

УДК 658.5.011

МЕТОДОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

© 2020 А. А. Комяков

Омский государственный университет путей сообщения

Статья поступила в редакцию 24.03.2020

В статье представлены основные положения методологии организации ресурсосберегающих производственных систем на железнодорожном транспорте. Приведено описание существующих подходов к организации процесса управления эффективным использованием ТЭР в ОАО «РЖД», выполнен анализ их соответствия международному стандарту ISO 50001 – «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению», проанализированы преимущества и недостатки действующих методов. Сформулированы основные принципы предлагаемой методологии и представлены шесть этапов ее реализации, в том числе исследование факторов, влияющих на использование ТЭР при организации ресурсосберегающих производственных систем; исследование математических моделей использования ТЭР в производственных процессах на железнодорожном транспорте; обеспечение эффективного нормирования и прогнозирования расхода ТЭР и заданий по экономии ТЭР; разработка научных и методологических принципов оценки эффективности мероприятий по организации ресурсосберегающих производственных систем железнодорожного транспорта; разработка научных основ стратегии развития железнодорожного транспорта как ресурсосберегающей производственной системы; разработка усовершенствованных методов и средств мониторинга использования ТЭР в производственных процессах. Выполнена апробация предлагаемых решений на действующих объектах железнодорожного транспорта, по результатам которой установлено, что реализация предлагаемой методологии позволяет повысить эффективность функционирования и качество организации ресурсосберегающих производственных систем на железнодорожном транспорте. В частности, применение методов машинного обучения позволяет повысить точность математических моделей использования ТЭР до 1,8 раза для принятых к рассмотрению производственных процессов, результирующее расхождение результатов прогнозирования расхода ТЭР с экспериментальными данными не превышает 5 %, а предлагаемые запатентованные технические и программные решения могут быть использованы для мониторинга использования ТЭР, режимов работы электрооборудования и показателей энергоэффективности производственных процессов. На основе полученных результатов разработан ряд нормативных документов ОАО «РЖД», которые внедрены на сети железных дорог и используются при организации ресурсосберегающих производственных систем на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, энергосбережение, ресурсосберегающие производственные системы, прогнозирование, мониторинг, энергопотребление, организация производства.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-2-16-24

1. ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный транспорт является крупнейшим потребителем энергоресурсов в РФ. Так, потребление электрической энергии в ОАО «РЖД» составляет около 4,8 % от объема выработки в России, дизельного топлива – 3,4 % от объема производства в России, мазута – 0,5 % от объема производства в России, угля – 0,5 % от объема потребления в России, природного газа – 0,1 % от объема потребления в России.

За период с 2003 по 2018 гг. затраты на приобретение топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в ОАО «РЖД» выросли в 4,4 раза. Коэффи-

Комяков Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая электротехника», руководитель учебно-методического центра по энергосбережению и повышению энергоэффективности. E-mail: tskom@mail.ru

циент инфляции в России за указанный период составил 3,8, таким образом, расходы на закупку ТЭР в ОАО «РЖД» растут темпами, опережающими официальную инфляцию, что связано в основном с ежегодным увеличением стоимости ТЭР. Эксплуатационный грузооборот за рассматриваемый период вырос на 48 % до 2596,9 млрд т·км, а пассажирооборот снизился до 129,4 млрд пасс·км. Таким образом, в сопоставимых условиях доля затрат на ТЭР в общих эксплуатационных расходах компании растет и составляет около 19 %. Опережающий рост затрат на ТЭР позволяет сказать, что деятельность по энергосбережению на железнодорожном транспорте является чрезвычайно актуальной, что также подтверждается работами ведущих ученых транспортной отрасли [1–14].

В настоящее время подходы к организации ресурсосберегающих производственных

систем в ОАО «РЖД» в основном соответствует стандарту ISO 50001 – «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению». Согласно циклу PDCA [15], [16] предусматриваются следующие аспекты действующей системы управления использованием ТЭР:

- Plan: планирование расхода и заданий по экономии ТЭР; формирование планов энергосберегающих организационных и технических мероприятий (ОТМ), в том числе за счет инвестиционных проектов, с учетом технико-экономических обоснований (ТЭО).

- Do: реализация ОТМ по экономии ТЭР.

- Check: контроль достижения целевых показателей по расходу и экономии ТЭР; контроль реализации внедряемых энергосберегающих ОТМ и оценка фактически достигнутого эффекта от их применения.

- Act: корректировка заданий по расходу и экономии ТЭР; корректировка плана ОТМ; разработка управляющих воздействий по снижению нерационального расхода ТЭР.

В сложившейся системе можно отметить ряд недостатков, в том числе следующие:

1. Планирование расхода ТЭР осуществляется в основном методом «от достигнутого уровня», а планирование заданий по экономии ТЭР – на уровне Центрального аппарата ОАО «РЖД» эвристическим методом, что практически не позволяет учесть влияние на расход энергоресурсов климатических показателей (например, температуры воздуха) и производственных характеристик.

