

УДК 621.331

DOI: <https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i62.134001>

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*Негрей В.Я., д.т.н., профессор,
Масловская М.А., аспирант (БелГУТ)*

Подчеркнуты преимущества электрической тяги для повышения провозной способности железной дороги. Показана целесообразность электрификации Белорусской железной дороги в связи с пуском в эксплуатацию первой очереди Белорусской АЭС в 2019 году. Исследовано влияние электрификации на провозную способность железной дороги. Определены экономически целесообразные размеры перевозок перехода к электрической тяге на различных участках Белорусской железной дороги.

Ключевые слова: электрификация, пропускная способность, провозная способность, железная дорога, целесообразность проектного решения

ДОЦІЛЬНІСТЬ ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ ДІЛЬНИЦЬ ЗАЛІЗНИЦІ

*Негрей В.Я., д.т.н., професор,
Масловская М.А., аспірант (БелГУТ)*

Підкреслені переваги електричної тяги для підвищення провізної спроможності залізниці. Залізниця є важливим елементом транспортної системи Республіки Білорусь. Вирішальними факторами, оказывающими вплив на економічну доцільність та термін електрифікації, є: наявність джерел енергопостачання, вартість електроенергії, розміри і темп зростання перевезень, рельєф місцевості. Показана доцільність електрифікації Білоруської залізниці у зв'язку з пуском в експлуатацію першої черги Білоруської АЕС в 2019 році. Розглянута доцільність введення електричної тяги та визначено економічно доцільнимний вантажообіг переходу на електротягу на одній з ділянок Білоруської залізниці. При цьому враховувалися найбільш значущі фактори, що впливають на величину первинних і наступних капітальних вкладень при електрифікації лінії та вплив цих чинників на динаміку зміни експлуатаційних витрат. Досліджено вплив електрифікації на провізну спроможність залізниці. Для визначення вимірників експлуатаційних витрат виконані тягові розрахунки для тепловозної тяги, що обертаються на ділянці тепловозами і для електричної тяги з передбачуваними до обігу електровозами при різній вартості дизельного палива і електроенергії. Представлена методика, що дозволяє визначити

економічно доцільний вантажообіг, при якому собівартість перевезень при електричній тязі стає менше, ніж при тепловозній. Він залежить від співвідношення вартостей електроенергії і палива на тягу поїздів, утримання інфраструктури, експлуатаційних витрат всіх організацій, зайнятих перевезеннями. Визначено економічно доцільні розміри перевезень переходу до електричній тязі на різних ділянках Білоруської залізниці.

Ключові слова: електрифікація, пропускна здатність, провізна здатність, залізниця, доцільність проектного рішення

THE FEASIBILITY OF ELECTRIFICATION OF RAILWAY SECTIONS

*Negrey V.Ya., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Maslovskaya M.A., postgraduate student (BelSUT)*

The advantages of electric traction to increase the carrying capacity of the railway are emphasized. Railways are an important element of the transport system of the Republic of Belarus. The decisive factors that influence the economic feasibility and duration of electrification are: the availability of energy sources, the cost of electricity, the size and growth rate of transportation, the terrain. The purpose of electrification difference of the Belarusian railway in connection with the commissioning of the first stage of the Belarusian NPP in 2019 is shown. The expedition of introduction of electric traction is considered and the economically purposeful freight Turner of the transition to electric traction on one of the sections of the Belarusian railway is determined. The most significant factors that affect the amount of initial and subsequent capital investments in the electrification of the line and the influence of these factors on the dynamics of changes in operating costs were taken into account. The influence of electrification on the railway carrying capacity was studied. To determine the meters of operating costs, traction calculations were performed for diesel traction with diesel locomotives circulating on the site and for electric traction with electric locomotives expected to be used at different costs of diesel fuel and electricity. Are the methodology for determining economically viable turnover, in which the cost of transportation by electric traction is less than with diesel. It depends on the ratio of the cost of electricity and fuel to the traction of trains, the maintenance of infrastructure, operating costs of all organizations engaged in transportation. The economically expedient sizes of transportation of electric traction on different sections of the Belarusian railway are determined.

