

УДК 656.23

С. А. ПОЖИДАЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; Н. А. АЗЯВЧИКОВ, Государственное предприятие «Институт «Белжелдорпроект», г. Минск; В. В. ЖУРАВЕЛЬ, Днепротровский национальный университет железнодорожного транспорта, Украина

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ РАЗВИТИИ СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Рассмотрены основные пути повышения энергоэффективности перевозочного процесса на Белорусской железной дороге при переработке вагонопотоков на сортировочных станциях. Предложены технические и технологические решения, направленные на снижение потребления топливно-энергетических ресурсов при производстве маневровой работы, на примере подсистемы «Парк приема – предгорочная горловина – пути надвига сортировочной горки» крупной сортировочной станции Минск-Сортировочный. В частности, разработаны рекомендации по ранжированию путей парка приема станции для поездов, поступающих в расформирование, по уровню энергетических затрат на маневровые передвижения. Предложен комплексный метод оптимизации параметров конструкции подсистемы расформирования поездов сортировочной станции, а также получены теоретические положения по оценке параметров закрепления составов грузовых поездов с использованием перспективных механизированных средств, пока не применяемых на Белорусской железной дороге. Произведена оценка экономической эффективности предлагаемых мероприятий.

**В**опросам повышения энергоэффективности технологических процессов, энерго- и ресурсосбережению уделяется значительное внимание как в Республике Беларусь, так и за ее пределами. Проектом Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь до 2030 г., одобренном Президиумом Совета Министров Республики Беларусь в феврале 2015 г., предусматривается снижение энергоемкости ВВП в 2016-2030 гг. на 35 %. Затраты на топливно-энергетические ресурсы также составляют значительную долю в структуре затрат железнодорожного транспорта, и снижение данной величины позволяет повысить экономическую эффективность его деятельности и конкурентоспособность с другими видами транспорта. По данным за 2014 г. на Белорусской железной дороге израсходовано более 226 тыс. т. дизельного топлива, из них около 80,5 % – на тягу поездов и 12,5 % – на маневровую работу на станциях. 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 железнодорожного транспорта позволяет определить основные направления повышения энергетической эффективности и энергосбережения. Так, в настоящее время на Белорусской железной дороге основное внимание уделяется вопросу снижения уровня потребления энергоносителей, таких как дизельное топливо и электроэнергия, тяговым подвижным составом. 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 [1].

Наряду с этим осуществляется планомерная электрификация железнодорожных участков, позволяющая достичь значительного эффекта при замене одного вида используемого энергоресурса на другой, а именно дизельного топлива на электроэнергию при переводе движения поездов с тепловозной на электрическую тягу.

Одновременно с модернизацией и обновлением тягового подвижного состава, а также электрификацией участков значительный эффект в вопросе снижения потребления энергоресурсов на выполнение перевозочного процесса может быть достигнут при модернизации станционной инфраструктуры и совершенствовании технологии работы станций и участков.

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 исследовании рассмотрены мероприятия по реконструкции и развитию станционной инфраструктуры и совершенствованию технологии обработки составов и производства маневровой работы на станции. При этом основным объектом исследования выбрана подсистема «Парк приема – предгорочная горловина – пути надвига сортировочной горки» (ПП-ПГ-ПН) внеклассной сортировочной станции Минск-Сортировочный, выполняющей значительный объем маневровой работы по расформированию и формированию составов грузовых поездов (рисунок 1).

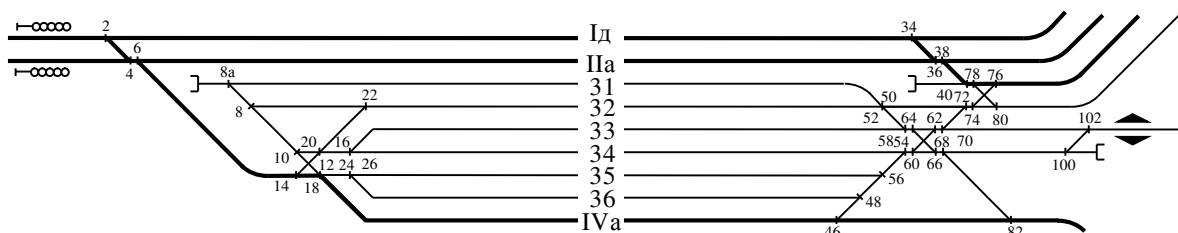


Рисунок 1 – Схема путевого развития парка приема станции Минск-Сортировочный

Реконструкция станционной инфраструктуры в рассматриваемой подсистеме подразумевает оптимизацию параметров продольного профиля путей парка приема, предгорочной горловины и путей надвига при условии соответствия конструкции подсистемы требованиям технических нормативных правовых актов, приведенных в [2, 3, 7]. 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 противоуклонов путей приема;
- величина уклона разделительной площадки;
- уклон предгорочной горловины;
- крутизна уклона надвигной части.

