

УДК 621.311:656.212.5

О. В. ДЕМЬЯНЧУК<sup>1\*</sup>, А. С. БАБАРЫКИНА<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup> Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Республика Беларусь, тел. +375291107033, эл. почта [olga.demyanchuk.98@mail.ru](mailto:olga.demyanchuk.98@mail.ru)

<sup>2\*</sup> Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Республика Беларусь

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ В ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТАХ СОРТИРОВОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

**Цель.** Совершенствование подходов и методов расчета и проектирования энергоэффективных сортировочных горок железнодорожных станций с учетом механизации их тормозных позиций на основе применения современных вагонных замедлителей, в т.ч. энергоэффективных конструкций. **Методика.** Исследование выполнялось с использованием методов теории горочных расчетов в сочетании с инструментами математической статистики и теории вероятностей. Оценка возможного экономического эффекта осуществлялась на основе технико-экономических расчетов по критерию приведенной экономии годовых затрат. **Результаты.** Выполнена оценка прогнозируемой величины скорости движения ОХБ при входе на тормозные позиции при расчете их потребной мощности. Предложен адаптивный подход к расчету потребной мощности 1-й и 2-й тормозных позиций на спускной части сортировочных горок. Выполнена проверка условия технологической надежности и «живучести» системы регулирования скоростей движения отцепов при скатывании с сортировочной горки с учетом действия вероятностных факторов. Определены экономический эффект при снижении потребности в вагонных замедлителях для тормозных позиций горок, а также показатели энергоэффективности работы сортировочных комплексов. **Практическая значимость.** Полученные важные научные и практические результаты по обоснованию сокращения энергоемкости и повышению энергоэффективности работы сортировочных станций могут быть использованы как для разработки проектов новых, так и для обследования параметров существующих сортировочных комплексов, в том числе и с немеханизированными горками.

**Ключевые слова:** сортировочная горка, вагонный замедлитель, потребная мощность, тормозные средства, энергоэффективность, энергоэффективные проектные решения, экономический эффект.

### Вступление

Сортировочные комплексы железнодорожных станций имеют первостепенное значение для переработки и продвижения вагонопотоков по железнодорожным направлениям и обеспечению бесперебойности перевозок грузов как во внутривнутриреспубликанском сообщении, так и на экспорт. От уровня технического оснащения сортировочных устройств зависят эксплуатационные расходы железной дороги на перевозку грузов.

### Цель

Совершенствование подходов и методов расчета и проектирования энергоэффективных сортировочных горок железнодорожных станций с учетом механизации их тормозных позиций на основе применения современных вагонных замедлителей, в т.ч. энергоэффективных конструкций.

### Методика

Технические средства и конструкция продольного профиля горки должны обеспечивать

необходимые интервалы между отцепами на разделительных элементах при установленной скорости роспуска составов. Оптимизация величин уклонов спускной части горки представляет собой весьма сложную задачу, при решении которой необходимо учитывать особенности динамики скатывания отцепов с различными ходовыми качествами, а также обеспечить выполнение всех конструктивных и технологических требований к проекту сортировочной горки. Для проектирования профиля необходимо установить практически достижимую скорость входа на замедлители тормозных позиций.

При выполнении горочных расчетов возникает потребность в разрешении ряда задач неопределенности, одной из которых и является вопрос определения скорости расчетных бегунов на стадии проектирования сортировочных устройств. Для того, чтобы вычислить значение скорости необходимо запроектировать профиль, а для его проектирования – установить значение скорости. Разрешение такой неопределенности осуществляется путем априорного задания

максимальной допустимой скорости входа на вагонный замедлитель. В настоящее время вследствие технического прогресса в конструкции вагонных замедлителей, улучшения ходовых характеристик вагонов значение скорости выросло, а необходимая высота горки в проектах снизилась.

С помощью программного пакета Statgraphics были проанализированы выборки высоты горки (предикторная переменная, определяющая запас кинетической энергии отцепов) и скорости входа на тормозную позицию (зависимая переменная), полученные опытным путем, и определена зависимость между данными величинами.

Для построения моделей использовалось около 90 пар значений высоты горки  $H_p$  и практически достижимой скорости входа бегуна на замедлитель  $v_{\text{вх}}^{\text{зам}}(\text{max})$ . Для нахождения вида уравнения эмпирической зависимости между случайными величинами использовался регрессионный анализ.

В табл. 1 представлены результаты сравнения альтернативных моделей зависимостей.

