

УДК 656.23

Н. А. АЗЯВЧИКОВ<sup>1\*</sup>, С. А. ПОЖИДАЕВ<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup> Государственное предприятие «Институт «Белжелдорпроект», ул. Свердлова, 28, 220006, Минск, Республика Беларусь, тел. (017) 225 03 11, ORCID 0000-0003-0911-5237

<sup>2\*</sup> Каф. «Транспортные узлы», Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», ул. Кирова, 34, 246653, Гомель, Республика Беларусь, тел. (0232) 95-39-48, эл. почта pgsergey2006@yandex.by, ORCID 0000-0002-6929-1008

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ В ПРОЕКТАХ РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ

**Цель.** Целью исследования является оценка энергоэффективности технических и технологических решений в проектах развития инфраструктуры железнодорожных станций на примере сортировочной станции Минск-Сортировочный. **Методика.** С использованием методов математического моделирования передвижений маневрового состава в исследовании оценены объемы снижения потребления дизельного топлива и моторного масла при реализации предлагаемых конструктивных и технологических мероприятий. На основе экономико-математического анализа оценена экономическая эффективность и целесообразность реализации мероприятий. **Результаты.** Для снижения энергетических затрат на маневровую работу в парке приема сортировочной станции получен оптимальный продольный профиль путей парка приема, предгорочной горловины и путей надвига, определено рациональное расположение устройств закрепления составов с учетом применения механизированных средств. Для условий функционирования сортировочной станции Минск-Сортировочный выполнено ранжирование путей парка приема по уровню энергетических затрат на маневровую работу с последующим преимущественным приемом грузовых поездов на пути, выполнение маневровой работы на которых связано с меньшим расходом топлива. **Научная новизна.** В результате выполненных исследований предложен метод комплексного исследования параметров инфраструктуры железнодорожных станций с целью снижения энергетических затрат на выполнение маневровой работы на сортировочных станциях и повышения энергоэффективности перевозочного процесса. Определена зависимость потребного количества механизированных средств закрепления составов от параметров состава и конфигурации станционного пути для обоснования параметров новой технологии закрепления составов в парке приема сортировочных станций. **Практическая значимость.** В виду высокого уровня потребления железнодорожным транспортом топливно-энергетических ресурсов на осуществление перевозочного процесса предлагаемые мероприятия позволяют существенно снизить энергозатраты на маневровую работу на сортировочных станциях и получить экономический эффект, уровень которого позволяет окупить инвестиционные затраты.

**Ключевые слова:** подсистема станции, энергоэффективность, маневровая работа, расход топлива, продольный профиль пути

**Мета.** Метою дослідження є оцінка енергоефективності технічних і технологічних рішень в проектах розвитку інфраструктури залізничних станцій на прикладі сортувальної станції Мінськ-сортувальний. **Методика.** З використанням методів математичного моделювання пересувань маневрового складу у дослідженні оцінені обсяги зниження споживання дизельного палива і моторного масла при реалізації запропонованих конструктивних і технологічних заходів. На основі економіко-математичного аналізу оцінена економічна ефективність і доцільність реалізації заходів. **Результати.** Для зниження енергетичних витрат на маневрову роботу в парку прийому сортувальної станції отримано оптимальний поздовжній профіль колій в парку прийому, предгорочної горловини і колій насування, визначено раціональне розташування пристроїв закріплення складів з урахуванням застосування механізованих засобів. Для умов функціонування сортувальної станції Мінськ-сортувальний виконано ранжування колій парку прийому за рівнем енергетичних витрат на маневрову роботу з подальшим переважним прийомом вантажних поїздів на колії, виконання маневрової роботи на яких пов'язано з меншою витратою палива. **Наукова новизна.** В результаті виконаних досліджень запропоновано метод комплексного дослідження параметрів інфраструктури залізничних станцій з метою зниження енергетичних витрат на виконання маневрової роботи на сортувальних станціях і підвищення енергоефективності перевізного процесу. Визначено залежність необхідної кількості механізованих засобів закріплення складів від параметрів складу і конфігурації станційного колії для обґрунтування параметрів нової технології закріплення складів у парку прийому сортувальних станцій. **Практична значимість.** У вигляді високого рівня споживання залізничним транспортом паливно-енергетичних ресурсів на здійснення перевізного процесу запропоновані заходи дозволяють істотно знизити енерговитрати на маневрову роботу на сортувальних станціях і отримати економічний ефект, рівень якого дозволяє окупити інвестиційні витрати.