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

Нормирование энергетических затрат на производство маневровой работы должно учитывать различные режимы работы маневровых локомотивов и способы выполнения маневров. При этом основное влияние на расход энергоресурсов оказывает конфигурация подсистемы станции или района выполнения маневровой работы.

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

$$f(v) - w_0(v) - w_{тр} - w_{кр}(v) - w_{сп}(v) - w_i(s) - b_T(v) - \frac{1}{\psi} \frac{d^2 s}{dt^2} = 0; \quad (1)$$

где  $f(v)$  – удельная сила тяги локомотива, Н/кН;  $w_0(v)$  – основное удельное сопротивление движению подвижного состава, Н/кН;  $w_{тр}$  – дополнительное удельное сопротивление при трогании с места, Н/кН;  $w_{кр}(v)$  – 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 движению состава маневровым порядком по одному или нескольким элементам профиля различного уклона, Н/кН;  $b_T(v)$  – удельное значение тормозных усилий, Н/кН.

Моделирование маневровых передвижений, процесса надвига и роспуска составов на сортировочной горке на основе численного решения приведенного дифференциального уравнения движения поезда (1) позволяет с высокой точностью оценить влияние отдельных элементов конструкции плана и продольного профиля подсистем сортировочной станции на энергоемкость перевозочного процесса в пределах станции.

Основным фактором, определяющим ускорение движения маневрового состава, является удельная сила тяги маневрового локомотива. Тяговые характеристики локомотивов, в т.ч. ТМЭ-1 и ТМЭ-2, задаются таблично и изменяются в зависимости от расчетной скорости движения.

В соответствии с [4, 6] основное удельное сопротивление движению локомотива на звеньевом пути определяется 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 подшпикниках качения на звеньевом пути [6]:

– для груженых шестиосных вагонов с нагрузкой на ось  $q_0 > 60$  кН –

$$w_0'' = 0,7 + (80 + v + 0,025v^2) / q_0, \quad (3)$$

где  $q_0$  – средневзвешенная нагрузка на ось вагона, кН/ось;  $v$  – скорость движения состава маневровым порядком, км/ч;

– для груженых четырехосных вагонов при  $q_0 > 60$  кН –

$$w_0'' = 0,7 + (30 + v + 0,025v^2) / q_0; \quad (4)$$

– для порожних четырех- и шестиосных вагонов при  $q_0 \leq 60$  кН –

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

– для восьмиосных вагонов

$$w_0'' = 0,7 + (60 + 0,38v + 0,02v^2) / q_0. \quad (6)$$

Средневзвешенная нагрузка на ось вагона определяется из выражения

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

где  $Q$  – вес состава (брутто), кН;  $\alpha_6, \alpha_8$  – 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 [6] указанный параметр определяется по формуле

$$w_{тр} = 280 / (q_0 + 70). \quad (8)$$

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 –

$$w_{кр} = 700 / R; \quad (9)$$

при длине маневрового состава более длины кривой

$$w_{кр} = 12,2\alpha_{кр} / l, \quad (10)$$

где  $R$  – радиус кривой, м;  $l$  – длина пройденного пути по криволинейному участку, м;  $\alpha_{кр}$  – угол поворота в кривой, град;

– дополнительное удельное сопротивление движению по одному стрелочному переводу

$$w_{сп} = (0,56 + 0,23\alpha_{сп})v^2 / l_{сп}, \quad (11)$$

где  $l_{\text{сн}}$  – полная длина стрелочного перевода, м;  $\alpha_{\text{сн}}$  – угол крестовины стрелочного перевода, град.

Дополнительное удельное сопротивление от преодоления уклона

$$w_i = (i_{\text{г}} l_{\text{г}} + \sum i_{\text{э}_i} l_i + i_{\text{х}} l_{\text{х}}) / l_{\text{с}}, \quad (12)$$

где  $i_{\text{г}}$ ,  $i_{\text{э}_i}$ ,  $i_{\text{х}}$  – уклоны, соответственно, головного элемента профиля по направлению движения состава, элементов профиля, находящихся под центральной частью состава, и хвостового элемента профиля, %о;  $l_{\text{г}}$ ,  $l_i$ ,  $l_{\text{х}}$  – длины элементов профиля, находящихся, соответственно, под головной, центральной и хвостовой частями состава, м;  $l_{\text{с}}$  – длина состава, м.