Таблица 1

**Сравнительные показатели качества основных альтернативных регрессионных моделей  $v = f(h) + \varepsilon$**

Математическая модель	Коэффициент корреляции $r$	Коэффициент детерминации $R^2$	Информационный критерий Акаике (AIC)
Квадратно-логарифмическая	0,897	80,48%	120,696
Квадратно-коренная	0,896	80,22%	120,697
Логарифмическая по $H_p$	0,892	79,51%	120,700
Квадратная по $v_{\text{вх}}^{\text{зам}}(\text{max})$	0,891	79,39%	120,700
Квадратная обратной пропорциональности	-0,890	79,12%	120,701
Обратно пропорциональная	-0,889	79,09%	120,701

Моделью, наиболее точно описывающей эмпирическую зависимость между величинами, для которой получено наименьшее значение  $AIC = 120,696$ , является квадратно-логарифмическая вида

$$v_{\text{вх}}^{\text{зам}}(\text{max}) = \sqrt{42,9322 \cdot \ln(H_p) - 8,76048} + \varepsilon. \quad (1)$$

Для принятой модели прогнозирования скорости получены следующие ее характеристики: коэффициент корреляции – 0,897; коэффициент детерминации – 80,48 %; скорректированный коэффициент детерминации – 80,25 %; стандартная ошибка оценивания – 2,92; средняя абсолютная ошибка – 2,09; статистика Дарбина-Уотсона – 2,04 ( $P = 0,57$ ). Таким образом, можно сделать вывод о том, что между исследуемыми величинами существует зависимость предложенного вида, и полученное уравнение регрессии может использоваться в дальнейших исследованиях.

Суммарная расчетная мощность тормозных средств (без учета резервных замедлителей) на спускной части горок повышенной, большой и средней мощности должна обеспечивать при благоприятных условиях роспуска (летний период, попутный ветер) остановку четырехосного полувагона ОХБ массой 100 тс  $\bar{w}_0 = 0,5$  Н/кН на второй (пучковой) тормозной позиции спускной части горки с тремя позициями [2].

Расчет суммарной расчетной мощности проектируемых тормозных средств сортировочной горки с минимально необходимой высотой горки  $H_p = 2,83$  м.э.н.в. выполняется по методике, изложенной в [2, 3], для двух вариантов при:

- 1) максимально допустимой скорости входа на замедлитель, определяемой конструкцией применяемых вагонных замедлителей (8 м/с);
- 2) практически достижимой скорости входа ОХБ на замедлитель по формуле (1).

Результаты расчета для двух вариантов сводятся в табл. 2.

Величина суммарной потребной мощности тормозных позиций спускной части горки при применении адаптивного подхода превышает величину, полученную при применении традиционного подхода, за счет уменьшения потерянной энергетической высоты.

По результатам сравнительного анализа данных табл. 2 планируется укладка вагонных замедлителей на тормозных позициях. При применении традиционного варианта расчета на первой тормозной позиции укладывается два замедлителя ЗВУ-02 мощностью 1,3 м.э.н.в.; на второй – три ЗВУ-02; на парковой тормозной позиции на каждом сортировочном пути также укладывается один замедлитель ЗВУ-02. При использовании адаптивного варианта расчета для обеспечения наибольшей эффективности использования технических средств: на первой тормозной

позиции укладывается два замедлителя ЗВУ-02 мощностью 1,3 м.эн. в.; на второй – два ЗВУ-02; на парковой тормозной позиции на каждом сортировочном пути также укладывается один замедлитель ЗВУ-02. Таким образом, уменьшена потребность в замедлителях на каждой второй тормозной позиции.