*Ключові слова:* підсистема станції, енергоефективність, маневрова робота, витрата палива, поздовжній профіль колії.

**Purpose.** The aim of the study is to assess the energy efficiency of technical and technological solutions in infrastructure development projects of railway stations on the example of the sorting station Minsk-sorting. **Methodology.** With the use of mathematical modeling movement shunting part in the study estimated volume decrease in consumption of diesel fuel and motor oil in the implementation of the proposed design and technological activities. On the basis of economic and mathematical analysis estimated cost-effectiveness and feasibility of the measures. **Findings.** To reduce energy costs shunting park admission switchyard Optimum longitudinal profile path in park admission, predhorochnoy neck and stabs thrust, Rational location of fixing devices pasting considering the use of mechanized vehicles. For the conditions of operation of the sorting station Minsk-sorting of tracks made Rankings park admission in terms of energy costs, followed by shunting preferred technique for kolii freight trains, shunting performance which is due to lower fuel consumption. **Originality.** As a result of the research the method of complex research infrastructure parameters railway stations to reduce energy costs pursuant to the shunting yard and energy efficiency of the transportation process. The dependence of the required number of mechanized means of consolidating warehouses composition and configuration parameters kolii station to study the parameters of the new technology consolidation pasting in the park admission marshalling yards. **Practical value.** In a high-level rail consumption of energy resources for the implementation of the transportation process proposed measures can significantly reduce energy consumption for shunting in marshalling stations and get economic benefit level which allows you to recoup investment costs.

*Keywords:* station subsystem, energy efficiency, shunting, fuel consumption, longitudinal profile track.

## Вступление

В настоящее время вопросам повышения энергоэффективности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте уделяется значительное внимание как в Республике Беларусь, так и за ее пределами. В первую очередь, это объясняется тем, что затраты на топливно-энергетические ресурсы составляют значительную долю в структуре затрат железнодорожного транспорта, и снижение данной величины позволяет повысить экономическую эффективность его деятельности и конкурентоспособность с другими видами транспорта. Во-вторых, в силу того, что основная доля энергоресурсов в настоящее время импортируется в Республику Беларусь, снижение уровня их потребления как тяговым подвижным составом, так и стационарными энергетическими установками, позволяет снизить уровень зависимости железнодорожного транспорта от внешних факторов.

Анализ структуры затрат топливно-энергетических ресурсов по всем техническим средствам и технологиям осуществления перевозочной деятельности на железнодорожном транспорте позволяет определить основные направления повышения энергетической эффективности и энергосбережения. Так, в настоящее время основным из них на Белорусской железной дороге является снижение уровня потребления энергоносителей тяговым подвижным составом, к которым относится дизельное топливо и электроэнергия. Наряду с этим зна-

чительный эффект имеет и замена одного вида используемого энергоресурса на другой, например, дизельного топлива на электроэнергию при электрификации железнодорожных участков и переводе движения с тепловозной на электровозную тягу.

Основным мероприятием, направленным на снижение уровня потребления топливно-энергетических ресурсов тяговым подвижным составом, является его модернизация с понижением удельного расхода топлива или электроэнергии на единицу выполненной работы и повышением КПД, а также его замена на более современный и энергоэффективный подвижной состав, [12].

Одновременно с модернизацией и обновлением тягового подвижного состава значительный эффект в вопросе снижения расхода энергоресурсов на выполнение перевозочного процесса может быть достигнут при модернизации инфраструктуры или совершенствовании технологии работы станций или участков [1, 5].

## Цель

Основной целью статьи является оценка энергоэффективности решений технического и технологического характера для развития инфраструктуры сортировочных станций и на этой основе совершенствование технологии их работы на примере технологической подсистемы «Парк приема – предгорочная горловина – пути надвига сортировочной горки» внеклассной сортировочной станции Минск-Сортировочный.