Аналитическое интегрирование уравнения движения поезда (1) 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 поезда маневрового состава в любой точке маршрута определяется по формуле

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

где  $v_{i-1}$  – скорость движения маневрового состава при предыдущем шаге, м/с;  $\Delta l$  – шаг интегрирования, в расчетах принимается равным 10 м;  $\gamma$  – удельная ускоряющая или замедляющая сила, Н/кН;  $\zeta$  – ускорение (замедление) поезда при действии ускоряющей (замедляющей) силы в 1 Н/кН,  $\zeta = 0,00926$  м/с<sup>2</sup>;

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

– при разгоне маневрового состава в режиме тяги

$$\gamma_{\text{р}} = f_i - \sum w \pm i_3; \quad (14)$$

– при движении по инерции

$$\gamma_{\text{и}} = \sum w \pm i_3; \quad (15)$$

– при торможении

$$\gamma_{\text{т}} = \sum w + b_{\text{т}} \pm i_3; \quad (16)$$

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

$$f_i = F_{\text{к}} / (Q + P). \quad (17)$$

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

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

где  $F_{\text{к}}$  – сила тяги локомотива, Н;  $Q$  – вес состава (брутто), кН;  $P_{\text{сч}}$  – сцепной вес локомотива, кН;  $P$  – расчетный вес локомотива, кН;  $\sum w$  – сумма удельных сил сопротивления движению подвижного состава, Н/кН;  $i_3$  – значение эквивалентного уклона, на котором находится состав, соответствующее такому его положению на многоэлементном продольном профиле пути, когда он может одновременно размещаться на нескольких элементах;  $b_{\text{т}}$  – удельное тормозное усилие, Н/кН,

$$b_{\text{т}} = 1000 \phi_{\text{кр}} \sum k_{\text{р}} / (Q + P); \quad (19)$$

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

$$\phi_{\text{кр}} = 0,27(v + 100) / (5v + 100), \quad (20)$$

где  $k_{\text{р}}$  – действительная сила нажатия на одну тормозную колодку или на ось, в расчетах принята равной 10 кН.

Продолжительность движения состава определяется согласно [7] на каждом шаге интегрирования:

– для установившейся скорости движения  $v_y$

$$\Delta t = \Delta l / v_y, \quad (21)$$

– в остальных случаях –

$$\Delta t = (v_i - v_{i-1}) / \gamma \zeta. \quad (22)$$

Расход топлива  $G_{\text{м}}$  на выполнение маневровой работы по надвигу и роспуску составов в режиме тяги на каждом шаге интегрирования определяется из выражения

$$G_i = N g_i \Delta t / 3600, \quad (23)$$

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

$$R_{\text{л}} = \sum_{l_{\text{нач}}}^{l_{\text{м}}} f_i (Q + P) \Delta l, \quad (24)$$

а механическая работа сил сопротивления движению состава маневровым порядком – по формуле

$$R_{\text{с}} = \sum_{l_{\text{нач}}}^{l_{\text{м}}} w_i (Q + P) \Delta l, \quad (25)$$

где  $\sum w_i$  – сумма удельных сопротивлений движению подвижного состава на маршруте маневровых передвижений, надвига составов на сортировочную горку.

При сравнении значительного количества вариантов анализируемой конструкции подсистемы станции выполнение существенного объема трудоемких аналитических вычислений может осуществляться с помощью прикладных компьютерных программ. Так, использование программы «Оценка энергетических затрат на маневровую работу», разработанной в среде DELPHI 7 специалистами кафедры «Транспортные узлы» БелГУТа, позволило значительно сократить трудозатраты на выполнение аналитических расчетов и проанализировать около 50 возможных вариантов конструкции рассматриваемой подсистемы (рисунк 2).

Результаты исследования показали, что наиболее эффективным с точки зрения снижения расхода энергоресурсов и минимизации строительного-монтажных работ по вариантам переустройства подсистемы является близкий к оптимальному вариант, согласно которому продольный профиль подсистемы должен состоять из противоуклонов крутизной  $-1,5$  и  $1,5$  %о (в направлении сортировочной горки), разделительной площадки с уклоном  $-1,5$  %о, предгорочной горловины крутизной  $2,0$  %о и путей надвига с уклоном  $16,0$  %о. На рисунке 2 выбранный вариант выделен утолщенной линией.

