

УДК 656.225.62 – 726

Г. В. ЧИГРАЙ^{1*}, Н. В. КИРИК^{2*}

^{1*} Каф. «Транспортные узлы», Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», ул. Кирова, 34, г. Гомель, Республика Беларусь, 246653, эл. почта chyhrai@mail.ru, ORCID 0000-0003-2642-4074

^{2*} Каф. «Транспортные узлы», Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», ул. Кирова, 34, г. Гомель, Республика Беларусь, 246653, ORCID 0000-0002-7054-0454

ЛУБРИКАЦИЯ – ОДИН ИЗ АСПЕКТОВ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов является одной из важнейших задач, стоящих перед экономикой Республики Беларусь и обеспечивающей энергетическую безопасность и энергонезависимость страны. Транспортный комплекс Республики Беларусь, в целом, и Белорусская железная дорога, в частности, является одним из крупнейших потребителей топливно-энергетических ресурсов в стране. Взаимодействие подвижного состава и пути – основополагающий физический процесс при движении вагонов, локомотивов и поездов по железным дорогам. В системе взаимодействия «колесо – рельс» поверхность катания колеса образует с рельсом открытую фрикционную пару трения. Сила трения приводит к потерям до 5-10 % тяговой мощности локомотива, а также к активному износу гребней колес и боковой поверхности головки рельса. Лубрификация, как одно из важнейших технологических мероприятий, направленных на увеличение ресурса системы «колесо – рельс» и снижение расхода энергии, играет важную роль в общей стратегии развития железнодорожного транспорта, повышении эффективности и конкурентоспособности отрасли в целом. В статье рассмотрены вопросы, связанные с применением лубрикации и расчетом экономии топливно-энергетических ресурсов на некоторых железнодорожных направлениях Белорусской железной дороги.

Ключевые слова: энергосбережение, топливно-энергетические ресурсы, лубрификация.

Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов является одной из важнейших задач, стоящих перед экономикой Республики Беларусь и обеспечивающей энергетическую безопасность и энергонезависимость страны [1].

Транспортный комплекс государства, в целом, и Белорусская железная дорога, в частности, является одним из крупнейших потребителей топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в стране. В современных условиях развития экономики и сложившейся нестабильной политической ситуации в мире энергетическая эффективность является одним из важнейших факторов повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта на внутреннем и международном рынках транспортных услуг.

Основная доля расхода топливно-энергетических ресурсов на Белорусской железной дороге приходится на тягу поездов (свыше 200 тыс. т в год). Поэтому приоритетным направлением в реализации политики энергосбережения является совершенствование, прежде всего, основного вида деятельности – перевозочного процесса.

Одним из основных направлений совершенствования перевозочного процесса является повышение энергетической эффективности же-

леледорожного транспорта. Под энергетической эффективностью (энергоэффективностью) понимается величина, отражающая отношение полученного эффекта от использования ТЭР к затратам топливно-энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта.

Доля потребленного Белорусской железной дорогой дизельного топлива в общем расходе транспортного комплекса страны составляет около 15 %, в целом по стране – 5 %, а доля потребленной электрической энергии не превышает 1,2 % в общереспубликанском объеме. Поэтому повышение энергоэффективности железнодорожного транспорта является одной из приоритетных задач отрасли, решение которой позволит повысить конкурентоспособность отрасли по сравнению с другими видами транспорта, и тем самым получить определенный социально-экономический эффект от сдерживания роста тарифов на перевозки [2].

В настоящее время вопросам энергоэффективности и энергосбережения придается еще большее значение. В соответствии с политикой государства, направленной на внедрение энергосберегающих технологий во всех сферах экономики, активно проводятся мероприятия по ресурсо- и энергосбережению на железнодо-

рожном транспорте.

Важнейшим приоритетом развития железнодорожного транспорта является освоение перспективного поездопотока при гарантированной безопасности движения и повышении эффективности использования ТЭР на основе оптимизации взаимодействия служб пути и подвижного состава.

