

УДК 621.331

В. Я. НЕГРЕЙ, доктор технических наук, М. А. МАСЛОВСКАЯ, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СФЕРА РАВНОЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗНОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Выполнен анализ значений критического объема перевозок в различных странах, при котором себестоимость перевозок при электрической тяге ниже себестоимости перевозок при тепловозной тяге. Установлена зона равноэкономических решений применения электрической и тепловозной тяги на участках Белорусской железной дороги в зависимости от грузонапряженности и причина появления зоны равноэкономических решений, заключающаяся в неполноте исходной информации, способствующая появлению нескольких целесообразных решений при различных исходных данных стоимости дизельного топлива и электроэнергии. Уточнена методика выбора экономически целесообразной грузонапряженности от минимальной до максимальной при переходе к электрической тяге.

Ключевые слова: железная дорога, экономически целесообразная грузонапряженность, тепловозная тяга, электрическая тяга, скорость, электрификация.

Железные дороги оказывают большое влияние на социально-экономическое развитие отдельных регионов и страны в целом. Современные железные дороги являются сложными инженерными сооружениями со своей инфраструктурой и особенностями. В Республике Беларусь железнодорожная сеть в основном уже сформирована и поэтому требуется только ее развитие. Для реконструкции железных дорог намечается комплекс мероприятий по усилению и переустройству железнодорожной линии. Основой реконструкции железнодорожного транспорта в Республике Беларусь в настоящее время является электрификация главных направлений сети.

Увеличение провозной способности железных дорог до определенных размеров обеспечивается проведением организационно-технических мероприятий при сохранении существующего технического оснащения железнодорожной линии. К ним относятся: сокращение станционных интервалов, уплотнение графика движения поездов, уменьшение неравномерности движения по времени, ликвидация ограничений скорости движения поездов из-за состояния пути и искусственных сооружений и некоторые другие.

Организационно-технические мероприятия, требующие меньших капиталовложений, обычно предшествуют реконструкции эксплуатируемой дороги. Иногда организационно-технические мероприятия сочетаются с реконструктивными. Например, при увеличении массы состава поезда за счет организационных мероприятий (более полное использование грузоподъемности вагонов или накопленной кинетической энергии поезда) может потребоваться удлинение приёмно-отправочных путей на отдельных пунктах [7].

К реконструктивным мероприятиям относятся: реконструкция плана линии, оборудование более совершенными устройствами связи и СЦБ, двухпутные вставки, двухпутные перегоны, сооружение второго главного пути, электрификация участков железной дороги.

Проектирование электрификации однопутных железных дорог предусматривает предварительное исследование

и возможность повышения провозной способности за счет организационно-технических (повышения норм массы поездов, открытия дополнительных разъездов на перегонах, ограничивающих пропускную способность) и реконструктивных мероприятий (сооружение двухпутных вставок для безостановочных скрещений поездов, строительство двухпутных перегонов и сплошного второго пути). На однопутных линиях главный путь предназначен для движения поездов в обоих направлениях и при остановочном движении поездов применяют три способа движения поездов: непакетный, частично-пакетный и пакетный. На однопутных линиях с двухпутными вставками применяется непакетное движение с безостановочным скрещением поездов. На однопутно-двухпутных линиях применяется пакетное движение с безостановочным скрещением поездов. На двухпутных линиях, где пути специализированы по направлениям, применяется пачечный и пакетный способы организации движения поездов.

Электрификация железной дороги не только существенно повышает пропускную и провозную способности линии, но и одновременно увеличивает производительность труда и дает большую экономию энергетических ресурсов. Электрификация в 3–5 раз дешевле, чем строительство второго главного пути [5].

В Европе пассажирское движение преобладает над грузовым. Именно пассажирское движение обусловило лидирующую роль электрификации железных дорог, так как электротяга даёт возможность реализовать высокие скорости, большие ускорения и более благоприятна в отношении экологических воздействий железной дороги на окружающую среду, что особенно важно для густонаселенной Европы [8].

В Китае в 2008 году Национальная комиссия развития реформ разработала национальный железнодорожный план, ориентированный на увеличение протяженности действующей железнодорожной сети до 120000 км к 2020 году и увеличение уровня электрификации до 60 %.

На электрифицированных ходах основные эксплуатационные показатели, определяющие эффективность

перевозочного процесса (средний вес грузового поезда, средняя участковая скорость, среднесуточный пробег локомотива), на 20–30 % выше, чем на линиях с тепловозной тягой. Электрическая тяга имеет более высокую энергетическую эффективность по экономии топливно-энергетических ресурсов: удельный расход условного топлива на измеритель ниже в 1,6 раза [5].

На зарубежных дорогах в последние 10–15 лет наблюдается интенсификация прироста электрифицированных линий, что вызвано конкурентной привлекательностью скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения, низкой себестоимостью перевозок по сравнению с автомобильным и авиационным транспортом, усилением требований экологической безопасности.

Промышленно развитые страны отдают предпочтение электрифицированным железным дорогам. Ведь высокие скорости невозможны без электрической тяги, особенно в сложных условиях рельефа местности.