Оптимизация параметров продольного профиля подсистемы ПП-ПГ-ПН позволит сократить расход дизельного топлива на надвиг и роспуск составов с горки на

71,3 т (103,4 т у. т.) в год или в 2,1 раза, моторного масла – на 2,3 т в год и получить годовой экономический эффект в размере 574,9 млн руб. в год. В данных условиях инвестиционные затраты на реализацию мероприятия смогут окупиться в течение 20-летнего периода в связи со значительным объемом капитальных вложений [5].

В то же время экономия 1 т у. т. может обеспечить перевозку 3000 т груза примерно на 100 км при соблюдении расходных норм. Таким образом, возникает значительный дополнительный экономический эффект при использовании сэкономленных энергоресурсов.

Моделирование движения маневрового состава с определением энергетических затрат на его перемещение позволяет предложить наиболее рациональные маршруты приема поездов в расформирование на пути предгорочного парка станции с точки зрения минимизации затрат топливно-энергетических ресурсов на последующие маневровые операции. Для проведения данного исследования применительно к парку приема станции Минск-Сортировочный выбран состав грузового поезда длиной 58 условных вагонов, средняя масса которого согласно отчетным данным составляет 3 189 т.

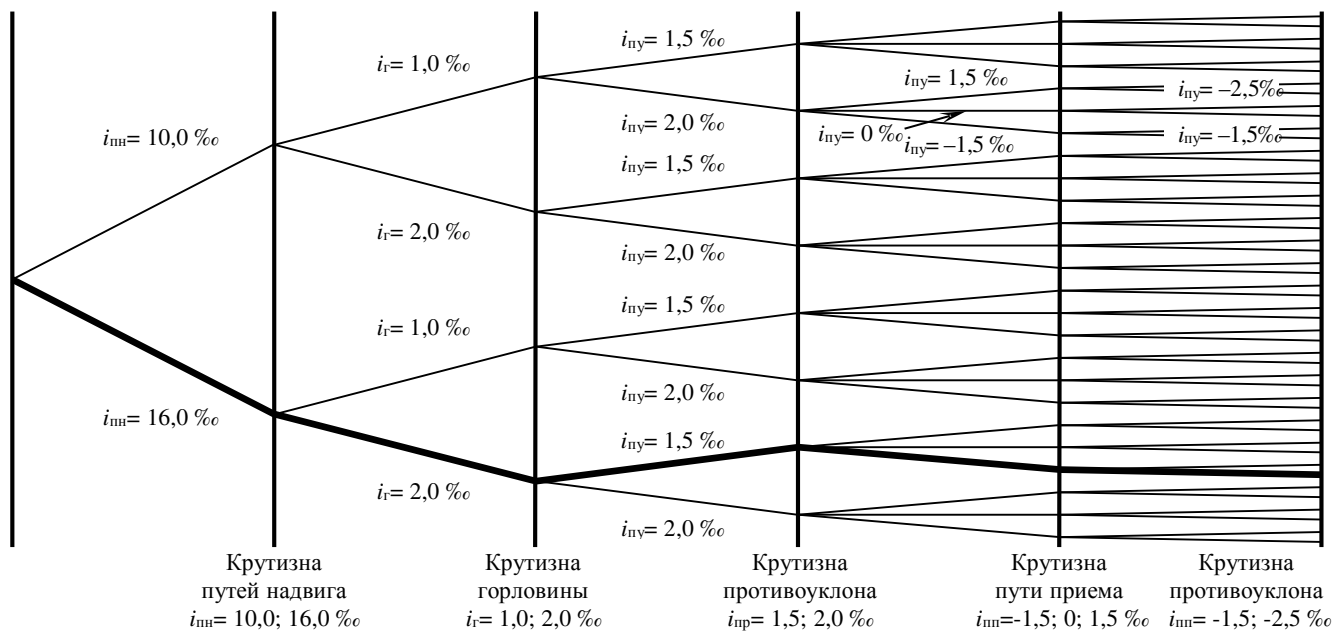


Рисунок 2 – Граф вариантов конструкции продольного профиля путей приема, предгорочной горловины и путей надвига

Для моделирования маневровых передвижений составов грузовых поездов при надвиге на сортировочную горку с последующим их роспуском использовалась указанная выше компьютерная программа «Оценка энергетических затрат на маневровую работу».