## Методика

В качестве технических и технологических решений, позволяющих повысить энергоэффективность перевозочного процесса и снизить эксплуатационные затраты Белорусской железной дороги на топливно-энергетические ресурсы при выполнении маневровой работы на сортировочных станциях, в статье рассмотрены мероприятия по реконструкции и развитию станционной инфраструктуры и совершенствованию технологии обработки составов и производства маневровой работы на станции. В качестве основного объекта исследования выбрана подсистема «Пути приема-предгорочная горловина-пути надвига сортировочной горки» внеклассной сортировочной станции Минск-Сортировочный.

Реконструкция станционной инфраструктуры в рассматриваемой подсистеме подразумевает оптимизацию продольного профиля путей парка приема и предгорочной горловины при условии соответствия конструкции подсистемы требованиям технических нормативных правовых актов [7, 8]. При этом формируются варианты конструкции подсистемы при различных параметрах ее элементов.

Формирование вариантов продольного профиля подсистемы осуществляется комбинированным способом, при этом в допустимых пределах изменяются следующие параметры:

- крутизна противоклонов пути приема;
- величина уклона разделительной площадки;
- уклон предгорочной горловины;
- крутизна уклона надвигной части.

При изменении перечисленных параметров формируется граф вариантов продольного профиля исследуемой подсистемы.

Для определения параметров наиболее энергоэффективного профиля производится моделирование маневровых передвижений, в результате которого определяются величины затрачиваемой энергии и расхода топлива на надвиг и роспуск состава с сортировочной горки. Вариант конструкции рассматриваемой подсистемы, который обеспечит минимальные затраты энергоресурсов на производство маневровой работы, будет являться наиболее оптимальным с точки зрения энергоэффективности перевозочного процесса.

При нормировании энергетических затрат на производство маневровой работы должны учитываться различные режимы работы маневровых локомотивов и способы выполнения маневров. При этом основное влияние на расход энер-

горесурсов оказывает конфигурация подсистемы станции или района выполнения маневровой работы.

Оценка энергетических затрат на маневровые операции является наиболее сложным и важным моментом при выборе оптимального профиля подсистемы, так как при этом необходимо создать математическую модель движения состава, максимально соответствующую реальным условиям с учетом непрерывно меняющихся плана и профиля, конструкции горловин, метеорологических условий. К примеру, полурейс типа «разгон – движение по инерции» (РИ) соответствует реальным условиям маневров и позволяет более полно оценить зависимость между силой тяги и производительностью маневрового локомотива. В основу данной модели положено следующее дифференциальное уравнение движения поезда (маневрового состава):

$$f(v) - w_0(v) - w_{TP} - w_{KP}(v) - w_{СП}(v) - w_i(s) - b_T(v) - \frac{1}{\psi} \frac{d^2s}{dt^2} = 0 \quad (1)$$

где  $f(v)$  – удельная сила тяги локомотива, Н/кН;

$w_0(v)$  – основное удельное сопротивление движению подвижного состава, Н/кН;

$w_{TP}$  – дополнительное удельное сопротивление при трогании с места, Н/кН;

$w_{KP}(v)$  – дополнительное удельное сопротивление, возникающее при движении в кривых, Н/кН;

$w_{СП}(v)$  – дополнительное удельное сопротивление, возникающее при движении по стрелочным переводам, Н/кН;

$w_i(s)$  – дополнительное удельное сопротивление, возникающее при движении по одному или нескольким элементам профиля различного уклона, Н/кН;

$b_T(v)$  – удельное значение тормозных усилий, Н/кН.

Моделирование процесса надвига и роспуска составов на сортировочной горке на основе численного решения приведенного дифференциального уравнения движения поезда позволяет с высокой точностью оценить влияние отдельных элементов конструкции, плана и продольного профиля подсистем сортировочной станции на энергоемкость перевозочного процесса в пределах станции.