Key words: electricity, bandwidth, capacity, railway, feasibility of design solutions.

Постановка проблеми.

Железные дороги являются важным элементом транспортной системы Республики Беларусь. Они выполняют большой объем перевозочной работы, обеспечивая надежные экономические и транспортные связи между главными экономическими районами и центрами. Высокая интенсивность работы железных дорог определяет повышенные требования ко всем их сооружениям и устройствам и во многом определяют специфику проектирования.

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.

Выгодой от внедрения электрификации на железных дорогах является: повышение эффективности перевозки грузов за счет снижения эксплуатационных расходов через уменьшение использования горюче-смазочных материалов; увеличение пропускной способности железных дорог; улучшение экологической безопасности.

Общая протяженность железных дорог мира составляет около 1 млн. км; из которых 25 % электрифицировано [1]. Мировой объем перевозок между видами тяги распределяется примерно по 50 %, следовательно, при меньшей протяженности электрифицированных железных дорог средняя грузонапряженность на них в 3 раза выше, чем на линиях с тепловозной тягой.

Протяженность электрифицированных железных дорог различна на разных континентах и в регионах мира. Наибольший ее удельный вес в общей протяженности приходится на

страны Западной, Центральной, Восточной Европы (45,7 %) и страны СНГ (24,3 %), около 20 % – на страны Юго-Восточной Азии (в основном Япония, Китай, Индия) и 8 % – на Африку (в основном ЮАР) [1].

На электрифицированных железных дорогах мира лидирует система переменного тока 55,1 % от их общей протяженности; на постоянном токе работает 43 % электрифицированных линий, 1,9 % линий используются другие системы тягового электроснабжения как переменного, так и постоянного тока (рисунок 1).

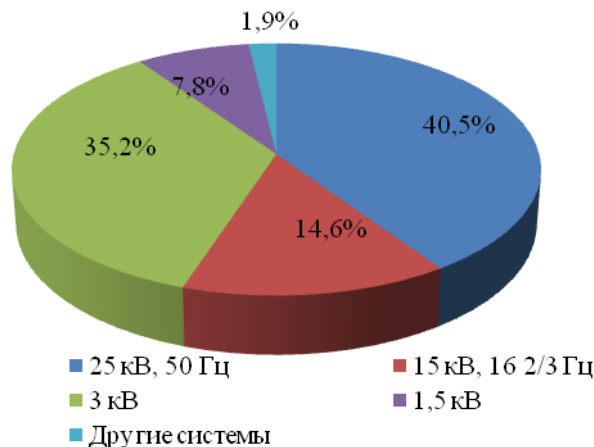


Рис.1. Различные системы тягового электроснабжения

Начиная с 50-х годов прошлого века стали переходить к электрификации на переменном токе промышленной частоты 50 Гц при напряжении 25кВ, а до 2017 года прирост протяженности полигона постоянного тока небольшой.

Страны СНГ имеют электрифицированные линии, длина которых составляет 41 % общей протяженности сети железных дорог, а объем перевозок по ним 71,6 %. В основном это соотношение определяется Российскими железными дорогами, составляющими по протяженности 70% сети электрифицированных железных дорог СНГ (15,4% – Украина, 6,3 % – Казахстан, 8,5 % – остальные страны). В СНГ, как и в Европе, по системе переменного тока (25 кВ, 50 Гц)

электрифицировано 53 % линий, на постоянном токе – 47 % (3кВ). Железные дороги Армении и Грузии электрифицированы полностью, а в Азербайджане электрическая тяга применена на 60 % линий по протяженности и выполняет 84 % объема перевозок.