2. При планировании расхода ТЭР, особенно в неперевозочных видах деятельности, практически не используются современные хорошо зарекомендовавшие себя статистические методы.

3. Значительная погрешность планирования ТЭР, в ряде случаев превышающая 15 %.

4. Отсутствие единой нормативной базы по расчету фактической экономии ТЭР от реализации ОТМ.

5. Недостаточная эффективность существующих методов оценки фактической энергетической эффективности ОТМ

6. Неэффективное использование существующих автоматизированных систем учета ТЭР.

7. Недостаточная эффективность существующих методов и технических средств для мониторинга и управления показателями энергетической эффективности производственных процессов на уровне линейных структурных подразделений (СП).

Таким образом, задача совершенствования методологии организации ресурсосберегающих производственных систем продолжает оставаться актуальной. Под термином «методология» в соответствии с [17] понимаются принципы и способы организации теоретической и прак-

тической деятельности в области повышения энергоэффективности железнодорожного транспорта. С учетом изложенного **цель настоящей работы** заключается в разработке и совершенствовании научных и методологических принципов организации ресурсосберегающих производственных систем на железнодорожном транспорте путем создания и применения методов и средств мониторинга, технологических и технических решений.

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИИ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Предлагаемая методология основана на следующих основных принципах:

1. Переход от методов управления процессом использования ТЭР от достигнутого уровня энергопотребления к методам, предполагающим разработку и применение математических моделей процесса энергопотребления, на следующих этапах:

- прогнозирование расхода ТЭР;

- оценка фактической эффективности ресурсосберегающих решений;

- разработка методов и средств мониторинга использования ТЭР в производственных процессах на железнодорожном транспорте;

- планирование заданий по экономии ТЭР.

2. Совершенствование организационной структуры управления процессами использования топливно-энергетических ресурсов на железнодорожном транспорте в части делегирования полномочий по разработке проектов заданий по экономии энергоресурсов с уровня Центрального аппарата на уровень филиалов и линейных СП.

Реализация методологии предполагает выполнение шести основных этапов.

На **первом этапе** выполняется исследование факторов, влияющих на использование ТЭР при организации ресурсосберегающих производственных систем, для перевозочного процесса и неперевозочных видов производственной деятельности.

Для перевозочного процесса с учетом специфики решаемой задачи использована известная классификация влияющих факторов с разделением на две группы: условно-постоянные и переменные факторы [18].

Для неперевозочных видов производственной деятельности уточнена классификация влияющих факторов, которые можно разделить на три группы (рис. 1). По результатам анализа факторов к дальнейшему рассмотрению приняты объем производственной деятельности, измеритель которого принимался в соответствии со спецификой хозяйственной деятельности СП