Следует отметить, что используемая модель является достаточно открытой для включения в нее дополнительных компонентов, позволяющих повысить точность при описании реальной работы маневрового локомотива. При этом со-

вершенствование модели возможно за счет учета вероятностей природы действия сил сопротивления движению, нелинейной конструкции профиля пути, состоящего из элементов с вертикальными кривыми переменного радиуса, наилучшим образом аппроксимируемых сплайновыми функциями третьего порядка, влияния аэродинамики состава на сопротивление движению, нелинейной аппроксимации тяговых характеристик маневровых локомотивов и учета их износа, метеорологических условий и других факторов.

Основным фактором, определяющим ускорение движения маневрового состава, является удельная сила тяги маневрового локомотива. Тяговые характеристики локомотивов задаются таблично и изменяются в зависимости от расчетной скорости движения.

В соответствии с [9] основное удельное сопротивление движению локомотива на звеньевом пути определяются по формуле

$$w_0 = 1,9 + 0,01v + 0,0003v^2 \quad (2)$$

где  $v$  – скорость движения локомотива, км/ч.

Основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов на подшипниках качения на звеньевом пути определяется по формулам:

– для груженых шестиосных вагонов с нагрузкой на ось не более 6 т

$$w_0'' = 0,7 + \frac{8 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0} \quad (3)$$

где  $q_0$  – нагрузка на ось вагона, т/ось;

– для груженых четырехосных вагонов и вагонов рефрижераторных поездов при  $q_0 > 6$  т

$$w_0'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_0} \quad (4)$$

– для порожних четырех- и шестиосных вагонов при  $q_0 < 6$  т

$$w_0'' = 1,0 + 0,044v + 0,00024v^2 \quad (5)$$

– для восьмиосных вагонов

$$w_0'' = 0,7 + \frac{5 + 0,038v + 0,002v^2}{q_0} \quad (6)$$

Средневзвешенная нагрузка на ось вагона определяется из выражения

$$q_0 = \frac{Q}{m(4(100 - (\alpha_6 + \alpha_8)) + 6\alpha_6 + 8\alpha_8) \cdot 10^{-2}}, \quad (7)$$

где  $Q$  – масса брутто состава, т;

$\alpha_6, \alpha_8$  – доли соответственно шести- и восьмиосных вагонов в составе поезда, %;

$m$  – общее количество вагонов в составе поезда.

Удельное сопротивление движению при трогании маневрового состава с места достигает больших значений в начальный момент и значительно снижается при увеличении скорости движения. В соответствии с [9] указанный параметр определяется по формуле

$$w_{\text{ТР}} = \frac{28}{q_0 + 7} \quad (8)$$

Дополнительное сопротивление движению от кривых и стрелочных переводов определяется следующим образом:

– дополнительное удельное сопротивление движению от кривых рассчитывается исходя из условий:

при длине маневрового состава менее или равной длине кривой

$$w_{\text{КР}} = \frac{700}{R} \quad (9)$$

при длине маневрового состава более длины кривой

$$w_{\text{КР}} = \frac{12,2\alpha_{\text{КР}}}{l} \quad (10)$$

где  $R$  – радиус кривой, м;

$l$  – длина пройденного пути по криволинейному участку, м;

$\alpha_{\text{КР}}$  – угол поворота в кривой, град.;

– дополнительное удельное сопротивление движению от одного стрелочного перевода определяется из выражения

$$w_{\text{СП}} = \frac{(0,56 + 0,23\alpha_{\text{пер}})v^2}{l_{\text{пер}}} \quad (10)$$

где  $l_{\text{пер}}$  – полная длина стрелочного перевода, м;

$\alpha_{\text{пер}}$  – угол крестовины стрелочного перевода, град.

Дополнительное удельное сопротивление от преодоления уклона определяется по формуле

$$w_i = \frac{i_r l_r + \sum i_{\text{э}_i} l_i + i_x l_x}{l_c} \quad (12)$$

где  $i_r, i_{\text{э}_i}, i_x$  – уклоны соответственно головного элемента профиля и ближайшей точкой перелома профиля по направлению движения состава, элементов профиля, находящихся под центральной частью состава и хвостового элемента профиля, ‰;

$l_r, l_i, l_x$  – длины элементов профиля, нахо-

дующих соответственно под головной, центральной и хвостовой частями состава, м;

$l_c$  – длина состава, м.