Проанализировав в различных странах статистическую зависимость доли относительного объема перевозок при электрической тяге $\Gamma_{эл.}/\Gamma$ ($\Gamma_{эл.}$ – объем перевозок при электрической тяге, Γ – общий объем перевозок по железным дорогам) к протяженности электрифицированных линий $L_{эл.}/L$ ($L_{эл.}$ – длина электрифицированных линий, L – общая длина железных дорог) установлено, что электрификация 45–55 % от общей

протяженности железных дорог обеспечивает грузооборот 78–88 % от всего объема перевозок страны. Электрифицированные железные дороги России составляют 46,8 % общей протяженности сети железных дорог страны и выполняют 77,7 % общего объема железнодорожных перевозок, что в 4 раза больше выполняемого тепловозной тягой.

В Республике Беларусь в настоящее время эксплуатационная длина электрифицированных участков – 1128,3 км, что составляет 20,5 % от общей протяженности дороги [2]. По оптимистическому сценарию к 2030 году возможна электрификация еще 14 % железнодорожных путей, т.е. всего 34% общей протяженности, которые выполняют 57–60 % всего объема грузовых перевозок. А электрификация 50 % железнодорожных путей обеспечит выполнение объемов перевозок до 80–90 %.

В результате анализа провозной способности железных дорог в различных странах мира установлен интервал размеров перевозок, при котором целесообразно переводить дорогу на электрическую тягу. Например, для Германии он составляет 16 млн т, в Польше – 10 млн т, в Великобритании 4 – 6 млн т. Задачей исследования является определение данного интервала на Белорусской железной дороге.

Анализ последних исследований и публикаций.

Много научных работ посвящено формированию полигонов сети электрифицированных железных дорог с учетом оптимального распределения грузопотоков. Этому посвящены публикации Ю.А. Быкова, Е.С. Свинцова [3], С.М. Гончарука, А.В. Гавриленкова, Н.Б. Кургана, А.В. Макаровича, Г.С. Переселенкова, М.М. Протодяконова, В.С. Шварцфельда [4] и многих других. При этом вопросы увеличения провозной способности наибольшее развитие

получили в трудах И.В. Турбина, А.В. Кондратченко [5] и др.

Нерешенные составляющие общей проблемы.

Все более актуальным становится введение электрификации как средства повышения провозной способности железной дороги. В Республике Беларусь не установлен экономически целесообразный интервал значений провозной способности, определяющий переход дороги на электрическую тягу.

Целью статьи является установление грузооборота на Белорусской железной дороге, определяющего переход на электрическую тягу, при котором себестоимость перевозок меньше, чем при тепловозной тяге.

Изложение основного материала исследования.

Главное преимущество электрической тяги заключается в сокращении эксплуатационных расходов дороги, где основным является сокращение затрат на оплату энергоресурсов для тяги поездов. По оценке иностранных специалистов, стоимость перевозок при электрификации снижается в 1,5 раза, а потребление топливно-энергетических ресурсов на 15 %. Очевидным преимуществом электрической тяги является ее экономичность. Электрификация способствует увеличению технической и маршрутной скорости движения грузовых и пассажирских поездов, повышению весовых норм перевозки грузов [6].

Республику Беларусь затронули условия развития и углубления международного сотрудничества (формирование международных транспортных коридоров), обеспечивающего возможность унификации параметров транспортной инфраструктуры и применения единой технологии перевозок. Основой этого является определение девяти общеевропейских транспортных коридоров на II Общеввропейской

конференції в 1994 г. на о. Крит (Греція), інфраструктура которых должна быть полностью модернізована и соответствовать текущим стандартам. Два из транспортных коридоров проходят по территории Республики Беларусь.

Преимуществом использования второго международного транспортного коридора Красное – Брест, который электрифицирован и на протяжении 615 км проходит по территории Республики Беларусь, является сокращение на 30–35 % расстояния перевозок с Востока на Запад. Девятый международный транспортный коридор через республику Беларусь (полностью не электрифицирован) обеспечивает устойчивую транспортную связь между северными и южными морями Европейского континента.