Таблица 2

**Результаты расчета потребной суммарной мощности тормозных средств по вариантам**

Расчетный параметр	Единицы измерения	Вариант расчета	
		традиционный	адаптивный
$h_{0(max)} = \frac{v_{0(max)}^2}{2 \cdot g'_{ox}}$ , при $v_{0(max)} = 2,2$ м/с	м.эн.в.	0,25	0,25
$v_{вх(зам)}$	м/с	<b>8</b>	<b>5,99</b>
$v_{cp} = \frac{v_{0(max)} + v_{вх(зам)}}{2}$		5,10	4,10
$h_{вз} = (i_{сп} \cdot l_{сп} + i_{стр} \cdot l_{стр}) \cdot 10^{-3}$	м.эн.в.	0,26	0,26
$h_w^{ox} = [(w_0^{ox} \pm w_{св}^{ox}) \cdot l' + v_{cp}^2 (0,56n + 0,23 \sum \alpha)] \cdot 10^{-3}$		0,27	0,20
$h_{вх(max)} = \frac{v_{вх(max)}^2}{2 \cdot g'_{ox}}$		<b>3,32</b>	<b>1,86</b>
$h'_{т(min)} = H_p + h_{0(max)} - h_{вз} - h_{max}^{вх} - \bar{h}_{WВГ-2ТП}^{OX}$		<b>- 1,03</b>	<b>0,5</b>
$h''_{вх(max)} = h_{max}^{вх} + l_{2ТП}'' (i_{2ТП}'' - (w_0^{ox} \pm w_{св}^{ox})) \cdot 10^{-3}$		<b>3,58</b>	<b>2,12</b>
$H_T^{потр} = k_y \cdot (H_p + h_{0(max)} - h_w^{ox} - h_{нз})$		<b>3,19</b>	<b>3,28</b>

В табл. 3 приведена проверка наличной мощности тормозных позиций по двум вариантам.

Таблица 3

**Результаты проверки потребной суммарной мощности тормозных средств, м.эн.в.**

Традиционный подход		Адаптивный подход	
количество тормозных замедлителей			
первая тормозная позиция	вторая тормозная позиция	первая тормозная позиция	вторая тормозная позиция
2	3	2	2
$H_T^{нал} = 1 \cdot 1,3 + 3 \cdot 1,3 = 5,2$		$H_T^{нал} = 1 \cdot 1,3 + 2 \cdot 1,3 = 3,9$	
$H_T^{нал} \geq H_T^{потр}$ (5,2 > 3,19)		$H_T^{нал} \geq H_T^{потр}$ (3,9 > 3,28)	
$h_{1ТП}^{нал} \geq h'_{т(min)}$ (1,3 > <b>-1,03</b> )		$h_{1ТП}^{нал} \geq h'_{т(min)}$ (1,3 > <b>0,5</b> )	
$h_{2ТП}^{нал} \geq h''_{(max)}$ (3,9 > 3,58)		$h_{2ТП}^{нал} \geq h''_{(max)}$ (2,6 > 2,12)	

Сравнивая наличную мощность тормозных средств с потребной, можно сделать вывод о том, что наличной мощности тормозных средств спускной части сортировочной горки, принятой при применении адаптивного подхода, (один замедлитель ЗВУ-02 на первой тормозной позиции и два замедлителя ЗВУ-02 на второй) достаточно и данный вариант является обоснованным и наиболее рациональным при заданных параметрах проектируемой сортировочной горки.

Применение адаптивного подхода (при 24 путях по четыре пучка) позволяет сократить количество вагонных замедлителей до 8; общее количество вагонных замедлителей при использовании данного подхода составит 36 единиц.

Расчет мощности тормозных средств для различных значений высот горки в диапазоне от 2 до 5,5 м эн. в. и позволяет определить аналитическим и графическим способами предельный уровень высоты горки, при которой на второй тормозной позиции допустимо укладывать рациональное количество замедлителей. Расчет произведен для замедлителей типа ЗВУ-00, ЗВУ-01, ЗВУ-02. Для расчета аналитическим способом были получены следующие аппроксимирующие кривые для

$$H_{потр} = e^{(0,101161+1,04253 \cdot \ln(H_p))}$$

$$h_{max}'' = -0,190596 + 2,22434 \cdot \ln(H_p)$$

При укладке на тормозных позициях замедлителей типа ЗВУ-02 мощностью 1,3 м.эн.в. предельная высота горки, при которой возможна укладка двух замедлителей на второй тормозной позиции, по критерию суммарной мощности тормозных средств составляет 3,35 м.эн.в., а по критерию максимальной потребной мощности второй тормозной позиции – 3,51 м.эн.в. (рис. 1).

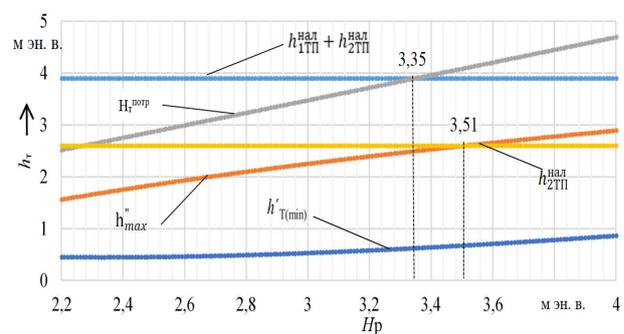


Рис. 1. Определение рациональных границ укладки двух замедлителей ЗВУ-02 на первой и второй тормозных позициях сортировочной горки

В табл. 4 приведены результаты расчетов при условии применения более мощных

замедлителей ЗВУ-00 и ЗВУ-01 по сравнению с ЗВУ-02.