Аналитическое интегрирование уравнения движения поезда производится по этапам в пределах небольших участков пути, на которых приращение скорости составляет не более 2 км/ч, что обеспечивает высокую точность расчетов. По мере увеличения скорости этот шаг увеличивается от 0,1 до 25 м.

Скорость движения маневрового состава в любой точке определяется по формуле

$$v_i = \sqrt{v_{i-1}^2 \pm 2\Delta l \gamma \zeta} \quad (13)$$

где  $\gamma$  – удельная ускоряющая или замедляющая сила, Н/кН;

$\zeta$  – ускорение (замедление) поезда при действии ускоряющей (замедляющей) силы в 1 Н/кН,  $\zeta = 0,00926 \text{ м/с}^2$ ;

$\Delta l$  – шаг интегрирования, в расчетах принимается равным 10 м;

$v_{i-1}$  – скорость движения маневрового состава при предыдущем шаге, м/с.

Удельная ускоряющая (замедляющая) сила определяется в зависимости от условия движения маневрового состава:

– при разгоне маневрового состава в режиме тяги

$$\gamma_p = f_i - \sum w \pm i_0, \quad (14)$$

– при движении по инерции

$$\gamma_p = \sum w \pm i_0, \quad (15)$$

– при торможении

$$\gamma_p = \sum w + b_T \pm i_0, \quad (16)$$

где  $f_i$  – удельная сила тяги, Н/кН;

$$f_i = \frac{F_k}{Q + P}, \quad (17)$$

С учетом ограничения по сцеплению в начале движения формула (17) принимает вид

$$f_i = \frac{P_{сц}}{Q + P} \left( 0,118 + \frac{5}{27,5 + v} \right) \cdot 10^3, \quad (18)$$

где  $F_k$  – сила тяги локомотива, Н;

$Q$  – масса брутто состава, т;

$P_{сц}$  – сцепной вес локомотива, кН;

$P$  – расчетная масса локомотива, т;

$\sum w$  – сумма удельных сил сопротивления, Н/кН;

$i_0$  – значение эквивалентного уклона, на котором находится состав, соответствующее такому его положению на многоэлементном продольном профиле пути, когда он может одновременно размещаться на нескольких элементах;

$b_T$  – удельное тормозное усилие, Н/кН,

$$b_T = 1000 \varphi_{кр} \frac{\sum k_p}{Q + P}, \quad (18)$$

где  $\varphi_{кр}$  – коэффициент трения между тормозной колодкой и бандажом колеса. Для чугунных тормозных колодок

$$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{v + 100}{5v + 100}, \quad (19)$$

$k_p$  – действительная сила нажатия на одну тормозную колодку или на ось, в расчетах принята равной 10 кН.

Продолжительность движения состава определяется на каждом шаге интегрирования:

– для установившейся скорости движения  $v_y$

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{v_y}, \quad (20)$$

– в остальных случаях

$$\Delta t = \frac{v_i - v_{i-1}}{\gamma \zeta}. \quad (21)$$

Расход топлива  $G_m$  на выполнение маневровой работы по надвигу и роспуску составов в режиме тяги на каждом шаге интегрирования определяется из выражения

$$G_m = \frac{N \cdot g_t \cdot \Delta t}{3600}. \quad (22)$$

где  $N$  – номинальная эффективная мощность тепловоза, кВт;

$g_t$  – удельный расход топлива, соответствующий позиции контроллера машиниста при наиболее эффективном использовании мощности локомотива в маневровой работе, г/кВт·ч. Расход топлива при холостом режиме (движение по инерции) составляет около 10 % от его расхода в рабочем режиме.

Механическая работа локомотива при выполнении маневрового полурейса определяется по формуле

$$R_{л} = \sum_{l_{нач}}^{l_{к}} f_i (Q + P) \Delta l, \quad (23)$$

Механическая работа сил сопротивления движению маневрового состава определяется по формуле

$$R_c = \sum_{i_{нач}}^{i_{кон}} w(Q + P), \quad (24)$$

где  $\Sigma w$  – сумма удельных сопротивлений движению маневрового состава на маршруте надвига и роспуска с сортировочной горки, определяемых по формулам (2–6) и (7–12).