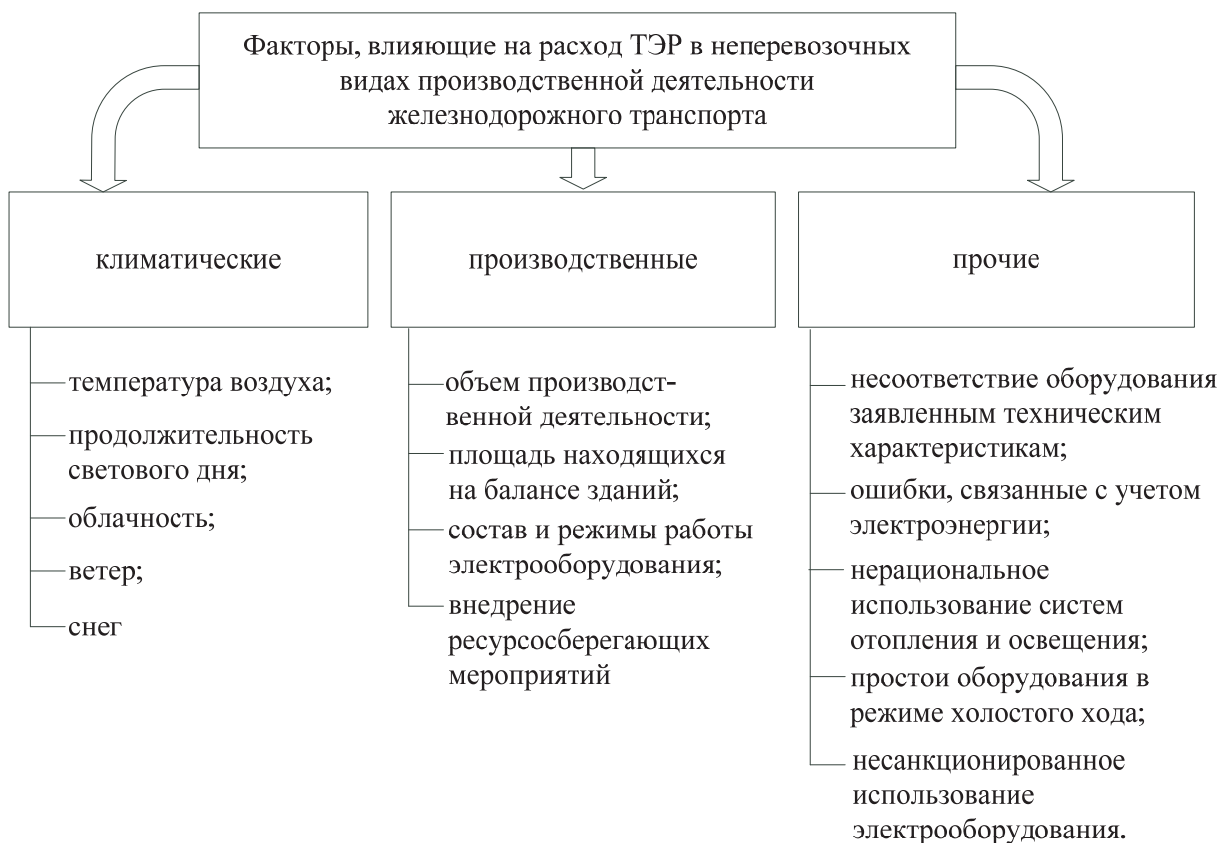


Рис. 1. Факторы, влияющие на потребление ТЭР в неперевозочных видах производственной деятельности

и климатические факторы. В [19] показано, что учет факторов, связанных с составом и режимами работы электрооборудования и внедрением ресурсосберегающих мероприятий возможен за счет определения приведенной мощности электрооборудования за соответствующие периоды времени. Однако опыт практической эксплуатации таких методологических решений показывает, что влияние данного фактора на показатели энергоэффективности оценить достаточно сложно, в первую очередь из-за его малой дисперсии (например, для отдельных производственных процессов он может не изменяться за весь период наблюдений). Поэтому в дальнейшем предлагается не включать эти факторы в математическую модель, а учитывать отдельно.

Результаты корреляционного анализа показывают, что для всех рассмотренных производственных процессов наблюдается существенная мультиколлинеарность между различными факторами (например, масса состава и средняя нагрузка на ось вагона, участковая и техническая скорость, климатические факторы).

Это обуславливает необходимость проведения дополнительных исследований по исключению мультиколлинеарности и отбору факторов для формирования конкретных математических моделей.

С этой целью предложена методология отбора факторов, влияющих на расход ТЭР в производственных процессах железнодорожного

транспорта, представленная в виде алгоритма (рис. 2). Указанная методология применена при разработке математических моделей использования ТЭР в производственных процессах железнодорожного транспорта.

По результатам выполненного анализа при отборе влияющих факторов для перевозочного процесса рекомендовано использовать метод «последовательный с исключением», а для неперевозочных видов деятельности – «последовательный с включением», «последовательный с исключением» и метод главных компонент.

На **втором этапе** выполняется исследование математических моделей использования ТЭР в производственных процессах на железнодорожном транспорте.

Пусть имеется выборка $A = \{(X_i, W_i)\}_{i=1}^n$ ($A \subset \mathcal{X} \times \mathbb{R}$, \mathcal{X} – пространство входных значений). Задача состоит в нахождении функции F , наилучшим образом описывающей зависимость между расходом электроэнергии и влияющими факторами:

$$W = f(x_1, x_2 \dots x_m). \quad (1)$$

Как показано в [20], при формировании математических моделей «...исходная выборка разделяется случайным образом на обучающую и тестовую в соотношении 80 % / 20 %, причем к рассмотрению принимаются факторы, отобранные с применением алгоритма на рис. 2, а точ-