Госпрограммой развития железнодорожного транспорта Беларуси до 2020 года предусмотрена электрификация участков Жлобин – Калинковичи – ст. Барбаров, обходов Минска Колодищи – Шабаны и Гатово – Михановичи и окончание электрификации участка Молодечно – Гудогай – Госграница. В перспективе предусматривается электрификация участков Гомель – Терюха – Госграница и далее на Чернигов и Калинковичи – Барбаров – Словежно – Госграница и далее на Коростень. Белорусская железная дорога ведет переговоры с железнодорожными администрациями Латвии, Украины и России об электрификации приграничных участков [7].

В настоящее время Республика Беларусь входит в Единую энергетическую систему БРЭЛЛ (Беларусь, Россия, Эстония, Литва, Латвия) и может обмениваться электроэнергией с другими странами с помощью протянутых между ними линий электропередач. Все они связывают особые надежды с введением в эксплуатацию в Республике Беларусь АЭС, вырабатываемая электроэнергия

которой, будет дешевле производимой в настоящее время.

По данным Управления Белорусской железной дороги при электрификации железной дороги потребление топливно-энергетических ресурсов снизится на 39 %, на 19 % повысится весовая норма грузовых поездов, на 24 % увеличится техническая и маршрутная скорость движения грузовых и пассажирских поездов [2].

Так как электрификация является реконструктивным мероприятием для усиления мощности действующих линий, то в первую очередь решается ряд проектных задач по обоснованию геометрии реконструируемого плана, определению скоростей движения и времени хода поезда, решению тормозных задач, определению расхода электроэнергии электровозами и топлива тепловозами, механической работы силы тяги локомотива и работы сил сопротивления. Для определения данных измерителей необходимо выполнение тяговых расчетов [8].

Одним из способов увеличения пропускной способности железной дороги (за счет большей расчетной скорости, чем у тепловоза) и провозной способности (за счет большей массы состава) является введение электрической тяги. Однако электрификация не всегда является одним из основных методов увеличения мощности железной дороги. Решающим фактором, оказывающим влияние на экономическую целесообразность и срок электрификации, является наличие источников энергоснабжения, стоимость электроэнергии, размеры и темп роста перевозок, рельеф местности.

Рассмотрим целесообразность введения электрической тяги и определим экономически целесообразный грузооборот перехода на электротягу на одном из участков Белорусской железной дороги ($i_p=9\text{ ‰}$), где учитываются наиболее существенные факторы, оказывающие влияние на величину

первоначальных и последующих капитальных вложений при электрификации (реконструкции) линии и влияние этих факторов на динамику изменения эксплуатационных расходов.

Участок дороги состоит из 11-ти перегонов различной длины, где тяговое плечо соответственно имеет длину 101 км. При анализе географического расположения и продольного профиля участка железной дороги установлено, что в связи с наличием равнинной местности, перегонов с затяжным руководящим уклоном не имеется.

Так как электрифицируемый участок предполагает большой грузопоток с выходом на общеевропейский транспортный коридор №9, то следовало бы рассмотреть эксплуатацию на нем грузового электровоза БКГ-2 китайского производства, который способен перевозить поезда весом до 9000 т. Однако требуется уменьшение веса такого поезда на приграничных станциях. Требуется изучения состояния земляного полотна и плана железнодорожной линии

для больших весовых нагрузок. С учетом этого рассмотрена эксплуатация одного из самых распространенных электровозов на постсоветском пространстве ВЛ80^к, который обращается на железнодорожной линии Москва – Красное – Брест. Для сравнения принимаются уже эксплуатируемый на данном участке тепловоз 2ТЭ10М.

Масса состава грузового поезда 4700 т в грузовом направлении и 2810 т в обратном.

Тяговые расчеты выполняются для тепловозной и электрической тяги с локомотивами 2ТЭ10М и ВЛ80^к, с соответствующими весами поездов, а также ограничениями скорости.