При сравнении значительного количества вариантов анализируемой конструкции станции (разработано около 50 возможных вариантов) выполнение существенного объема аналитических вычислений может осуществляться с помощью прикладных компьютерных программ, позволяющих значительно сократить трудозатраты и, по возможности, расширить количество вариантов с целью наиболее детального анализа влияния параметров конструкции на эксплуатационные показатели и установления их зависимости от параметров отдельных элементов. В рассматриваемом исследовании для оптимизации расчетов использовалась компьютерная программа «Оценка энергетических затрат на маневровую работу», разработанная в среде DELPHI 7 специалистами кафедры «Транспортные узлы» УО «Белорусский государственный университет транспорта» (г. Гомель, Республика Беларусь).

В результате расчетов определяется вариант конструкции подсистемы станции, который позволяет обеспечить производство маневровой работы с минимальными затратами топливно-энергетических ресурсов.

При выборе варианта оптимального продольного профиля пути приема, предгорочной горловины и путей надвига наряду с критерием минимизации энергетических затрат на выполнение операций по надвигу и расформированию составов с горки отдельное внимание должно уделяться минимизации объема земляных работ при доведении параметров конструкции подсистемы до оптимальных значений.

В случае, если полученный вариант продольного профиля, обеспечивающий минимальные затраты топливно-энергетических ресурсов не является вариантом с минимальными объемами земляных работ на переустройство подсистемы, выбор наиболее эффективного варианта с точки зрения коммерческой эффективности мероприятия должен осуществляться путем проведения технико-экономической оценки.

Изменение технологии обработки составов

поездов, поступающих на станцию в расформирование, и способов производства маневровой работы подразумевает перенос позиции для закрепления составов поездов из четной стороны парка приема в нечетную с заменой ручных средств закрепления составов на механизированные [3, 4]. При этом изменяется длина маршрута надвига состава на сортировочную горку, что наиболее характерно для составов небольшой длины. Данное мероприятие позволяет значительно снизить как затраты топлива на выполнение маневровой работы с составами поездов в парке приема, так и продолжительность их обработки.

Для количественного анализа объемов сокращения топливно-энергетических ресурсов на производство маневровой работы используется описанный выше метод математического моделирования движения маневрового состава. При этом расчеты выполняются для двух вариантов технологии закрепления и обработки поездов:

- закрепление составов ручными средствами закрепления в четной стороне парка приема;
- закрепление составов в нечетной стороне парка приема с использованием механизированных средств закрепления.

Следует отметить, что применение ручных средств закрепления по второму варианту технологии невозможно, поскольку в связи с интенсивным процессом надвига и расформирования составов на сортировочной горке возможность прохода оператора поста централизации к необходимому пути в большинстве случаев будет отсутствовать.

Результаты расчетов энергетических затрат на маневровую работу по вариантам технологии ее производства позволяет оценить экономию топливно-энергетических ресурсов. Помимо эффекта от сокращения расхода топливно-энергетических ресурсов реализация мероприятия позволяет сократить вагоно-часы простоя грузовых вагонов на станции, фонд оплаты труда операторов поста централизации в связи с исключением ручного труда по закреплению составов в парке приема, а также затраты на тормозные башмаки. При этом возникают затраты на амортизацию и обслуживание технических средств.

В качестве механизированных средств для закрепления составов и определения коммерческой эффективности их внедрения в исследовании рассмотрены балочные заграждающие устройства с дистанционным управлением БЗУ-ДУ. Назначением данных устройств явля-

ется торможение и удержание вагонов и отцепов с целью предотвращения несанкционированного выхода подвижного состава за пределы полезной длины сортировочных, станционных, подъездных и других путей. Поэтому данные устройства могут использоваться как в парке приема, так и в других парках станции.