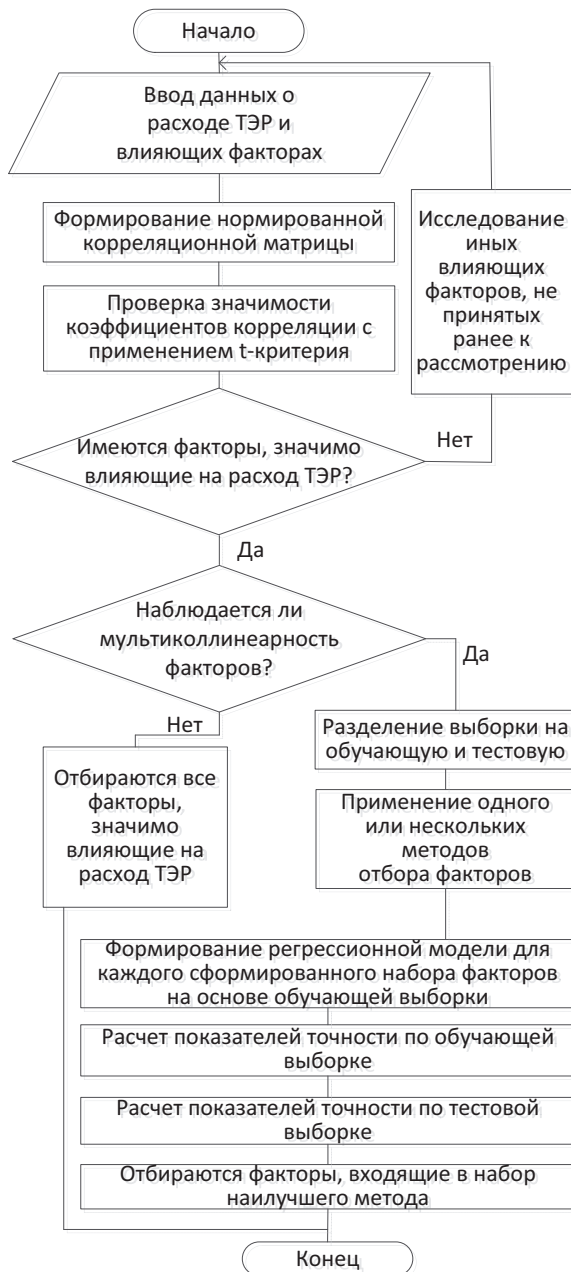


Рис. 2. Алгоритм отбора факторов, влияющих на расход ТЭР в производственных процессах на железнодорожном транспорте

ность моделей оценивается за счет учета следующих показателей: по данным обучающей выборки – коэффициенты корреляции и детерминации, а по данным тестовой выборки – средняя относительная погрешность, средняя квадратическая погрешность, коэффициент вариации...».

В [20] установлено, что «...показатели точности математических моделей, построенных на основе регрессионного анализа, сравнительно невысоки: средняя относительная погрешность для принятых к рассмотрению объектов в большинстве случаев превышает 10 %, а в ряде случаев – 15 %, а коэффициенты вариации превышают 0,15...». В связи с этим для моделирования предполагается применять методы машин-

ного обучения: искусственные нейронные сети (ИНС), нечеткие нейронные сети (ННС) и метод опорных векторов (SVM).

Третий этап предусматривает использование полученных ранее математических моделей для решения одной из важнейших задач в области организации ресурсосберегающих производственных систем: обеспечение эффективного нормирования и прогнозирования расхода ТЭР и заданий по экономии ТЭР для СП и филиалов ОАО «РЖД» на основе применения новых информационных технологий. Разработан алгоритм процесса нормирования и прогнозирования расхода ТЭР на железнодорожном транспорте, который включает в себя четыре основных этапа:

1. Прогнозирование расхода ТЭР на уровне СП $W_{\text{план.СП}}$ и согласование его на уровне филиалов, Дорожных топливно-энергетических центров (НТЭЦ) и Департамента экономики (ЦЭУ). Для решения указанной задачи разработана методика на основе ИНС, основные положения которой изложены в [21]. По результатам длительной эксплуатации методики предложены усовершенствованные решения в части определения изменения состава и режимов работы энергопотребляющего оборудования отдельно от математической модели за счет учета его номинальной мощности и коэффициентов использования нагрузки и установленной мощности.

2. Формирование перечня технических и технологических решений по экономии ТЭР на уровне Департамента технической политики (ЦТех) и филиалов и оценка ожидаемого снижения расхода ТЭР Δ^{III} за счет реализации этих мероприятий в рамках инвестиционных проектов.

3. Определение обоснованного потенциала экономии ТЭР за счет реализации организационных решений на уровне СП и филиалов Δ^{OM} и согласование результатов на уровне ЦЭУ и НТЭЦ. В отличие от ранее существовавшего порядка, предусматривающего оценку данной составляющей на уровне Центрального аппарата экспертными методами, предлагается делегировать эти полномочия на уровень СП и филиалов и выполнять расчет этих показателей методами аппроксимации временных рядов с учетом результатов энергетического обследования. Для решения указанной задачи разработан «Порядок формирования заданий филиалам ОАО «РЖД» по экономии топливно-энергетических ресурсов на нетяговые нужды», утвержденный распоряжением ОАО «РЖД» № 2754р от 24.12.2018 г.

4. Утверждение целевых показателей по расходу ТЭР и заданий по экономии ТЭР на уровне Правления ОАО «РЖД».

Четвертый этап предполагает разработку научных и методологических принципов

оценки эффективности организационных, технических и технологических решений, используемых при организации ресурсосберегающих производственных систем железнодорожного транспорта.

Разработанный алгоритм оценки энергетической эффективности ресурсосберегающих мероприятий, внедряемых в производственных процессах на железнодорожном транспорте, позволяет в зависимости от типа мероприятия согласно предложенной классификации использовать различные методы оценки фактически достигнутого эффекта. Наиболее универсальным является метод, основанный на статистическом анализе выборок расхода ТЭР и соответствующих ему значений влияющих факторов, с последующей оценкой статистической значимости достигнутой в производственных процессах экономии энергоресурсов с учетом законов распределения выборок энергопотребления.

Пятый этап предусматривает разработку научных основ стратегии развития железнодорожного транспорта как ресурсосберегающей производственной системы за счет комплексной систематизации, анализа, прогнозирования и верификации ключевых показателей эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в производственных процессах. Предложено формирование системы ключевых показателей эффективности (КПЭ) холдинга «РЖД» для трех сценариев (консервативный, базовый, оптимистичный) по шести основным направлениям развития холдинга: повышение энергоэффективности перевозочного процесса; развитие комплекса тепловодоснабжения и водоотведения; развитие электросетевого комплекса; развитие инфраструктурного комплекса, зданий и сооружений, нетяговой энергетики; развитие энергохозяйства дочерних и зависимых обществ; общее направление развития холдинга. Прогнозирование значений КПЭ₁, КПЭ₂, КПЭ₁₉ – КПЭ₂₄ выполнено с применением предложенных на первом и втором этапах математических моделей, с учетом положений, изложенных в [22].