Расчеты выполнены в автоматизированной программе «Тяговые расчеты», где после выбора всех параметров (участок железной дороги, тип локомотива, композиция состава поезда и др.), кривые скорости и времени хода строятся автоматически и на экране высвечивается окно с результатами расчета программы (рисунок 2).

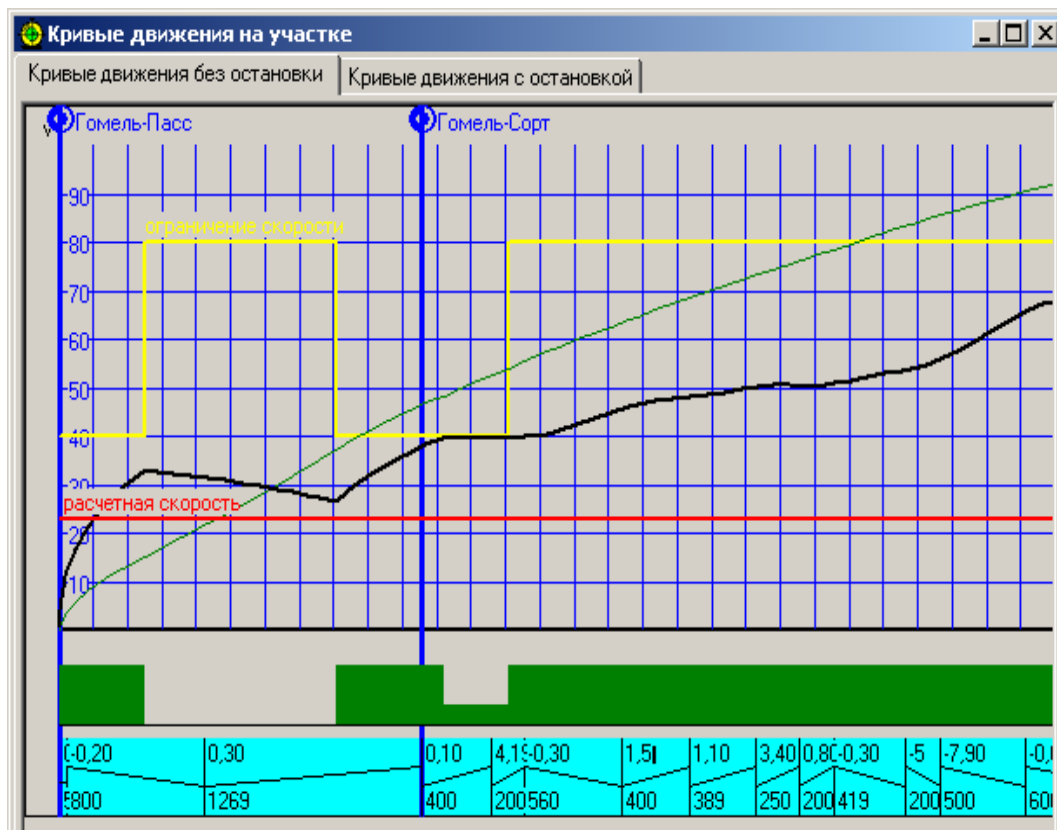


Рис.2. Окно «Кривые скорости движения на участке железной дороги»

В окне «Кривые скорости» в графическом виде отражаются следующие кривые: *желтая линия* – ограничения скорости движения поезда, где учитываются как постоянные, так и временные; *черная линия* – кривая скорости движения поезда; *красная линия* – расчетная скорость движения поезда. В случае, если скорость движения поезда опустится ниже расчетной, необходимо вносить корректировки в исходные данные (снизить массу состава поезда, сменить тип локомотива, использовать на отдельных перегонах или на всем участке кратную тягу и др.); *зеленая линия* – кривая времени хода по участку. Каждые 10 минут отмечаются на графике вертикальной линией.