Таблица 4

**Итоговые значения максимальной энергетической высоты горки, при которой на второй тормозной позиции допустимо укладывать два замедлителя**

Замедлитель (количество звеньев)	Энергетическая высота горки, м эн. в.
ЗВУ-00 (пятизвенный)	4,33
ЗВУ-01 (четырёхзвенный)	3,84
ЗВУ-02 (трехзвенный)	3,35

Аналогичные расчеты выполнены для сортировочной горки с 34 путями. По результатам таких расчетов установлено, что наличной мощности тормозных средств спускной части сортировочной горки при применении адаптивного подхода (один замедлитель ЗВУ-00 на первой тормозной позиции и два замедлителя ЗВУ-00 на второй) достаточно и данный вариант является обоснованным и наиболее рациональным при заданных параметрах проектируемой сортировочной горки.

Согласно полученным результатам использование практически достижимой скорости входа на тормозную позицию позволяет адекватно расчетным параметрам проектируемой горки определить требуемую мощность тормозных средств, следовательно, и количество укладываемых на тормозной позиции вагонных замедлителей. При распределении общей мощности по тормозным позициям для различных типов замедлителей установлены граничные значения высоты горки, при которых допустима укладка рационального их количества. Это позволит априори определять длину тормозных позиций и точнее производить расчет мощности тормозных средств, параметров продольного профиля спускной части горки. Значительно улучшается технологическая эффективность проекта.

Рассчитанная общая мощность тормозных средств должна быть рационально распределена по двум или трем тормозным позициям. При комплексной механизации и автоматизации сортировки вагонов мощность каждой тормозной позиции должна обеспечивать расчетный темп роспуска составов, иметь резерв мощности, компенсирующий погрешности средств регулирования скоростей скатывания вагонов. Следует учитывать возможность возникновения сбоев в работе вагонных замедлителей. Источниками сбоев системы торможения могут быть комплекс устройств воздухообеспечения, неудовлетворительное состояние боковых поверхностей колес вагонов, ошибки оператора при

дистанционном управлении вагонными замедлителями и др. Таким образом, мощность принятого количества замедлителей на спускной части горки может оказаться недостаточной.

При расчетах с использованием максимально достижимой скорости входа на вторую тормозную позицию возникает необходимость проверки условия технологической «живучести» системы регулирования скоростей движения отцепов с учетом действия вероятностных факторов в самой неблагоприятной ситуации:

$$h_{1ТП}^{нал} \geq \frac{H_T^{потр}}{K_y} - h_{2ТП(min)}^{нал}, \quad (2)$$

где  $h_{2ТП(min)}^{нал}$  – суммарная мощность тормозных средств на второй тормозной позиции с учетом возможного отклонения от средней величины.

С учетом возможного отклонения суммарной мощности тормозных средств на второй тормозной позиции от средней величины

$$h_{2ТП(min)}^{нал} = h_{2ТП}^{нал} - t_{\beta} \sigma_T^{2ТП}, \quad (3)$$

где  $t_{\beta}$  – параметр доверительной вероятности суммарной мощности тормозных средств;  $\sigma_T^{2ТП}$  – среднеквадратическое отклонение наличной мощности тормозных средств от ее номинальной величины на второй тормозной позиции,  $\sigma_T^{2ТП} = 0,2h_{2ТП}^{нал}$ .

С помощью пакета Statgraphics были проанализированы выборки потребной и суммарной наличной мощностей тормозных средств спускной части горки. В результате проверки по критерию согласия  $\chi^2$  Пирсона гипотезы о законе распределения случайных величин потребной и суммарной наличной мощностей тормозных средств, установлено, что закон распределения, построенный по наблюдаемым значениям исследуемых величин, согласуется с нормальным.