Далее представлен порядок расчета прогнозных значений ключевых показателей на примере КПЭ₁ «Удельный расход электрической энергии (УРЭ) на тягу поездов, кВт·ч/10⁴ т·км брутто» на период до 2030 года.

На основе имеющейся информации о прогнозных значениях грузооборота и пассажирооборота для базового, консервативного и оптимистичного сценария разработана регрессионная модель (коэффициент корреляции 0,98), позволяющая определить плановое значение перевозочной работы на электротяге:

$$A_{эл} = -441768 + 1611 \sum PL_{прив}, \quad (2)$$

где $\sum PL_{прив}$ – приведенная работа ОАО «РЖД», определяемая как сумма грузооборота и приведенного пассажирооборота:

$$\sum PL_{прив} = \sum PL + K \sum AL, \quad (3)$$

где K – коэффициент приведения пассажиро-км к тонно-км.

Затем из 17 принятых к рассмотрению влияющих факторов были отобраны факторы, оказывающие наибольшее влияние на удельные энергозатраты на тягу поездов и подлежащие прогнозу на долгосрочный период. К их числу относятся: объем перевозочной работы на электротяге; эксплуатационная длина электрифицированных линий; средний вес поезда; среднесуточная производительность локомотива; средняя участковая скорость; доля грузооборота в общей приведенной работе.

Для прогнозирования удельного расхода электроэнергии на тягу поездов на период до 2030 года использованы плановые значения объема перевозочной работы, рассчитанной по формуле (2), а также иных принятых к рассмотрению факторов в соответствии с основными стратегическими документами в области железнодорожного транспорта. В результате получены прогнозные значения УРЭ на тягу поездов. Аналогичный метод прогнозирования применен и для КПЭ₂, КПЭ₁₉ – КПЭ₂₄.

На **шестом этапе** методологии предполагается разработка усовершенствованных методов и средств мониторинга использования ТЭР в производственных процессах на железнодорожном транспорте.

Разработана схема автоматизированной системы контроля и управления электропотреблением в производственных процессах на железнодорожном транспорте [23], отличительной особенностью которой является наличие блока, учитывающего влияние времени наработки энергопотребляющего оборудования на показатели энергетической эффективности.

Программная и аппаратная часть данной системы реализованы в виде опытного образца, апробация которого осуществлялась в ходе энергетического обследования действующих предприятий железнодорожного транспорта (сервисное локомотивное депо Московка и пункт технического обслуживания локомотивов Иртышское, которые находятся в регионе Западно-Сибирской железной дороги).

3. АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки возможности применения методов машинного обучения для моделирования энергопотребления производственных процессов были выбраны следующие СП железно-

дорожного транспорта (здесь и далее в скобках приведены принятые на железнодорожном транспорте краткие «телеграфные» обозначения соответствующих предприятий): в перевозочном процессе – локомотивные эксплуатационные депо (ТЧЭ) Карасук и Барабинск, моторвагонное депо (ТЧприг) Омск; в неперевозочных видах деятельности – сервисное локомотивное депо (СЛД) Аркаим, дистанция сигнализации, централизации и блокировки (ШЧ) Брянск-Льговский, дистанция погрузочно-разгрузочных работ (МЧ) Апатиты.

Из полученных результатов видно, что методы машинного обучения показывают существенно лучшие результаты, чем множественная регрессия. Особенно значительное повышение

точности наблюдается для неперевозочных видов деятельности (отношение средних относительных погрешностей регрессионной модели и наилучшей из остальных моделей $MAPE_{\text{регресс}} / MAPE_{\text{наилучш}}$ для различных объектов находится в пределах 1,29 – 1,92, рис. 3).

Для оценки качества полученных моделей выполнен анализ закона распределения остатков [24]. Результаты приведены на примере модели ННС для ТЧЭ Барабинск (рис. 4). Аналогичные исследования выполнены для других принятых к рассмотрению объектов железнодорожного транспорта. Как видно из представленных результатов, остатки распределены по нормальному закону (расчетное значение критерия Пирсона 4,22, критическое значение 14,07

