специальной методики.
4. Для более полного учета расходов на торможение вагонов необходимо определение расходных ставок, связанных с износом и восстановлением замедлителей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Муха Ю. А. 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.
2. Шейкин В. П. Снижение расхода энергоресурсов для торможения вагонов на сортировочных горках // Вестник ВНИИЖТ, – 1996. – № 3. – С. 24–27.
3. В. П. Шейкин. О нормировании и снижении расхода энергоресурсов на сортировочных горках / В. П. Шейкин, В. Н. Соколов, А. Б. Демидович // Автоматика, телемеханика и связь, – 1995. – № 7 – С. 30–32.

Поступила в редколлегию 24.06.2006.