Из рис. 2 видно, что при определенных условиях наличной мощности может оказаться недостаточно для остановки ОХБ на второй тормозной позиции спускной части горки. Вероятность превышения минимальной наличной мощности тормозных средств определяется площадью зоны (см. рис. 2), ограниченной ординатой, восстановленной из точки  $H_T^{нал(min)}$  и кривой плотности распределения колебаний потребной мощности тормозных средств. Вероятность того, что наличная мощность тормозных средств будет меньше максимальной потребной мощности

численно равна площади зоны, ограниченной ординатой, восстановленной из точки  $H_{T(\max)}^{\text{потр}}$  и

кривой плотности распределения колебаний наличной мощности тормозных средств.

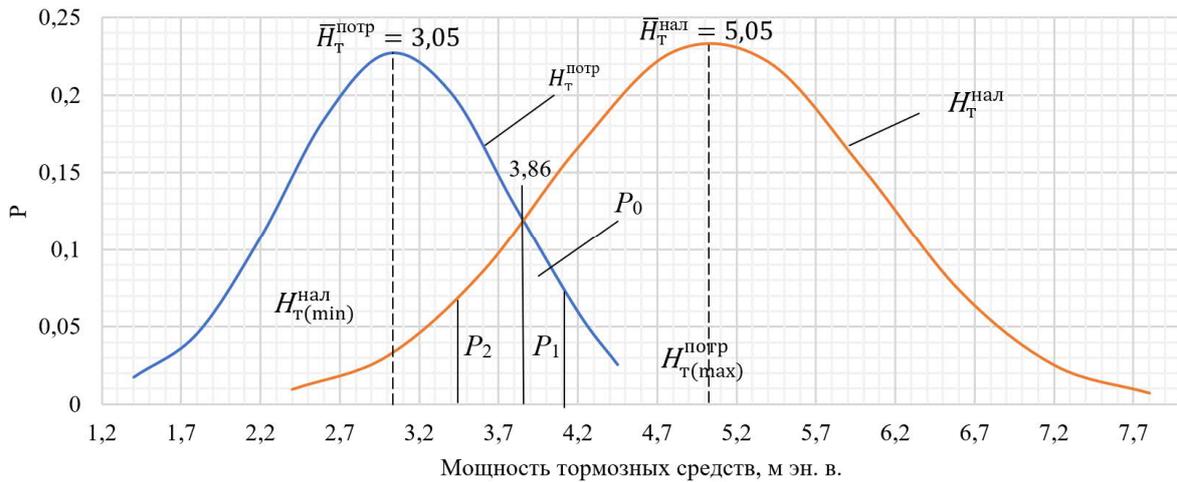


Рис. 2. Распределение плотностей вероятностей колебаний потребной и наличной мощности тормозных средств спускной части горки

Вероятность события, при котором потребная мощность тормозных средств будет больше минимальной наличной, а последняя будет меньше максимальной потребной, численно равна площади, перекрываемой одновременно двумя гистограммами. Приближенно можно записать [4]

$$P_0 = P(H_T^{\text{потр}} > H_T^{\text{нал}}) P(H_T^{\text{нал}} < H_T^{\text{потр}}), \quad (4)$$

$$P_0 = [1 - \Phi\left(\frac{H_T^{\text{нал}}(\min) - \bar{H}_T^{\text{потр}}}{\sigma_{\text{потр}}}\right)] \Phi\left(\frac{H_T^{\text{потр}}(\max) - \bar{H}_T^{\text{нал}}}{\sigma_{\text{нал}}}\right). \quad (5)$$

Расчеты выполнены при укладке на второй тормозной позиции минимально необходимого количества вагонных замедлителей (в проектах горок на 24-е и 34-е пути в сортировочных парках двух вагонных замедлителей ЗВУ-02 и ЗВУ-00 соответственно). Установлен параметр уровня доверительной вероятности  $t_\beta$  (составивший 1,57), и расчетная величина погрешности тормозных средств, при которых вероятность критического сбоя системы регулирования не превысит 0,05, а также резерв наличной мощности 1-й тормозной позиции при увеличении ее потребной величины (составивший 1,8 м.э.в.).

Согласно выполненным расчетам, достаточно укладывать один вагонный замедлитель ЗВУ-00 на первой тормозной позиции, но также следует учесть наличие второго, который выполняет резервные функции, например, при отключении первого для проведения технического обслуживания или выхода его из строя, а также при недостаточной мощности одного.

Сокращение до двух замедлителей на второй тормозной позиции позволит оценить

возможный экономический эффект, определяемый на основе расчета приведенной экономии годовых затрат, и повышения экономической эффективности проекта.