Взаимодействие подвижного состава и пути – основополагающий физический процесс при движении вагонов, локомотивов и поездов по железным дорогам. Условия взаимодействия в системе «колесо – рельс» оказывают существенное влияние на сроки службы и организацию содержания основных устройств пути и подвижного состава, на эксплуатационные затраты железных дорог. Взаимодействие подвижного состава и пути во многом определяет безопасность, а также такие важнейшие технико-экономические показатели, такие, как масса поездов, скорость их движения и уровень эксплуатационных расходов. При этом требования к показателям взаимодействия колес и рельсов в разных зонах контактирования противоречивы. С одной стороны, сцепление колес с рельсами должно быть таким, чтобы обеспечивалось малое сопротивление движению поезда. С другой – для реализации требуемой силы тяги необходимо обеспечивать высокий и стабильный уровень сцепления колесных пар локомотива с той же поверхностью. Помимо этого, для предотвращения вкатывания колеса на головку рельса, снижения износа гребня колеса и боковой поверхности головки рельса, а также сопротивления движению поезда в кривых требуется максимально возможно снизить трение между гребнем колеса и боковой поверхностью головки рельса. Проблема снижения износа гребней колес подвижного состава и боковых внутренних граней головок рельсов существует достаточно давно.

В системе взаимодействия «колесо – рельс» поверхность катания колеса образует с рельсом открытую фрикционную пару трения. Сила трения приводит к потерям до 5-10 % тяговой мощности локомотива, а также к активному износу гребней колес и боковой поверхности головки рельса.

Бесспорно, что внесение антифрикционного третьего тела в контакт гребня колеса с рельсом снижает силы «паразитного» трения и повышает в несколько раз износостойкость и соответственно ресурс колес и рельсов. Отсутствие смазки приводит к резкому падению КПД механизмов и к выходу их из строя.

Основными причинами активного износа колес подвижного состава является целый ряд одновременно действующих факторов:

- перевод на колею 1520 мм при неизменном расстоянии между внутренними поверхностями бандажей колесных пар;
- разница в твердости колесной стали и объемно-закаленных рельсов;
- переход на буксы вагонов с подшипниками качения, что привело к отсутствию естественного попадания смазки от букс;
- увеличение динамических сил вписывания колесной пары в кривые участки пути за счет повышения нагрузки на ось, массы поезда и технической скорости движения поездов;
- снижение качества ремонта подвижного состава и путевой инфраструктуры;
- неоправданно частое применение машинистами прямодействующего тормоза локомотива. В этом случае заторможенные тележки с трудом вписываются в кривые, становятся в распорку между рельсами;
- увеличение участков с ограничением скорости движения по состоянию пути, а также появление более мощных локомотивов и применение кратной тяги;
- неоптимальное сочетание геометрии профилей рельса и бандажа [3].

Лубрикация, как одно из важнейших технологических мероприятий, направленных на увеличение ресурса системы «колесо – рельс» и снижение расхода энергии, играет важную роль в общей стратегии развития железнодорожного транспорта, повышении эффективности и конкурентоспособности отрасли в целом.

Мировой опыт показывает, что применение смазочных материалов является наиболее эффективным способом защиты от повышенного износа колес и рельсов. Использование современных оптимальных технологий и технических средств лубрикации системы «колесо – рельс» и соответствующих смазочных материалов способствует повышению экономии ТЭР, а также увеличению ресурсов колес и рельсов, безопасному движению подвижного состава на криволинейных участках пути, снижению уровня шумового воздействия на окружающую среду [3].

На современном этапе развития железнодорожного транспорта к технологиям и техническим средствам лубрикации контакта «колесо – рельс» предъявляются следующие требования:

- они должны быть универсальны для различных типов подвижного состава и участков пути;

– не должны иметь эксплуатационных ограничений по скорости движения базового подвижного состава при нанесении смазки в широком диапазоне температур окружающей среды;

– должны обеспечивать наличие смазочных материалов и поддержание оптимальных трибологических характеристик смазочных материалов в зоне контакта «колесо – рельс» на протяжении всего цикла взаимодействия подвижного состава и пути.

