

ОБ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В БЕЛАРУСИ

В. М. ОВЧИННИКОВ, В. В. МАКЕЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Железнодорожный транспорт является крупным потребителем энергетических ресурсов. Оценка энергетического уровня разных видов наземного транспорта показывает, что железнодорожный транспорт является наиболее энергоэффективным. Но при этом возникают сложные научно-методические вопросы, поскольку резкопеременные нагрузки и частота вращения валов локомотивных двигателей, большая относительная продолжительность их работы на холостом ходу, небольшой коэффициент использования установленной мощности локомотива и ограниченные возможности при выборе энергетического оборудования обуславливают свои особенности в методах решения.

Принципиально рассмотрены два основных вида локомотивов: электровозы и тепловозы.

Электрическая тяга является прогрессивным видом тяги на железных дорогах. Источником централизованного энергоснабжения электровозов служит энергосистема Беларуси, объединяющая тепловые, гидростанции и атомную электростанцию. Для обеспечения экономической эффективности электрической тяги большое значение имеет снижение расхода электрической энергии на единицу перевозочной работы и стоимости ее, так как известно, что значительная доля себестоимости перевозок приходится на стоимость электроэнергии.

Для оценки энергетической эффективности электрической тяги применяют два показателя: КПД электрической тяги и удельный расход энергии, отнесенный к единице перевозочной работы (принято 10^4 ткм брутто).

КПД электрической тяги можно определить из выражения

$$\eta_{эв} = \eta_{эл} \eta_{пер} \eta_c^H,$$

где $\eta_{эл}$ – КПД электровоза (нетто) на ободу движущихся колес, учитывающий потери в контактной сети и на тяговых подстанциях; $\eta_{пер}$ – КПД передачи электроэнергии; η_c^H – КПД электростанции нетто при выработке электроэнергии.

Значение коэффициента $\eta_{эл}$ определяется следующей зависимостью:

$$\eta_{эл} = \eta_э \eta_{кc} \eta_T,$$

где $\eta_э$ – КПД электровоза; $\eta_{кc}$ – КПД контактной сети; η_T – КПД линии электропередачи от шин электростанции до места присоединения электрофицированного участка.

Коэффициент, учитывающий потери энергии при выработке на электростанции с учетом собственных нужд, можно определить по формуле:

$$\eta_c^H = \eta_c \eta_{с.н},$$

где η_c – КПД электростанции без учета затрат энергии на собственные нужды; $\eta_{с.н}$ – коэффициент, учитывающий затраты мощности на собственные нужды.

Процесс передачи и распределения электрической энергии неразрывно связан с процессом производстве. Совершенство этого процесса влияет на экономичность электрической тяги. КПД линии передачи электроэнергии обычно принимается как средняя величина независимо от расстояния без учета распределения потерь в отдельных звеньях энергосистемы.

Применение вышеприведенных формул затруднено и возможно только для номинального режима локомотива, который составляет 3–5 % времени магистрального локомотива. Главным образом локомотив в эксплуатации работает на частичных нагрузках и в холостом режиме. Это специфика работы локомотива. В каждом конкретном случае с учетом местных условий можно оценить эффективность электрической тяги. При этом следует отметить, что повышение ее, естественно, связано с совершенствованием энергетического хозяйства страны.

Современный энергетический уровень электрической тяги на расчетном режиме оценивается величиной КПД $\eta_{эв}$, равной 0,32–0,33. На железнодорожном транспорте практически удобен и принят как нормативный показатель удельный расход электроэнергии электровозом. При этом в качестве единицы работы принята величина 104 ткм брутто, поскольку учитывается масса вагона. Исследования Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТ), выполненные на Белорусской железной дороге в период 2020–2021 годы, показали, что удельный расход электроэнергии в среднем составил:

- в грузовом движении 90 кВт·ч/104 ткм брутто;
- пассажирском движении 177,5 кВт·ч/104 ткм брутто;
- пригородном движении 244 кВт·ч/104 ткм брутто.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что наиболее энергоэффективные перевозки на электрифицированных участках железной дороги являются перевозки в грузовом движении, которые на осуществление работы 104 ткм брутто затрачивают почти в 2 раза меньше электроэнергии по сравнению с пассажирским движением и на 170 % меньше, чем в пригородном движении. Полученные результаты энергоемкости перевозок хорошо согласуются с теорией локомотивной тяги, учитывая массу поезда, скорость движения, число остановок и др.

Основное термодинамическое преимущество ДВС, как известно, перед другими тепловыми двигателями состоит в высоком уровне температур в процессе подвода теплоты. Кроме того, тепловозный дизель обладает преимуществом работы поршневого ДВС на частичных, нерасчетных режимах. Эффективный КПД современного тепловозного дизеля на расчетном, номинальном режиме достиг 42 %, а расход топлива на холостом ходу (собственно дизеля) при минимально-устойчивой частоте вращения вала составляет примерно от 3 до 8 %.