В последние годы Белорусская железная дорога развивается в направлении расширения объемов перевозок, электрификации наиболее значимых участков, ввода в эксплуатацию нового электроподвижного состава, повышения скоростей движения пассажирских и грузовых поездов.

На Белорусской железной дороге электрифицировано 20,5 % от протяжения всей железнодорожной сети. В связи со строительством Белорусской АЭС и пуском в эксплуатацию ее первой очереди в 2019 году, электроэнергия подешевеет, и электрификация станет экономически обоснованной на грузонапряженных участках. К 2030 году возможна электрификация еще 14 % железнодорожных путей. Это известные участки Белорусской железной дороги: граница России – Витебск – Полоцк – Бигосово – граница Беларуси с Латвией, Барановичи – Лунинец – Калинковичи, Жлобин – Могилев – Орша – Витебск [4].

На электрификацию железной дороги требуются значительные капиталовложения для создания соответствующей инфраструктуры (внешнее энергоснабжение, тяговые подстанции, контактная сеть, предприятия обслуживания и ремонта устройств электроснабжения). Поэтому для перехода на электрическую тягу требуется определить экономически целесообразный грузооборот, при котором себестоимость перевозок при электрической тяге была бы меньше, чем при тепловозной.

Согласно исследованиям ВНИИЖТа для Российских железных дорог он составляет 20–25 млн т·км на 1 км, для Польши – 10 млн т·км на 1 км, Германии – 16 млн т·км на 1 км, Великобритании – 4–6, Беларуси – 15–20 млн т·км на 1 км (согласно расчетам по авторской методике [3]), по которой впервые для Белорусской железной дороги определен экономически целесообразный грузооборот). При использовании электроэнергии от Белорусской АЭС величина грузооборота будет смещаться в меньшую сторону, приближаясь к 15 млн т·км на 1 км.

Перспективные объемы работы являются неопределенной величиной и изменяются в значительных пределах (оптимистический и пессимистический сценарии развития). Неполнота исходной информации создает ситуацию для появления ряда оптимальных решений при различных сочетаниях исходных данных, что приводит к образованию зоны равноэкономических решений (заштрихована на рисунке 1).

Экономически целесообразная грузонапряженность, при которой себестоимость перевозок при электрической

тяге равна себестоимости перевозок при тепловозной тяге, составляет 17 млн т·км на 1 км (пересечение линий со значениями C_2 и C_5 на рисунке 1). Очевидно, что она напрямую зависит от соотношения стоимостей электроэнергии и топлива на тягу поездов, содержания инфраструктуры, эксплуатационных расходов всех организаций, занятых перевозками.

Эксплуатационные расходы подсчитаны методом расходных ставок, включающих расходы по движению грузовых поездов (локомотиво-километры, локомотиво-часы, вагоно-километры, вагоно-часы, тонно-километры брутто, бригадо-часы локомотивных бригад, расход топлива и электроэнергии); расходы на остановки поездов, включающие разгон и торможение поездов; расходы по содержанию постоянной инфраструктуры железной дороги (линейные сооружения и устройства, контактная сеть, тяговые подстанции, отдельные пункты, снегоочистка путей); амортизационные отчисления на содержание постоянных устройств дороги (земляное полотно, верхнее строение железнодорожного пути, трубы, мосты, устройства энергоснабжения) при существующей инфраструктуре и при электрификации железной дороги [10].

График зависимости суммарных приведенных расходов от грузонапряженности для одного из участков Белорусской железной дороги при различной стоимости 1 кг дизельного топлива и 1 кВт·ч электроэнергии показан на рисунке 1. Из графика следует, что существует довольно широкая зона значений равноэкономических решений целесообразного перехода к электрической тяге (рисунок 1), ниже которой стоимость инфраструктуры электрификации завышена (при малых значениях перевозок), а выше она компенсируется более высокими технико-экономическими показателями электрической тяги (при больших размерах перевозок) [3].



Рисунок 1 – Сфера целесообразности использования различных видов тяги:

- C_1, C_2, C_3 – стоимость 1 кг дизельного топлива, руб.;
- C_4, C_5, C_6 – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.;
- 1 – сфера целесообразности тепловозной тяги;
- 2 – сфера целесообразности электрической тяги;
- 3 – сфера равноэкономических решений

Минимальная граница экономически целесообразной грузонапряженности получается точкой пересечения кривых C_1 и C_6 на рисунке 1, максимальная – пересечением кривых C_3 и C_4 . Зона равноэкономических решений имеет ширину от минимальной до максимальной грузонапряженности и составляет для рассматриваемого участка железной дороги 15–20 млн т·км на 1 км в год.

При подсчете суммарных приведенных расходов учитываются капитальные вложения на электрификацию с начала рассматриваемого периода (с приобретением необходимого количества локомотивов инвентарного парка) и соответствующие эксплуатационные расходы, меняющиеся во времени в зависимости от грузонапряженности [10].

Способ расчета основан на том, что все затраты, совершаемые в разные этапы, приводятся к сопоставимому виду, т.е. к текущему нулевому году. Приведение затрат будущих лет к затратам текущего года рекомендовано отраслевой инструкцией железнодорожного транспорта и относится как к капитальным вложениям, так и к эксплуатационным расходам [10].