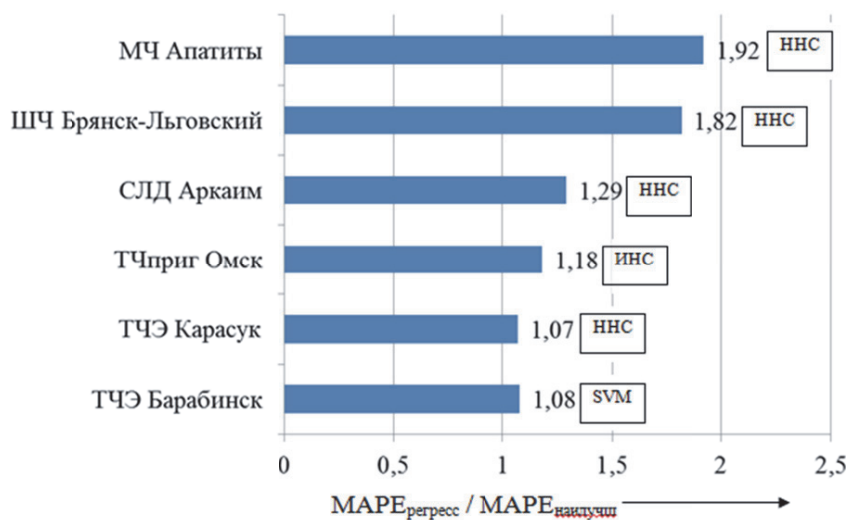


Рис. 3. Оценка увеличения точности в результате применения моделей на основе искусственного интеллекта в сравнении с множественной регрессией

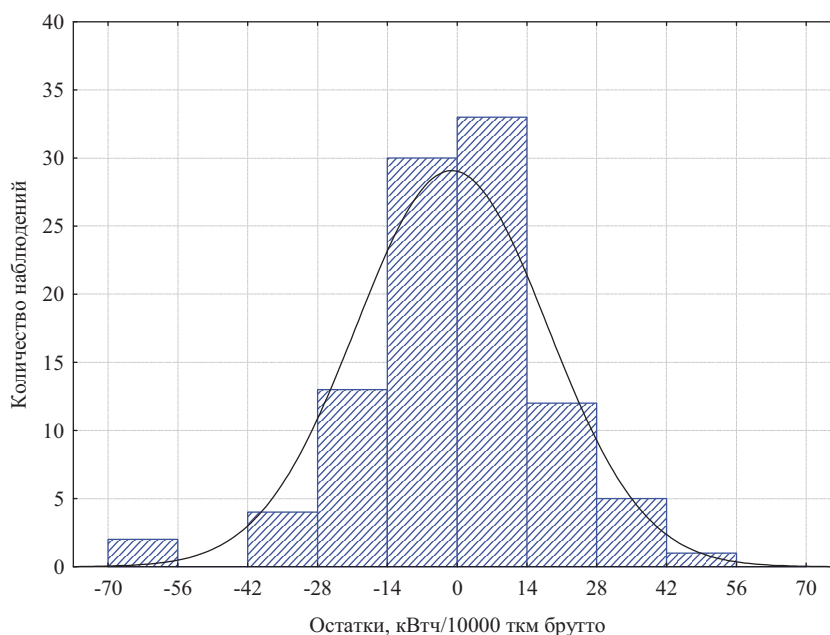


Рис. 4. Анализ закона распределения остатков модели для ТЧЭ Барабинск

для доверительной вероятности 0,95). Математическое ожидание оказалось близким к нулю и составило $-1,05$ кВт·ч/104 т·км бр. Таким образом, можно сделать вывод, что остатки модели носят случайный характер, а систематические погрешности отсутствуют, что говорит о достаточно высоком качестве модели.

Для оценки эффективности предлагаемых методов нормирования и прогнозирования расхода ТЭР и заданий по экономии ТЭР для СП и филиалов ОАО «РЖД» технологий выполнена их апробация, результаты которой на примере объектов Свердловской и Западно-Сибирской железных дорог [25], показывают, что результирующее расхождение результатов теоретических исследований с экспериментальными данными не превышает 2 %.

На основании предложенных методов оценки энергетической эффективности внедряемых мероприятий Омским государственным университетом путей сообщения по заданию ОАО «РЖД» разработана «Унифицированная методика по расчету экономии топливно-энергетических ресурсов от реализации мероприятий программ энергосбережения и повышения энергетической эффективности структурных подразделений ОАО «РЖД», которая утверждена распоряжением № ЦТех-45 от 28.06.2019 г. и введена в действие на сети железных дорог.

Выполнена верификация основных производственных показателей и связанных с ними ключевых показателей энергоэффективности ОАО «РЖД», спрогнозированных с применением предлагаемой методологии, по итогам 2016 – 2018 гг., результаты которой показывают, что расхождение «права расхода» к факту для УРЭ на тягу поездов не превысило 0,28 % (рис. 5).

Результаты апробации предложенных методов и средств мониторинга использования ТЭР в производственных процессах в ходе энергетического обследования доказали возможность использования предлагаемых запатентованных технических решений и программного комплекса для мониторинга использования ТЭР, режимов работы электрооборудования и показателей энергоэффективности производственных процессов [26].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований разработаны и усовершенствованы научные и методологические принципы организации ресурсосберегающих производственных систем на железнодорожном транспорте путем создания и применения методов и средств мониторинга, технологических и технических решений с использованием новых информационных технологий.