Результаты моделирования показали, что наиболее эффективным маршрутом является прием транзитных грузовых поездов с переработкой на путь № 35 (рисунок 1), имеющий благоприятную конструкцию продольного профиля. При этом расход дизельного топлива на надвиг составов заданных параметров на сортировочную горку с пути № 35 и его роспуск составит 7,6 кг. Близкими по данному критерию к маршруту приема на путь № 35 являются пути № 33 и 34, расположенные в центральной части парка приема. Расход дизельного топлива на надвиг и роспуск составов с данных путей составит около 7,8 кг (рисунок 3). Следует отметить, что особое внимание необходимо уделить приему поездов на путь № 31, так как надвиг составов с него на горку и последующий их роспуск является наиболее затратным с точки зрения расхода энергоресурсов. Использование данного пути является рациональным только в условиях интенсивного поступления поездов в парк приема или невозможности принятия поезда ввиду его значительной длины на другой путь.

Ранжирование путей парка приема только по уровню энергетических затрат на надвиг и роспуск составов поездов с сортировочной горки позволяет сократить рас-

ход дизельного топлива на 3,18 т (4,6 т у. т.) в год и получить годовой экономический эффект в объеме 25,6 млн рублей.

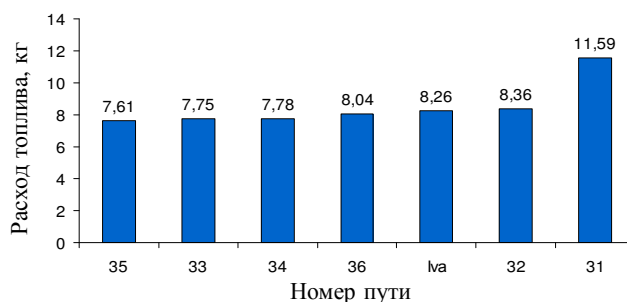


Рисунок 3 – Расход дизельного топлива на надвиг составов на горку с путей парка приема (с последующим роспуском)

В качестве мероприятия по изменению технологии обработки составов поездов, поступающих в расформирование, и способов производства маневровой работы в исследовании рассматривается перенос позиции для закрепления составов поездов из четной стороны парка приема в нечетную (со стороны сортировочной горки) с заменой ручных средств закрепления составов на перспективные механизированные. При этом сокращается длина маршрута надвига состава на сортировочную горку, что наиболее важно для составов небольшой длины.

Для количественной оценки объемов потребления топливно-энергетических ресурсов на производство ма-

невровой 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 в четной стороне парка приема;

– закрепление составов в нечетной стороне парка приема с использованием механизированных средств закрепления.

В качестве перспективных механизированных средств для закрепления составов в исследовании рассмотрены балочные заграждающие устройства с дистанционным управлением БЗУ-ДУ (рисунок 4) производства концерна «Трансмаш» (РФ), в состав которого входит Молодечненский электромеханический завод. Назначением данных устройств является торможение и удержание вагонов и отцепов с целью предотвращения несанкционированного выхода подвижного состава за пределы полезной длины сортировочных, станционных, подъездных и других путей.

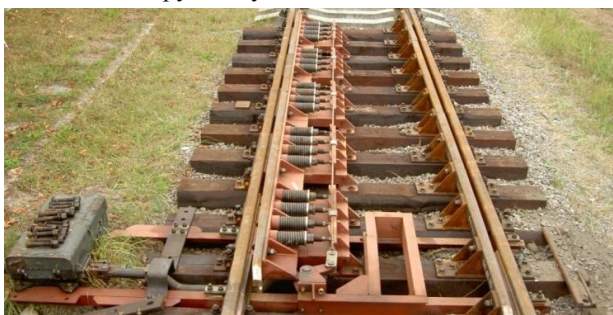


Рисунок 4 – Общий вид балочного заграждающего устройства БЗУ-ДУ

Потребное количество устройств БЗУ-ДУ для обслуживания путей парка приема, которое обеспечит закрепление составов максимальной возможной массы, предложено определять для каждого пути по формуле

$$K_{\text{БЗУ}} = \frac{Q_{\text{бр}} g}{\frac{1 + i_{\text{сп}}^2}{i_{\text{сп}}} F_{\text{уд}} \cos(\arctg i_{\text{сп}})} - \frac{F_{\text{сопр}}}{F_{\text{уд}}}, \quad (26)$$

где  $Q_{\text{бр}}$  – масса брутто расчетного состава поезда, т;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $i_{\text{сп}}$  – спрямленный уклон участка пути, занимаемого расчетным составом;  $F_{\text{уд}}$  – удерживающая сила устройства, кН;  $F_{\text{сопр}}$  – сила сопротивления движению состава, кН.