Для оценки энергетической эффективности тепловозной тяги, как и для электрической тяги, пользуются коэффициентом полезного действия и удельным расходом топлива (на измеритель 10^4 ткм брутто).

КПД тепловозной тяги – это отношение полезной работы тепловоза, отнесенной к ободу колеса, к теплу, подведенному с топливом.

Значение КПД тепловозной тяги можно выразить в виде произведения составляющих КПД:

$$\eta_{тв} = \eta_{\epsilon} \eta_{п} \eta_{с.н} \eta_{в.н},$$

где η_{ϵ} – эффективный КПД тепловозного дизеля; $\eta_{п}$ – КПД передачи тепловоза (применяется в основном электрическая передача, но может быть и гидравлическая); $\eta_{с.н}$ – коэффициент, учитывающий затраты мощности на собственные нужды; $\eta_{в.н}$ – коэффициент, учитывающий расход мощности на привод вспомогательных устройств тепловоза.

При высоком значении КПД современного дизеля тепловоза энергетический уровень тепловозной тяги оценивается величиной $\eta_{тв}$, равной 0,33–0,34.

Удельный расход топлива тепловозом, отнесенный к измерителю 104 ткм брутто, является показателем тепловой (энергетической) экономичности локомотива. Используя его, можно сравнивать по экономичности различные виды автономной тяги.

Исследования Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТ), выполненные на Белорусской железной дороге в период 2020–2021 годы, показали следующие результаты потребления дизельного топлива на тягу поездов тепловозами: удельный расход дизельного топлива по видам движения в среднем составил:

- в грузовом движении 20 кг/104 ткм брутто;
- пассажирском движении 48 кг/104 ткм брутто;
- пригородном движении 48,4 кг/104 ткм брутто.

Анализ приведенных данных показывает, что наиболее эффективное потребление дизельного топлива приходится на тепловозы, осуществляющие грузовые перевозки. Использование тепловозной тяги как в пассажирском, так и в пригородном движении гораздо менее эффективно, примерно в 2,4 раза.

Сравнивая КПД тепловозной тяги со значением КПД электрической тяги, необходимо отметить, что по расчетному энергетическому уровню генерации отпускаемой энергии, отнесенной к шинам

электростанции для электрической тяги и дизельно для тепловозной тяги, и с учетом КПД использования этой энергии локомотивами, оба названных вида тяги почти идентичны. Действительно, для тепловозной тяги при расчетных условиях имеем $\eta_{тв}$, равной 0,33–0,34. Для электрической тяги при расчетных условиях КПД составит $\eta_{эв}$, равной 0,32–0,33. При этом потенциальные возможности цикла электростанций, входящих в энергосеть, обеспечивают дальнейший рост КПД электрической тяги, в то время как такие возможности у тепловозного дизеля ограничены.

Сопоставление дизельных затрат при осуществлении электрической и тепловозной тяги на Белорусской железной дороге свидетельствует совершенно о других результатах. Рассмотрим энергопотребление в грузовом движении, как требующее наибольших затрат энергии на тягу поездов, которое составляет для электрической тяги на Белорусской железной дороге около 70 %, а для тепловозной – около 65 %.

Удельный расход электроэнергии при грузовом движении электровозов в 2020–2021 г. г. составил 90 кВт ч/10⁴ ткм брутто. Тариф для Белорусской железной дороги составляет 0,3854 рубля за 1 кВтч. Следовательно, стоимость удельного расхода электроэнергии в наиболее энергозатратном грузовом движении 34,69 рубля.

Удельный расход дизельного топлива в грузовом движении тепловозов в 2020–2021 гг. составил 20 кг/10⁴ ткм брутто. При тарифе 2736,32 рубля за 1 тонну стоимость удельного расхода составит 54,73 рубля. В результате получаем, что удельный расход энергии в грузовом движении при электрификации дешевле на 36,6 %, чем на тепловозной тяге.

Полученный результат можно объяснить тем, что электростанции в качестве топлива используют главным образом природный газ, стоимость которого для Минэнерго Беларуси 413,14 рубля за 1000 м³ (постановление Министерства антимонопольного регулирования и торговли от 29.07.2022 № 49) или 590,2 рубля за 1 тонну при плотности газа 0,7 кг/м³ (при более высокой теплоте сгорания 47,857 МДж/кг против 42,5 МДж/кг дизельного топлива). Сравнивая стоимости 1 т дизельного топлива и природного газа, можно заключить, что последний значительно дешевле.

Однако здесь не учтено дополнительное обустройство железной дороги при электрификации, которое весьма дорого и составляет на практике один миллион долларов США на один километр железнодорожного пути. В результате срок окупаемости электрификации Белорусской железной дороги, несмотря на ее выгодность, становится большим.