Накопленный на железных дорогах опыт показывает, что надежнее и проще наносить смазку на боковые поверхности рельсов специальным навесным оборудованием (лыжами), смонтированными на подвижном составе (локомотивах, дрезинах, вагонах). Однако помимо рельсосмазывателей широко применяется и другой путь – установка на тележках локомотивов гребнесмазывателей колесных пар.

Специфика условий эксплуатации подвижного состава, конструкция систем лубрикации определяют ряд требований к смазочным материалам:

– должны легко наноситься, не разбрызгиваться, не крошиться, не скалываться;

– обладать устойчивым состоянием при притирании колеса с боковой поверхностью головки рельса на всей длине поезда, а также при скоростях движения подвижного состава от 3 км/ч до 140 км/ч;

– обладать хорошей адгезией с поверхностями упрочнением на глубину 1-2 мм без прогрева бандажа в целом, поскольку глубокий прогрев последнего может привести к ослаблению бандажа или к его разрушению.

Кроме того, смазочный материал, нанесенный на гребень колеса, должен быть устойчив к атмосферным осадкам, стабильным по составу и состоянию при хранении и применении.

Однако можно выделить ряд недостатков технических средств лубрикации, реализующих бесконтактную схему нанесения смазочного материала, снижающие эффективность ее использования:

1. Ограничение скорости движения базового подвижного состава при лубрикации. Реализация технологического процесса рельсосмазывания главных путей может осуществляться при скорости не более 40-60 км/ч из-за воздействия ветровой нагрузки и ухудшения условий движения базового подвижного состава вследствие попадания части смазочного материала в зону реализации тягового усилия. При существующей интенсивности перевозочного про-

цесса это ограничение не позволяет современным передвигным рельсосмазывателям с автоматической подачей смазочного материала обеспечить необходимую эффективность без специальных «окон» в расписании движения даже при включении рельсосмазывателей в состав организованных поездов.

2. Низкие эксплуатационные свойства жидких, пластичных (консистентных) смазочных материалов в условиях их применения в контакте «колесо – рельс».

3. Непроизводительный расход смазочного материала за счет разброса его центробежными силами и ветровой нагрузкой и как итог – интенсивное загрязнение (замазывание) элементов пути и подвижного состава, в том числе тяговых поверхностей колес локомотивов и рельсов.

4. Жидкие смазочные материалы не эффективны в открытых узлах трения. Жидкий смазочный материал эффективно работает в тех условиях, где есть возможность образования масляного клина, т.е. в закрытых узлах трения в режимах граничного и жидкостного трения (в зубчатых передачах, подшипниках скольжения и т.д.). Создание таких режимов в открытом узле трения «колесо – рельс» исключено.

5. Зависимость физико-механических свойств жидких и пластичных смазочных материалов от температуры, деструкция состава, расслоение на компоненты, плохая проходимость пластичных смазочных материалов по системам подачи при отрицательных температурах, ограниченный срок хранения.

6. Ограниченный ресурс используемых смазочных материалов за счет низкого уровня показателя «невыдавленный объем». Низкая несущая способность (до 500 МПа) и слабая адгезия к металлу рельса смазочного материала приводят к быстрому истиранию смазочного слоя, особенно на участках со сложным профилем пути.

7. В динамике рабочее состояние жидких смазочных материалов-покрытий не успевает полноценно сформироваться. Жидкие смазочные материалы-покрытия для эффективности после нанесения на поверхность трения требуют времени на образование рабочего состояния, т.е. они должны высохнуть.

8. При одновременном использовании в качестве активизатора сцепления песка и подаче жидкого или пластичного смазочного материала, обладающего повышенными адгезионными свойствами, происходит налипание песка на поверхности трения колеса, в том числе на гре-

бень, что создает условия для возникновения абразивного износа в зоне контакта колеса с рельсом.

Экспериментальные исследования в области применения лубрикации, выполненные специалистами ВНИИЖТа, показали, что сопротивление движению поездов снижается на 20-30 % в кривых и до 10 % на прямых участках пути.