Подсчет суммы приведенных расходов производится по формуле

$$\Pi = K_0 + \sum_1^{t_1} \frac{C_{t_1}}{(1 + E_{\text{нп}})^{t_1}} + \frac{K_1}{(1 + E_{\text{нп}})^{t_1}} + \sum_{t_1+1}^{t_2} \frac{C_{t_2}}{(1 + E_{\text{нп}})^{t_2}} + \frac{K_2}{(1 + E_{\text{нп}})^{t_2}} + \dots + \frac{K_n}{(1 + E_{\text{нп}})^{t_n}} + \sum_{t_n+1}^T \frac{C_T}{(1 + E_{\text{нп}})^t},$$

где Π – общая сумма расходов, приведенных к нулевому году; K_0 – первоначальные капитальные вложения; K_1, \dots, K_n – капитальные вложения, производимые поэтапно через t_1, \dots, t_n лет в период эксплуатации объекта; $C_{t_1}, C_{t_2}, \dots, C_T$ – ежегодные эксплуатационные расходы за время между двумя смежными этапами капитальных вложений; $E_{\text{нп}}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (коэффициент дисконтирования затрат).

На отдельных пунктах существующего участка железной дороги имеется достаточное количество приемо-отправочных путей и ранее был организован частично-пакетный график движения поездов, поэтому дополнительных капиталовложений на его введение не потребуется.

Выводы.

1 В каждой стране, где эксплуатируются электрифицированные железные дороги, определены экономически целесообразные объемы перевозок, при которых себестоимость перевозок при электрической тяге ниже себестоимости перевозок при тепловозной тяге.

2 Перед разработкой проекта электрификации участка однопутной железной дороги необходимо исследовать возможность повышения провозной способности за счет повышения весовой нормы поездов, строительства двухпутных вставок и второго главного пути.

3 Установлена зона равноэкономических решений целесообразного использования различных видов тяги, при которой, если грузонапряженность меньше критической,

Получено 31.10.2018

V. Ya. Negrai, M. A. Maslovskaya. Sphere of equal economic solutions of the appropriate use of diesel and electric traction on the Belarusian railway.

The analysis of the values of the critical volume of traffic in different countries, in which the cost of transportation with electric traction is lower than the cost of transportation with diesel traction has been made. The zone of equal economic solutions of electric and diesel traction application has been established on the sections of the Belarusian railway depending on the load intensity and the reason for the emergence of the zone of equal economic solutions, consisting in the incompleteness of the initial information, contributing to the emergence of several appropriate solutions for different input data on the cost of diesel fuel and The method of selection of economically expedient load-bearing capacity from minimum to maximum at transition to electric traction has been specified.

Key words: railway, economically expedient load-bearing capacity, diesel traction, electric traction, speed, electrification.

то целесообразно использовать тепловозную тягу, больше критической – электрическую тягу. Критическая грузонапряженность имеет место при действующих ценах на дизельное топливо и электроэнергию.

4 Неопределенность исходных данных приводит к появлению зоны равноэкономических решений использования тепловозной и электрической тяги. Для Белорусской железной дороги эта зона находится в интервале грузонапряженности 15–20 млн т·км на 1 км. При уменьшении стоимости электроэнергии грузонапряженность будет смещаться в меньшую сторону.

Список литературы

1 Государственная программа развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь № 345 от 28.04.2016. – 33 с.

2 **Негрей, В. Я.** Электрификация Белорусской железной дороги – фактор повышения эффективности и качества ее работы / В. Я. Негрей, М. А. Масловская // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 2. – С. 76–79.

3 **Негрей, В. Я.** Целесообразность электрификации участков железной дороги / В. Я. Негрей, М. А. Масловская // Вестник Украинского гос. у-та ж.-д. трансп. – 2018. – № 62. – С. 96–104.

4 **Масловская, М. А.** Электрификация Белорусской железной дороги и скоростное движение поездов / М. А. Масловская, Н. В. Довгелюк // Энергоэффективность. – 2018. – № 5. – С. 28–32.

5 Беларусь к 2030 году завершит электрификацию основных грузонапряженных участков : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.belta.by/economics/view>. – Дата доступа : 16.12.2016.

6 Формирование транспортной политики Республики Беларусь в едином экономическом пространстве / О. С. Булко [и др.] // Институт экономики НАН Беларуси : Беларуская навука, 2014. – 194 с.

7 **Довгелюк, Н. В.** Реконструкция железных дорог : пособие / Н. В. Довгелюк, Г. В. Ахраменко, В. А. Вербило. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 339 с.

8 **Житенев, Ю. А.** Высокоскоростное движение – прыжок в будущее / Ю. А. Житенев // Обозреватель журнала «Мир путей сообщения». – М., 2013.

9 Корпоративные новости Белорусской железной дороги: [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.rw.by/corporate/>. – Дата доступа : 10.12.2016.

10 **Масловская, М. А.** Особенности реконструкции железных дорог при электрической тяге : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / М. А. Масловская, Н. В. Довгелюк. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 63 с.