В нижней части окна отображаются уклоны элементов профиля и их длина, а также позиция контроллера машиниста. Проанализировав условия движения поездов по различным элементам профиля, электровоз ВЛ80^к и эксплуатируемый тепловоз 2ТЭ10М на участке железной дороги в грузовом и обратном направлениях не имеют существенной разницы во времени хода поезда. Это объясняется несложным рельефом местности, не имеющим затяжных руководящих подъемов.

Определим экономически целесообразный грузооборот, при котором себестоимость перевозок при электрической тяге становится меньше, чем при тепловозной. Очевидно, что он напрямую зависит от соотношения стоимостей электроэнергии и топлива на тягу поездов, содержания инфраструктуры, эксплуатационных расходов всех организаций, занятых перевозками.

Выполнив подсчет эксплуатационных расходов методом расходных ставок [9], включающих расходы по движению грузовых поездов (локомотиво-км, локомотиво-ч., вагоно-км, вагоно-ч., тонно-км 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, построен график зависимости эксплуатационных расходов от грузооборота (рисунок 3) для участка дороги при различной стоимости 1 кг топлива (1,34; 1,38; 1,40 руб.), и 1 кВт·ч. электроэнергии (0,24, 0,22, 0,20 руб.).

Из графика следует, что существует довольно широкая область значений экономически целесообразных размеров перевозок перехода к электрической тяге (заштриховано на рисунке 3), 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).

Для рассмотренного участка область значений для перехода к электрической тяге находится в диапазоне от 15 до 21 млн т. В настоящее время грузооборот этого участка составляет 17,5 млн т, а точка равнозначных значений эксплуатационных расходов или себестоимости перевозок соответствует грузообороту 21 млн т при существующих стоимостях топлива и электроэнергии. Значит переход на электрическую тягу отдалается до достижения данного грузооборота. Это может произойти при снижении стоимости электроэнергии до 0,20 руб. За 1 кВт·ч.