В складывающейся экономической ситуации необходимо активизировать работу по повышению энергетической эффективности, предусматривающую жесткую экономию ТЭР, снижение затрат на единицу производимой продукции. Это обусловило необходимость разработки стратегий повышения энергоэффективности Белорусской железной дороги до 2030 года на основе инновационных средств и технологий, а также использования потенциала повышения энергетической эффективности технологических процессов железнодорожного транспорта.

В настоящее время наиболее перспективными направлениями по повышению энергетической эффективности в тяге железнодорожных поездов являются:

- модульный принцип построения локомотивов с системой распределенной тяги;
- адаптация локомотивов к изменяющимся условиям работы за счет дооборудования эксплуатируемых серий дополнительными системами и устройствами;
- повышение коэффициента полезного действия локомотивов во всем диапазоне мощности;
- ремоторизация и использование на тепловозах и дизель-поездах двигателей с улучшенными технико-экономическими характеристиками;
- снижение сопротивления движению за счет улучшения характеристик подвижного состава и состояния пути;
- снижение неподрессоренных масс и улучшение ходовых характеристик при прохождении кривых участков пути;
- повышение эффективности применения рекуперативного торможения и использования энергии рекуперации;
- оптимизация режимов ведения поезда, в основе которых заложен принцип минимума потребляемой энергии при выполнении графика движения и ограничения величин продольных динамических сил в составе поезда;

- внедрение систем автоведения с регистраторами параметров движения;
- использование бортовых систем диагностики для предотвращения критических ошибок локомотивных бригад и сокращения времени простоя локомотивов на ремонте;
- развитие автоматизированных систем регистрации и анализа параметров работы и учета электрической энергии и дизельного топлива;
- создание программно-аппаратного комплекса оперативного контроля энергетической эффективности использования тягового подвижного состава с техническим прогнозированием расхода энергоресурсов и выдачей рекомендаций по снижению энергоемкости по каждой поездке;
- внедрение автоматизированных систем прогрева маневровых и магистральных тепловозов.

УДК 62-784.4:656.3.073.473-492

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОРТОВЫХ ОТКРЫТЫХ СКЛАДОВ С СЫПУЧИМИ ГРУЗАМИ

Н. С. ОТДЕЛКИН, Д. Н. КОСТЮНИЧЕВ

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Около 70 % объема перевозимых водным транспортом грузов составляют сыпучие грузы. Ряд сыпучих грузов перевозят навалом и хранят в морских и речных портах на открытых складах. При этом, накопительные и оперативные открытые склады с такими грузами как апатит, нефелиновый и железорудный концентраты, цемент, угли различных марок, песок, комовая сера оказывают существенное отрицательное воздействие на окружающую среду за счет пылеуноса мелких фракций сыпучих грузов ветровыми потоками.

Решению проблемы борьбы с пылеуносом при хранении сыпучих грузов посвящено большое количество работ. В практике борьбы с пылеуносом сыпучих грузов с открытых складов применяют следующие основные способы закрепления пылящих поверхностей: механический, гидрообеспыливание и химический.

Механический способ заключается в простом укрытии пылящей поверхности материалом, который предотвращает ее ветровое возмущение. К таким материалам относятся щебень, почва, дробленый или гранулированный шлак, кора, древесные опилки [1]. Необходимо отметить, что применение механического способа борьбы с пылеуносом для портовых открытых складов невозможно из-за перемешивания укрывающего материала с хранящимся на складе грузом, что приведет к ухудшению его потребительских свойств.

Гидрообеспыливание открытых складов с сыпучими грузами заключается в предварительном увлажнении верхнего слоя груза. Причем по мере испарения воды и высыхания увлажненного слоя груза процедуру увлажнения необходимо повторять. При обеспыливании данным способом необходимо учитывать способность груза смачиваться водой.

Так, практика смачивания водой поверхностей штабелей открытых складов руды Михайловского комбината показала, что железная руда, особенно с влажностью 3 % и содержанием более 30 % частичек размером менее 250 мкм, обладает гидрофобными свойствами. При орошении большая часть распыленной воды скатывается по поверхности штабелей к его основанию [2].

Для повышения эффективности гидрообеспыливания гидрофобных сыпучих грузов к воде добавляют поверхностно-активные вещества (ПАВ), улучшающие смачивание частиц пыли груза.

При химическом способе закрепления осуществляют обработку пылящей поверхности открытого склада вяжущими составами с получением или монолитного покрытия, или оструктурируя пылящие поверхности. Для этих целей применяют водные высококонцентрированные растворы гигроскопических солей, битумы и их эмульсии, сырую нефть, органические пылесвязывающие покрытия.

Применение водных высококонцентрированных растворов гигроскопических солей (хлористый кальций, гидроокиси кальция и др.), а также использование их в твердом виде, основано на том, что они в периоды повышенной относительной влажности воздуха (особенно в ночные часы) адсорби-