Предлагаемое проектное решение при использовании адаптивного подхода позволит сократить:

1) капитальные вложения на оснащение сортировочной горки средствами механизации (количество замедлителей на второй тормозной позиции спускной части сортировочной горки для рассматриваемого варианта сократится на 4 единицы);

2) годовые эксплуатационные расходы, включающие:

- амортизационные отчисления;
- расходы на материалы, запасные части для ремонта замедлителей;
- расходы на производство сжатого воздуха для работы замедлителей.

При расчете эксплуатационных расходов на производство сжатого воздуха учитывалась потребность в сжатом воздухе для работы самих замедлителей, на местные нужды, а также подключение к компрессорной установке устройств очистки горочных стрелочных переводов и возможную утечку воздуха.

По результатам расчетов экономия капитальных вложений на оснащение сортировочной горки средствами механизации с учетом стоимости 1 м.э.в. ориентировочно 100 тыс. у.е. в проектах горок на 24-е пути в сортировочном парке составит 520 тыс. у.е., на 34-е – 1020 тыс. у.е., сокращение эксплуатационных расходов в процессе функционирования (затраты

электроэнергии для производства сжатого воздуха, амортизация, содержание устройств и др.) составит в проектах горок на 24-е пути в сортировочном парке 60,89 тыс у. е., на 34-е – 118,37 тыс у. е.

В последние годы проблема энергосбережения приобрела особую актуальность. В мире предпринимаются огромные усилия по внедрению новых технологических и технических решений, направленных на сокращение потребляемой энергии.

Большая работа в плане энергосбережения выполняется на Белорусской железной дороге. В рамках государственной политики большое

внимание уделяется рациональному использованию топливно-энергетических и материальных ресурсов. Плановая работа по ресурсо- и энергосбережению позволяет не только стабилизировать, но и значительно снизить долю затрат на энергоресурсы в объеме общих эксплуатационных затрат при одновременном росте объемов работ [5].

В табл. 5 приведена оценка сокращения энергоемкости и повышения эффективности работы сортировочного комплекса, полученная по результатам данного исследования при реализации адаптивного подхода к определению технического оснащения сортировочных устройств.

Таблица 5

**Оценка сокращения энергоемкости и повышения эффективности работы сортировочного комплекса**

Характеристика мероприятия			Адаптивный подход	Традиционный подход	Эффект
Сортировочная горка с 24 путями					
Наличная мощность тормозных средств на второй тормозной позиции, м эн. в.			2,6	3,9	Сокращение до двух вагонных замедлителей на второй тормозной позиции, экономия электроэнергии 9636,0 кВт·ч в год, экономия годовых приведенных затрат 112,89 тыс у.е. в год
Общая наличная мощность тормозных средств, м эн. в.			3,9	5,2	
Энергоэффективные проектные решения при проектировании тормозных средств сортировочных горок	энергоемкость	кВт·ч/состав	13,91	14,51	
		кВт·ч/отцеп	0,70	0,73	
		кВт·ч/вагон	0,23	0,24	
	энергоэффективность	составов/кВт·ч	0,072	0,069	
		отцепов/кВт·ч	1,44	1,38	
		вагонов/кВт·ч	4,32	4,14	
Сортировочная горка с 34 путями					
Наличная мощность тормозных средств на второй тормозной позиции, м эн. в.			3,4	3,9	Сокращение до двух вагонных замедлителей на второй тормозной позиции, экономия электроэнергии 9475,4 кВт·ч в год, экономия годовых приведенных затрат 220,37 тыс у.е. в год
Общая наличная мощность тормозных средств, м эн. в.			5,1	5,2	
Энергоэффективные проектные решения при проектировании тормозных средств сортировочных горок	энергоемкость	кВт·ч/состав	15,28	15,88	
		кВт·ч/отцеп	0,76	0,79	
		кВт·ч/вагон	0,25	0,26	
	энергоэффективность	составов/кВт·ч	0,065	0,063	
		отцепов/кВт·ч	1,30	1,26	
		вагонов/кВт·ч	3,90	3,78	

Таким образом, применение адаптивного подхода при проектировании сортировочных устройств на основе использования в расчетах практически достижимой скорости очень «хорошего» бегуна является целесообразным при обосновании укладки на тормозных позициях рационального количества замедлителей горки с учетом ее основных конструктивных параметров.