Результаты расчетов показали, что для реализации мероприятия в парке приема с учетом конструкции продольного профиля путей потребуется установка шести комплектов балочных закрепляющих устройств типа БЗУ-ДУ – по одному комплекту в конце каждого пути (таблица 1). При этом расход дизельного топлива при изменении технологии снизится на 3,9 т (5,7 т у. т.) в

Получено 14.04.2015

**S. A. Pozhidaev, N. A. Azyavchikov, V. V. Zhyravel.** Energy-efficient design and project solutions with the development of marshalling yards.

The main ways of increase of energy efficiency of transportation process on the Belarusian railroad are considered when processing traffic volumes in switchyards. The technical and technological solutions directed on decrease in consumption of fuel and energy resources by production of shunting work on the example of a subsystem «Park of reception – a prehump mouth – ways of moving of a hump yard» a large railway station Minsk-sorting are proposed. In particular, recommendations about ranging of ways of park of reception of station for the trains coming to disbandment about the level of power costs of shunting movement are developed. The complex method of optimization of parameters of a design of a subsystem of disbandment of trains of a switchyard is offered, and also theoretical provisions according to parameters of fixing of structures of cargo trains with use of the perspective mechanized means which yet aren't applied on the Belarusian railroad are received. The assessment of economic efficiency of the offered actions is made.

год или на 2,8 %, моторного масла – на 136 кг в год, что эквивалентно сокращению затрат на ГСМ для маневровой работы на 31,2 млн рублей в год.

Таблица 1 – Потребное количество комплектов БЗУ-ДУ для оснащения путей парка приема

Номер пути	$Q_{\text{бр}}$ , т	$i_{\text{сп}}$	$F_{\text{уд}}$ , кН	$F_{\text{сопр}}$ , кН	$K_{\text{БЗУ}}$ , ед.
31	2844,2	0,00221	200,00	9,02	0,26≈1
32	2950,3	0,01790	200,00	9,02	0,21≈1
33	3494,8	0,00210	200,00	9,02	0,31≈1
34	3404,1	0,00186	200,00	9,02	0,27≈1
35	3084,5	0,00143	200,00	9,02	0,17≈1
36	2760,9	0,00126	200,00	9,02	0,13≈1

Общий совокупный годовой экономический эффект при реализации мероприятия составит 457,2 млн рублей в год. Предположительно инвестиционные затраты на реализацию мероприятия окупятся в течение 5–6 лет.

Полученные в исследовании результаты свидетельствуют о том, что предлагаемые экономически целесообразные мероприятия позволяют снизить потребление энергоресурсов при выполнении маневровой работы и, как следствие, повысить энергоэффективность перевозочного процесса на станции Минск-Сортировочный.

Приведенная методика моделирования маневровых передвижений, оптимизации параметров конструкции подсистемы ПП-ПГ-ПН сортировочной станции, а также теоретические положения по расчету параметров технологии закрепления составов грузовых поездов в парке приема могут использоваться при разработке энергоэффективных мероприятий и проектов развития других крупных станций Белорусской железной дороги.

#### Список литературы

- 1 Энергетическая стратегия Белорусской железной дороги до 2020 года : отчет о НИР : 5255 / БелГУТ; рук. Негрей В. Я.; исп. : В. М. Овчинников [и др.]. – Гомель, 2009. – 992 с. – Библиогр. : с. 992. – № ГР 2008305.
- 2 Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. – М. : Техноформ. 2001. – 255 с.
- 3 Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств / Ю. А. Муха [и др.]. – М. : Транспорт, 1994. – 220 с.
- 4 Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.
- 5 **Бугаев, В. П.** Инновации, инвестиции, эффективность : пособие для студентов экономических специальностей / В. П. Бугаев, Е. В. Бугаева. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 139 с.
- 6 **Кузьмич, В. Д.** Теория локомотивной тяги : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев, В. Я. Френкель; под ред. В. Д. Кузьмича. – М. : Маршрут, 2005. – 448 с.
- 7 **Мацкель, С. С.** Расчет элементов станций на ЭВМ / С. С. Мацкель. – М. : Транспорт, 1980. – 176 с.