Потребное количество БЗУ-ДУ для оборудования путей парка приема, которое обеспечивает закрепление составов максимальной возможной массы, определяется с помощью аналитического расчета на основании параметров устройства, продольного профиля пути и закрепляемого состава по формуле

$$K_{\text{БЗУ}} = \frac{Q_{\text{бр}} g}{\frac{1+i_{\text{спр}}^2}{i_{\text{спр}}} \cdot F_{\text{уд}} \cos(\arctg i_{\text{спр}})} - \frac{F_{\text{сопр}}}{F_{\text{уд}}}, \quad (25)$$

где  $Q_{\text{бр}}$  – масса брутто расчетного состава поезда, т;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$i_{\text{спр}}$  – спрямленный уклон участка пути, забираемого расчетным составом;

$F_{\text{уд}}$  – удерживающая сила устройства, Н;

$F_{\text{сопр}}$  – сила сопротивления движению состава, Н.

Потребное количество устройств определяется отдельно для каждого пути, при этом в расчетах используется максимальная возможная масса состава, который вмещается на участке пути от начала подъема в середине парка в сторону сортировочной горки до маршрутного сигнала.

На основании расчетного количества необходимого оборудования определяется нужный объем капитальных вложений в реализацию мероприятия.

Определенные эффекты от внедрения рассматриваемых решений и инвестиций, необходимых для этого, позволяют оценить эффективность предлагаемых мероприятий и их практическую значимость посредством сопоставления полученных величин. В основе данного метода лежит вычисление таких показателей, как интегральный эффект или чистый дисконтированный доход (ЧДД), индекс и норма рентабельности инвестиций, простой и дисконтированный сроки окупаемости капитальных вложений [2, 6, 10, 11].

Результаты расчета перечисленных показателей позволяют сделать вывод о целесообразности

реализации мероприятий не только с точки зрения повышения энергоэффективности перевозочного процесса на станции, но и с позиции эффективного использования финансовых ресурсов дороги.

## Результаты

Результаты исследования показали, что при оптимизации конструкции элементов парка приема и предгорочной горловины наиболее эффективным с точки зрения расхода энергоресурсов на маневровую работу является вариант, при котором подсистема должна иметь следующие элементы с соответствующими параметрами, начиная с четной стороны парка приема: противоуклон крутизной 2,5 ‰; разделительную площадку с уклоном 1,5 ‰; противоуклон величиной -2,0 ‰; предгорочную горловину с уклоном -1,0 ‰; пути надвига, состоящие из двух элементов с уклонами 2,0 и 10 ‰ соответственно.

Однако, при оценке объемов строительно-монтажных работ по вариантам переустройства подсистемы и сопоставления их с эффектами от повышения энергоэффективности маневровой работы определено, что оптимальным является вариант, согласно которому продольный профиль подсистемы должен состоять из противоуклонов крутизной 1,5 и -1,5 ‰ (в направлении сортировочной горки), разделительной площадки с уклоном -1,5 ‰, предгорочной горловины крутизной 2,0 ‰ и путей надвига с уклоном 16,0 ‰.

Таким образом, оптимизация продольного профиля подсистемы позволит сократить расход дизельного топлива на надвиг и роспуск составов с горки на 71,3 т в год или в 2,1 раза, моторного масла – на 2,3 т в год и получить годовой экономический эффект на уровне 574,9 млн. бел. руб. в год. При этом значительный объем потребных капитальных вложений в реализацию мероприятия сможет окупиться за более чем 20-тилетний период.

Для реализации мероприятия по изменению технологии закрепления и обработки составов в парке приема потребуется установка семи комплектов балочных закрепляющих устройств типа БЗУ-ДУ – по одному комплекту на путь. При этом расход дизельного топлива при изменении технологии снизится на 3,9 т в год или на 2,8 ‰, моторного масла – на 136 кг в год. Общий годовой экономический эффект при реализации мероприятия составит 457,2 млн. белорусских рублей. Инвестиционные затраты на приобретение и установку оборудования при

рассчитанном уровне эффекта окупятся в течение 5-6 лет.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что предлагаемые мероприятия позволяют повысить энергоэффективность перевозочного процесса на станции и по соотношению инвестиционных затрат и ожидаемых эффектов являются экономически целесообразными.