**Результаты**

На основе статистических данных впервые выполнена оценка прогнозируемой величины скорости движения ОХБ при входе на тормозные позиции при расчете их потребной

мощности в зависимости от уровня энергетической высоты, определяемого расчетной высотой сортировочной горки, установлены закономерности ее изменения в зависимости от основных параметров горок.

С учетом прогнозируемой величины скорости входа ОХБ на тормозные позиции горки предложен адаптивный подход к расчету потребной мощности (погашаемой энергетической высоты) 1-й и 2-й тормозных позиций на спускной части сортировочных горок, позволяющий рационально определить их техническое оснащение (тип и мощность вагонных замедлителей, их количество) и значительно улучшить технико-экономические показатели

инфраструктурных проектов сортировочных станций и энергоэффективность работы сортировочных комплексов. Установлено, что в исследуемых проектах горок на 24-е и 34-е пути в сортировочных парках на второй (пучковой) тормозной позиции достаточно укладывать два вместо трех замедлителей согласно традиционному подходу. Этот вывод подтверждается опытом проектирования (реконструкции) и эксплуатации крупных сортировочных станций холдинга «РЖД» (Лужская-Сортировочная, Екатеринбург-Сортировочный, Красноярск-Восточный и др.), железных дорог Западной Европы и Северной Америки (Машен, Бэйли Ярд, Вэйкрос и др.).

Выполнена проверка условия технологической надежности и «живучести» системы регулирования скоростей движения отцепов при скатывании с сортировочной горки с учетом действия вероятностных факторов, приводящих к снижению наличной мощности тормозных средств и погрешности средств регулирования (неблагоприятные условия погоды, загрязнения ободьев колес вагонов, шин замедлителей, утечки воздуха в устройстве и магистралях, снижение давление в воздухопроводной сети и др.). Расчеты выполнены при укладке на второй тормозной позиции минимально необходимого количества вагонных замедлителей. Установлен параметр уровня доверительной вероятности  $t_{\beta}$  и расчетная величина погрешности тормозных средств, при которых вероятность критического сбоя системы регулирования не превысит 0,05, а также резерв мощности 1-й тормозной позиции при увеличении ее потребной величины.

Определены экономический эффект при снижении потребности в вагонных замедлителях для тормозных позиций горок, образуемый уменьшением стоимости инфраструктурного проекта сортировочных комплексов и сокращением эксплуатационных расходов в процессе функционирования (затраты электроэнергии для производства сжатого воздуха, амортизация, содержание устройств и др.), а также показатели энергоэффективности работы сортировочных комплексов: сокращение потребления электроэнергии на расформирование составов, удельное энергопотребление на состав, отцеп, вагон в отцепе и др.

### Выводы

Полученные важные научные и практические результаты по обоснованию сокращения энергоемкости и повышению энергоэффективности работы сортировочных станций могут быть

использованы как для разработки проектов новых, так и для обследования параметров существующих сортировочных станций, в том числе с немеханизированными горками малой мощности (Витебск, Жлобин, Орша-Центральная, Орша-Западная), а в отдельных случаях – участковых и грузовых станций (Лунинец, Волковыск, Степянка, Брест-Северный колеи 1520 мм и др.). Данное направление обеспечит повышение безопасности и энергоэффективности функционирования сортировочных комплексов станций, вывод РСДВ из опасных зон вблизи движущегося подвижного состава, снижение напряженности труда ДСПГ и операторов по сортировочным горкам, повышение сохранности перерабатываемого подвижного состава и грузов, снижение эксплуатационных расходов в масштабе Белорусской железной дороги.

Развитие исследования позволит повысить адекватность теоретических моделей реальным условиям работы с возможностью их широкого применения для анализа конструкций существующих сортировочных комплексов станций и оптимизации их параметров.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. – М., 2001. – 255 с.
2. Проектирование сортировочных станций с автоматизированными горочными комплексами: учеб.-метод. пособие для курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Железнодорожные станции и узлы» / В. Я. Негрей; М-во трансп. и коммуникаций РБ, БелГУТ – Гомель, 2015. – 235 с.
3. Сортировочные станции: учеб. пособие / М. Н. Луговцов – М-во образования Респ. Беларусь, Гомель – БелГУТ, 2009 – 248 с.
4. Правдин Н. В., Дыканюк М. Л., Негрей В. Я. Прогнозирование грузовых потоков. М. : Транспорт, 1987. 247 с.
5. Исследование эффективности потребления топливно-энергетических ресурсов организациями и структурными подразделениями Белорусской железной дороги с разработкой стратегии повышения энергетической эффективности Белорусской железной дороги на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года [Текст] : отчет о НИР (2 этап) :/ БелГУТ ; рук. В.М. Овчинников. – Гомель, 2020. – 142 с.
6. Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты): учеб. пособие / В. Я. Негрей [и др.]; под ред. В. Я. Негрей; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2018. – 625 с.
7. Негрей, В. Я. Обоснование уровня технического оснащения и оптимизация параметров конструкции сортировочных комплексов