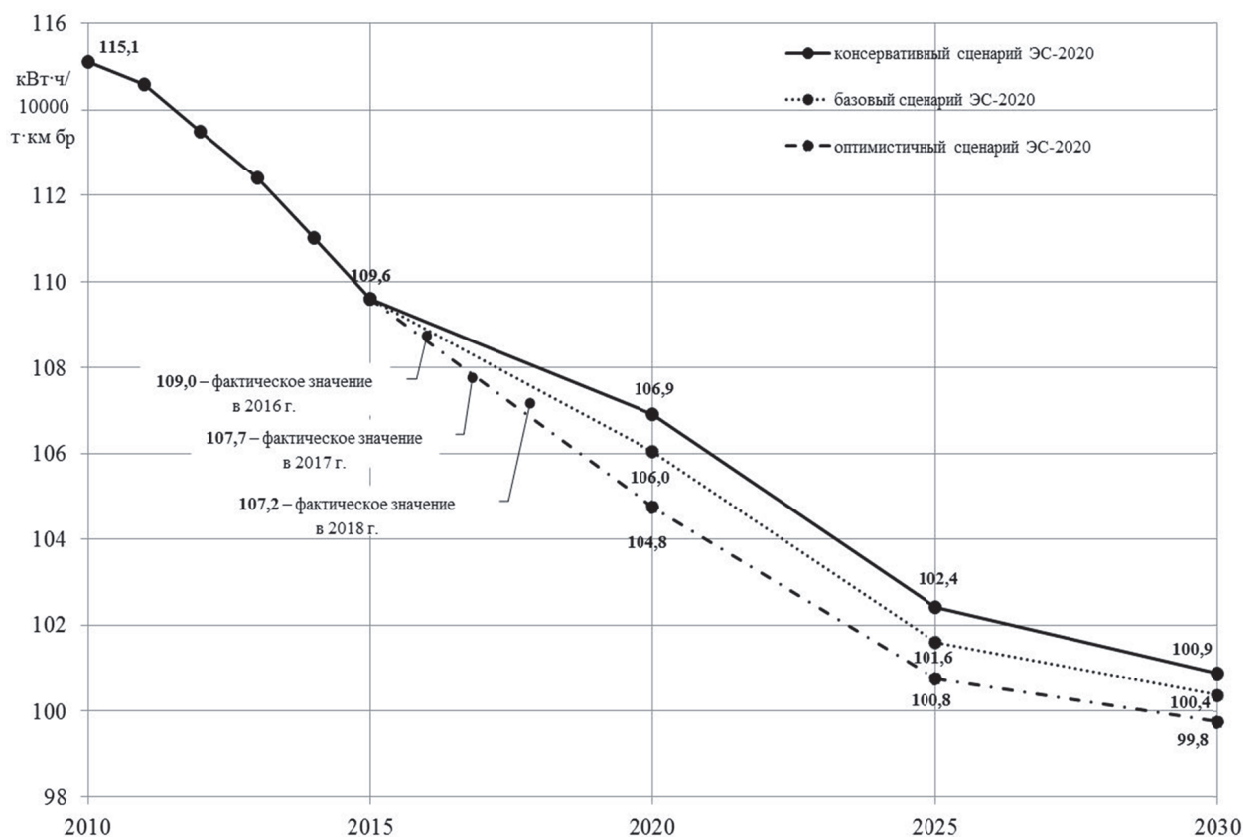


Рис. 5. Прогноз изменения удельного расхода электроэнергии на тягу поездов во всех видах движения на период до 2030 года