### **Научная новизна и практическая значимость**

В результате выполненных исследований разработана методика по оптимизации параметров парка приема и предгорочной горловины сортировочной станции, а также теоретические положения по оценке параметров технологии закрепления составов грузовых поездов в парке приема с использованием механизированных средств закрепления, позволяющих снизить энергетические затраты на маневровые операции по надвигу и роспуску составов с сортировочной горки. Изменение места расположения позиции для закрепления составов и использование механизированных средств позволяет также сократить временные затраты на выполнение технологических операций и увеличить перерабатывающую способность станции.

### **Выводы**

Оптимизация параметров конструкции продольного профиля подсистемы «Парк приема – предгорочная горловина – пути надвига сортировочной горки» станции Минск-Сортировочный, а также совершенствование технологии закрепления составов в парке приема станции с переносом позиции для закрепления и применением механизированных средств позволит достичь значительного сокращения расхода топливно-энергетических ресурсов и оптимизировать технологию производства маневровой работы в подсистеме станции. В тоже время переустройство подсистемы потребует значительного объема строительно-монтажных работ, и, как следствие, капитальных затрат, которые смогут окупиться в течение значительного промежутка времени, тогда, как срок окупаемости капитальных затрат в изменение технологии закрепления составов в парке приема станции с использованием механизированных средств не превышает 6 лет при сроке службы оборудования 20 лет и более.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Бобровский, В. И. Совершенствование конструкции и технологи работы сортировочных комплексов железнодорожных станций [Текст] : монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, А. И. Колесник [и др.]. – Днепропетровск: Изд-во Маковецкий, 2012. – 236 с.
2. Бугаев, В. П. Инновации, инвестиции, эффективность: пособие для студентов экономических специальностей [Текст] / В. П. Бугаев, Е. В. Бугаева. – Гомель: УО «БелГУТ», 2005. – 139 с.
3. Козаченко, Д.М. Проблемы закрплення рухомого складу на коліях залізничних станцій [Текст] / Д.М. Козаченко // Залізничний транспорт України. – 2013. – № 3/4 (100/101). – С. 69-73.
4. Kozachenko, D. Evaluation of the efficiency of improvement of techniques rationing fixing rolling stock on the station tracks [Text] / D. Kozachenko, O. Pasichnyy // Транспортні системи і технології перевезень : зб. наук. праць ДНУЗТ. – 2013. – Вип. 6. – С. 98-101.
5. Мацкель, С. С. Расчет элементов станций на ЭВМ [Текст] / С. С. Мацкель. – Москва: Транспорт, 1980. – 176 с.
6. Методы экономической оценки инвестиционных проектов на транспорте [Текст] : Учеб.-метод. пособие / Сост. Ю.Ф. Кулаев. – Киев: Транспорт України, 2001. – 181 с.
7. Муха, Ю. А. Пособие по применению Правил и норм проектирования вортировочных устройств [Текст] / Ю. А. Муха, Л. Б. Тишков., В. П. Шейкин и др. – Москва: Транспорт, 1994. – 220 с.
8. Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. – М : Техноформ. 2001. – 255 с.
9. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст]. – Москва: Транспорт, 1985. – 287 с.
10. Терешина, Н. П. Экономика железнодорожного транспорта: учеб. для вузов ж.-д. транспорта [Текст] / под ред. Н. П. Терешиной, Б. М. Лapidуса, М. Ф. Трихункова. – Москва: УМК МПС России, 2001. – 600 с.
11. Техничко-економическое обоснование вариантов полигона электрификации Белорусской железной дороги / государственное предприятие «Институт «Белжелдорпроект». – Минск, 2014. – № 050862. – 98 с.
12. Энергетическая стратегия Белорусской железной дороги до 2020 года [Текст] : отчет о НИР : 5255 / Белорус. гос. ун-т трансп.; рук. Негрей В. Я. – Гомель, 2009. – 992 с. – № ГР 2008305.

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

Поступила в редколлегию 17.12.2014.  
Принята к печати 20.12.2014.