железнодорожных станций / В.Я. Негрей, С.А. Пожидаев, Е.А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок: сб. науч. работ ДНУЖТа им. ак. В. Лазаряна. – Д.; Изд-во Днепропетр. нац. ун-та жел.-транс. им. В. Лазаряна, 2014. – Вып. 8 – С. 110-119.

*Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Негреем В. Я. (Беларусь)*

Поступила в редколлегию 30.11.2021  
Принята к печати 14.12.2021

О. В. ДЕМ'ЯНЧУК, А. С. БАБАРИКІНА

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ В ІНФРАСТРУКТУРНИХ ПРОЕКТАХ СОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

**Мета.** Удосконалення підходів і методів розрахунку та проектування енергоефективних сортувальних гірок залізничних станцій з урахуванням механізації їх гальмівних позицій на основі застосування сучасних вагонних сповільнювачів, у т.ч. енергоефективних конструкцій. **Методика.** Дослідження виконувалося з використанням методів теорії гіркових розрахунків у поєднанні з інструментами математичної статистики та теорії ймовірностей. Оцінка можливого економічного ефекту здійснювалася з урахуванням техніко-економічних розрахунків за критерієм наведеної економії річних витрат. **Результати.** Виконано оцінку прогнозованої величини швидкості руху ОХБ при вході на гальмівні позиції при розрахунку їхньої потреби. Запропоновано адаптивний підхід до розрахунку необхідної потужності 1-ї та 2-ї гальмівних позицій на спускній частині сортувальних гірок. Виконано перевірку умови технологічної надійності та «живучості» системи регулювання швидкостей руху відцепів при скочуванні з сортувальної гірки з урахуванням дії ймовірнісних факторів. Визначено економічний ефект при зниженні потреби у вагонних сповільнювачах для гальмівних позицій гірок, а також показники енергоефективності роботи сортувальних комплексів. **Практична значимість.** Отримані важливі наукові та практичні результати з обґрунтування скорочення енергоємності та підвищення енергоефективності роботи сортувальних станцій можуть бути використані як для розробки проектів нових, так і для обстеження параметрів існуючих сортувальних комплексів, у тому числі і з немеханізованими гірками.

*Ключові слова:* сортувальна гірка, вагонний уповільнювач, потрібна потужність, гальмівні засоби, енергоефективність, енергоефективні проектні рішення, економічний ефект.

О. DEMIANCHUK, A. BABARYKINA

## ENERGY EFFICIENT SOLUTIONS IN INFRASTRUCTURE PROJECTS OF SORTING COMPLEXES OF RAILWAY STATIONS

**Purpose.** Improving approaches and methods of calculation and design of energy-efficient sorting slides of railway stations, taking into account the mechanization of their braking positions based on the use of modern car moderators, including energy efficient structures. **Methodology.** The research was performed using the methods of the theory of bitter calculations in combination with the tools of mathematical statistics and probability theory. The assessment of the possible economic effect was carried out taking into account the technical and economic calculations on the criterion of the given savings of annual costs. **Results.** An estimate of the predicted value of the speed of the very good runner at the entrance to the brake positions when calculating their needs. An adaptive approach to the calculation of the required power of the 1st and 2nd brake positions on the descent part of the sorting slides is proposed. The condition of technological reliability and "survivability" of the system of control of speeds of movement of couplings at rolling down from a sorting hill is checked taking into account action of probabilistic factors. The economic effect of reducing the need for car decelerators for the braking positions of the slides, as well as energy efficiency of sorting complexes. **Practical value.** The obtained important scientific and practical results to substantiate the reduction of energy consumption and increase the energy efficiency of sorting stations can be used to develop new projects and to survey the parameters of existing sorting complexes, including non-mechanized slides.

*Keywords:* marshalling hump, car retarder, required power, braking facilities, energy efficiency, energy efficient design solutions, economic effect.