Таким образом, расчет для определения экономической эффективности лубрикации сводится к следующему. Величина средневзвешенного значения сопротивления с учетом наличия кривых участков путей определяется, как

$$\bar{w} = \alpha_{\text{пр}} \cdot w''_0 + \alpha_{\text{кр}} (w_{\text{кр}} + w''_0) \quad (1)$$

где w''_0 – действительное значение основного удельного сопротивления движению вагонов, Н/кН;

$w_{\text{кр}}$ – дополнительное удельное сопротивление движению в кривых, Н/кН;

$\alpha_{\text{пр}}$, $\alpha_{\text{кр}}$ – доля соответственно прямых и кривых участков пути на направлении.

При введении лубрикации среднее удельное сопротивление движению составит

$$w''_0^{\text{л}} = w''_0 \beta_{\text{п}}^{\text{л}} + \frac{700}{R} \beta_{\text{кр}}^{\text{л}} \alpha_{\text{кр}} \quad (2)$$

где $\beta_{\text{п}}^{\text{л}}$, $\beta_{\text{кр}}^{\text{л}}$ – коэффициент снижения сопротивления движению соответственно на прямых и кривых участках пути.

Исследования показали, что значения коэффициентов $\beta_{\text{п}}^{\text{л}}$, $\beta_{\text{кр}}^{\text{л}}$ принимается следующее $\beta_{\text{п}}^{\text{л}} = 0,80 \dots 0,85$ и $\beta_{\text{кр}}^{\text{л}} = 0,30 \dots 0,40$.

При наличии в составе поезда груженых и порожних вагонов средневзвешенное значение основного удельного сопротивления движению вагонов составит

$$w''_0 = \alpha_{\text{гр}} w''_{0(\text{гр})} + (1 - \alpha_{\text{гр}}) w''_{0(\text{пор})} \quad (3)$$

где $\alpha_{\text{гр}}$ – доля груженых вагонов в составе поезда.

Таким образом, получится

$$w''_0^{\text{л}} = \left[\alpha_{\text{гр}} w''_{0(\text{гр})} + (1 - \alpha_{\text{гр}}) w''_{0(\text{пор})} \right] \times \left[\beta_{\text{п}}^{\text{л}} + \frac{700}{R} \beta_{\text{кр}}^{\text{л}} \alpha_{\text{кр}} \right] \quad (4)$$

Удельный расход топлива тепловозом на тягу поездов составляет:

– при отсутствии лубрикации

$$e_{\text{тт}} = \frac{\left[w''_0 + \frac{700}{R} \alpha_{\text{кр}} + w_3 + \frac{P}{Q} (w'_0 + w_3) \right]}{427 Q_{\text{т}} \gamma_{\text{т}}} \cdot 10^7, \frac{\text{кг}}{10000 \text{ ткм}} \quad (5)$$

– при введении лубрикации

$$e_{\text{тт}}^{\text{л}} = \frac{\left[w''_0^{\text{л}} + w_3 + \frac{P}{Q} (w'_0 \alpha_{\text{п}}^{\text{л}} + w_3) \right]}{427 Q_{\text{т}} \gamma_{\text{т}}} \cdot 10^7, \frac{\text{кг}}{10000 \text{ ткм}} \quad (6)$$

где $Q_{\text{т}}$ – теплотворная способность дизельного топлива (10200 ккал/кг);

w_3 – эквивалентное сопротивление участка, Н/кН;

$\gamma_{\text{т}}$ – среднее значение КПД тепловоза в тяговом режиме.

Стоимость сэкономленных топливно-энергетических ресурсов, приходящаяся на один поезд составляет

$$\Delta \Pi = \Pi \cdot (e_{\text{тт}} - e_{\text{тт}}^{\text{л}}) \quad (7)$$

где Π – стоимость топливно-энергетических ресурсов, руб.

При этом годовая экономия ТЭР на тягу поездов в денежном выражении составит

$$E = 365 \cdot \Delta \Pi \cdot \bar{N} \cdot L \quad (8)$$

где \bar{N} – среднесуточное количество грузовых поездов, обращающихся на участке, поездов,

L – длина участка, км.