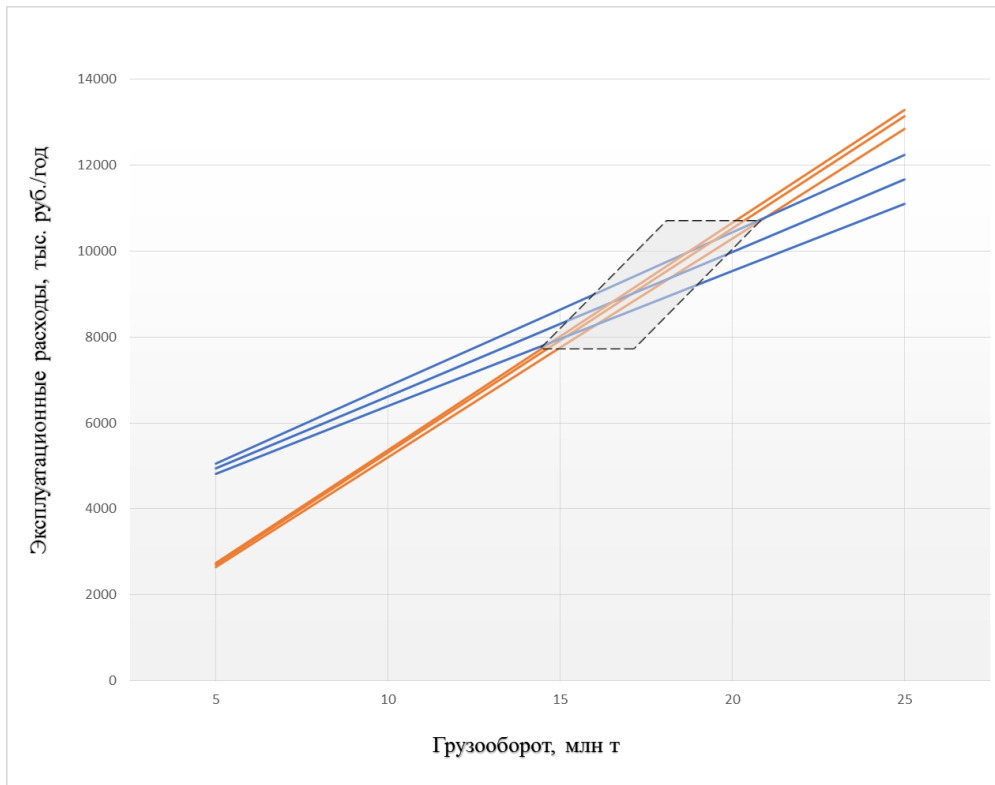


Рис. 3. Визначення економічно доцільного грузооборота для переходу на електричну тягу

Примечание – Сині лінії на графіку показують вартість 1 кг дизельного палива; помаранчеві лінії – вартість 1 кВт·ч електроенергії

Висновок. Представлена методика дозволяє встановлювати доцільний інтервал грузооборота, визначаючого можливість переходу залізної дороги на електричну тягу. Цей інтервал необхідно встановлювати для кожної лінії окремо, виходячи з конкретних даних про складові собівартості перевезень (або підрахованих експлуатаційних витрат). Для Білоруської залізної дороги перехід на електричну тягу знаходиться в інтервалі 15–21 млн т.

СПИСОК ІСПОЛЬЗОВАНИХ ІСТОЧНИКОВ

1. Електрифікація залізних доріг, як фактор енергетичної незалежності транспортної системи держави [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://mkg.com.ua/news/Kommentarii-ekspertov/>.

2. Офіційний сайт Білоруської залізної дороги [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.rw.by>.

3. Свинцов Е.С. Регіонально-транспортні дослідження в сучасних умовах: монографія / Е.С. Свинцов. – М. : Маршрут, 2005. – 301 с.

4. Гончарук С.М. Прийняття рішень при проектуванні об'єкта і потужності мережі залізних доріг. Частина 1. Методологія формування альтернатив об'єкта і потужності мережі залізних доріг з урахуванням надійності її функціонування: монографія / С.М. Гончарук, А.В. Гавриленков, В.С. Шварцфельд. – Хабаровськ : ДВГУПС, 2003. – 178 с.

5. Турбин, І.В. Ізшування і проектування залізних доріг : навч. для вузів / І.В. Турбин. – М.: Транспорт, 1989. – 479 с.

6. Peterman, D. R. The Development of High Speed Rail in the United States: Issues and Recent Events / D.R. Peterman, J. Frittelli, W.J.

Mallett. – Washington : Congressional Research Service, 2013. – 35 p.

7. Государственная программа развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016 – 2020 годы : постановление Совета Министров Республики Беларусь, 28 апреля 2016 г., № 345 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь, 07.05.2016, 5/42042 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pravo.by/document/?guid=3871&p0=C21600345>. – Дата доступа : 10.10.2017.

8. Гребенок, П.Т. Правила тяговых расчетов для поездной работы / П.Т. Гребенок. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

9. Гизатуллина, В.Г. Экономические показатели работы железнодорожного

транспорта : справ. пособие / В.Г. Гизатуллина, А.И. Шелелев. – Мн. : Выш. шк., 1984. – 208 с.

10. Гизатуллина, В.Г. Себестоимость железнодорожных перевозок : учеб. пособие / В.Г. Гизатуллина. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 302 с.

11. Довгелюк, Н.В. Изыскания и проектирование железных дорог : учеб. пособие / Н.В. Довгелюк, Г.В. Ахраменко, И.М. Царенкова – Гомель : БелГУТ, 2013. – 333 с.

12. Экономика железнодорожного строительства и путевого хозяйства : учеб. для вузов/ под ред. Б.А. Волкова, В.Б. Шульги. – М.: Маршрут, 2003. – 630 с.