Расчетами было установлено, что годовая экономия ТЭР на тягу поездов при внедрении лубрикации на участке Гомель – Калинковичи составит 997 тыс. руб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энергосбережение на железнодорожном транспорте : учебник для вузов / В. А. Гапанович, В. Д. Авилов, Б. А. Аржанников [и др.] ; под ред. В. А. Гапановича. – Москва : Изд. Дом МИСиС, 2012. – 620 с.
2. Симак, Р. С. Повышение энергоэффективности ОАО «РЖД» в контексте энергетической стратегии России / Р. С. Симак // Вестник ВНИИЖТа. – 2014. – № 6. – С. 21-25.
3. Энергетическая стратегия Белорусской железной дороги до 2020 года. Ч. I: отчет о НИР в 2-ух ч. : 5255 / Белорус. гос. ун-т трансп.; рук. В. Я. Негрей; исполн. В. М. Овчинников [и др.]. – Гомель, 2009. –

504 с. – Библиогр.: С. 504. – № ГР 2008305.

4. Коссов, В. С. Лубрикация рельсов тяговым локомотивом в составе поезда / В. С. Коссов, А. А. Лунин, Ю. А. Панин, А. В. Трифонов, И. Е. Ильин // Вестник ВНИИЖТа. – 2017. – № 1. – С. 57-61.

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

Поступила в редколлегию 02.12.2017.

Принята к печати 05.12.2017.

Г. В. ЧИГРАЙ, Н. В. КІРІК

ЛУБРИКАЦІЮ – ОДИН ІЗ АСПЕКТІВ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПЕРЕВІЗНОГО ПРОЦЕСУ

Ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів є одним з найважливіших завдань, що стоять перед економікою Республіки Білорусь і забезпечує енергетичну безпеку і енергонезалежність країни. Транспортний комплекс Республіки Білорусь, в цілому, і Білоруська залізниця, зокрема, є одним з найбільших споживачів паливно-енергетичних ресурсів в країні. Взаємодія рухомого складу та колії - основоположний фізичний процес при русі вагонів, локомотивів і поїздів по залізницях. В системі взаємодії «колесо – рейка» поверхню катання колеса утворює з рейкою відкриту фрикційну пару тертя. Сила тертя призводить до втрат до 5-10% тягової потужності локомотива, а також до активного зносу гребенів коліс і бічній поверхні головки рейки. Лубрикація, як одне з найважливіших технологічних заходів, спрямованих на збільшення ресурсу системи «колесо - рейка» і зниження витрати енергії, грає важливу роль в загальній стратегії розвитку залізничного транспорту, підвищення ефективності та конкурентоспроможності галузі в цілому. У статті розглянуті питання, пов'язані із застосуванням лубрикації і розрахунком економії паливно-енергетичних ресурсів на деяких залізничних напрямках Білоруської залізниці.

Ключові слова: енергозбереження, паливно-енергетичні ресурси, лубрикація.

G. CHIGRAY, N KIRIK

LUBRICATION IS ONE OF THE ASPECTS OF REDUCING THE ENERGY OF THE TRANSPORT PROCESS

The efficient use of fuel and energy resources is one of the most important tasks facing the economy of the Republic of Belarus and ensuring energy security and energy independence of the country. The transport complex of the Republic of Belarus, in general, and the Belarusian Railways, in particular, is one of the largest consumers of fuel and energy resources in the country. The interaction of the rolling stock and the track is the fundamental physical process in the movement of cars, locomotives and trains along the railways. In the wheel-rail interaction system, the rolling surface of the wheel forms an open friction pair with the rail. The friction force leads to losses of up to 5-10% of the tractive power of the locomotive, as well as to active wear of the wheel crests and the side surface of the rail head. Lubrication, as one of the most important technological measures aimed at increasing the resource of the wheel-rail system and reducing energy consumption, plays an important role in the overall strategy for the development of rail transport, improving the efficiency and competitiveness of the industry as a whole. The article deals with issues related to the application of lubrication and calculation of fuel and energy resources savings in some railroad tracks of the Belarusian Railways.

Keywords: energy saving, fuel and energy resources, lubrication.