Реализация предлагаемой методологии позволяет повысить эффективность функционирования и качество организации ресурсосберегающих производственных систем на железнодорожном транспорте, что подтверждается результатами апробации на действующих объектах железнодорожного транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисенков А. Н., Сербиненко Д. В., Кузнецов И. В. Формализация и экспертное оценивание объектов управления в задачах энергосбережения // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2011. № 2. С. 26–29.
2. Galkin A., Kovalev A., Shayuhov T. Integrated approach to the planning of energy consumption by non-traction railway consumers // MATEC Web of Conference. 2018. № 239. ISSN 2261-236X. DOI: 10.1051/mateconf/201823901056
3. Краснослободцева Е. А., Власьевский С. В. Использование альтернативных источников энергии для удаленных от основных источников энергии объектов ОАО «РЖД» // Электропривод на транспорте и в промышленности: труды II Всероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 17 – 24.
4. Сай В. М., Громов И. Д. Об организации взаимодействия хозяйствующих субъектов в сетях с разделенными интересами (на примере компании ОАО «РЖД») // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2012. № 3 (15). С. 83–94.
5. Крюков А. В., Закарян В. П., Арсентьев М. О. Применение технологий распределенной генерации для электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2009. Т. 37. № 1. С. 190–195.
6. Цыганов В. В., Федянин Д. Н. Механизмы наставничества в организационных системах и повышение энергоэффективности железнодорожного транспорта // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2019. №3 (43). С. 55–66.
7. Цыганов В. В., Адамец Д. Ю. Иерархические и сетевые структуры внедрения энергоэффективных технологий на железнодорожном транспорте / Материалы 12-й Международной научно-практической конференции «Современные сложные системы управления» (СССУ-2017, Липецк). Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2017. Т.2. С. 194–199.
8. Цыганов В. В., Адамец Д. Ю. Комплекс механизмов управления разработкой и внедрением энергоэффективных средств и технологий на железнодорожном транспорте / Труды 7-ой научно-технической конференции с международным участием «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2018, Москва). М.: АО НИИАС, 2018. ИСУЖТ-2018, 14 ноября 2018 г. С. 214–219.
9. Никифоров М. М., Симап Р. С. Энергоэкономическая паспортизация в системе организации производства на железнодорожном транспорте // Известия Транссиба. 2010. № 1. С. 118–122.
10. Оценки энергоэффективности работы железнодорожного транспорта применением специализированных удельных единиц измерения / Титова Т. С., Евстафьев А. М., Изварин М. Ю., Евстафьева М. В. // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2017. № 1. С. 119–125.
11. Черемисин В. Т., Никифоров М. М. Основные направления реализации Федерального Закона «Об энергосбережении...» № 261-ФЗ от 23.11.09 в холдинге «Российские железные дороги» // Известия Транссиба. 2010. № 2 (2). С. 119–123.
12. Никифоров М. М. Целевые показатели энергосбережения и повышения энергетической эффективности системы тягового электроснабжения и электропотребления на нетяговых нужды // Известия Транссиба. 2010. № 3 (3). С. 110–116.
13. Никифоров М. М., Незвак В. Л. Нормативно-правовое обеспечение деятельности по энергосбережению в холдинге «Российские железные дороги» // Известия Транссиба. 2015. № 4 (24). С. 68–75.
14. Черемисин В. Т., Никифоров М. М. Вклад в реализацию программы энергосбережения в ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. 2015. № 11. С. 66–68.
15. Купчинская Ю. А., Чеховская С. А. Основы управления качеством: цикл PDCA // Бизнес-образование в экономике знаний. 2016. № 3 (5). С. 36–39.
16. Жемчугов А. М., Жемчугов М. К. Цикл PDCA Деминга. Современное развитие // Проблемы экономики и менеджмента. 2016. №2 (54). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsikl-pdca-deminga-sovremennoe-razvitie> (дата обращения: 24.03.2020).
17. Ожегов С. И., Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка: 80 000 слов и фразеологических выражений. — 4-е изд., М., 1997. — 944 с.
18. Эрбес В. В. Повышение эффективности эксплуатации систем электроснабжения железных дорог за счет внедрения энергосберегающих устройств и технологий: Дис... канд. техн. наук. Омск, 2016. 148 с.
19. Комякова О. А. Возможности искусственных нейронных сетей как аппарата для прогнозирования расхода электрической энергии на предприятиях железнодорожного транспорта // Омский научный вестник, 2013. № 2(2013). С. 264–266.
20. Комяков А. А. Применение метода главных компонент для формирования математической модели процесса электропотребления на железнодорожном транспорте // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2016. – Т. 4. № 3. – С. 27–32.
21. Черемисин В. Т., Комяков А. А., Коломоец О. А. Планирование расхода электрической энергии с применением ИНС // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 11. – С. 56–58.
22. Степанец В. А., Рожицкий Д. Б. Оценка энергетической эффективности производственной деятельности холдинга «РЖД» // Главный энергетик, 2012. № 3. С. 22–25.
23. Пат. на полезную модель 183468 РФ. МПК G06Q10/06. Автоматизированная система контроля и управления электропотреблением предприятий / В. Т. Черемисин, А. А. Комяков, А. В. Пономарев, В. В. Эрбес, Ю. В.

- Плотников, А. С. Окишев (РФ) – № 2017138800; Заявлено 07.11.2017; Оpubл. 24.09.2018.
24. Эконометрика: Учебник / И. И. Елисеева, С. В. Курешева, Т. В. Костеева [и др.]; Под ред. И. И. Елисевой. – М.: Финансы и статистика, – 2005. – 576 с.
25. Komyakov A. A., Erbes V. V., Ivanchenko V. I. Application of artificial neural networks for electric load forecasting on railway transport // Environment and Electrical Engineering (EEEIC) : 15th International Conference, Rome, 10-13 June 2015. – pp. 43 – 46. – doi: 10.1109/EEEIC.2015.7165296.
26. Komyakov A. A., Ponomarev A. V., Erbes V. V. Application of an Intelligent System for the Monitoring of Energy Efficiency Indicators at Service Locomotive Depots // Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) : International Multi-Conference, Vladivostok, 3-4 Oct 2018. – pp. 1-7.– doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602926.

METHODOLOGY OF THE ORGANIZATION OF RESOURCE-SAVING PRODUCTION SYSTEMS IN RAILWAY TRANSPORT

© 2020 A. A. Komyakov

Omsk State Transport University

The paper presents the methodology of the organization of resource-saving production systems in railway transport. A description of the existing approaches to the organization of the energy management process in Russian Railways is given. The analysis of their compliance with the ISO 50001 is presented, the advantages and disadvantages of existing methods are analyzed. The basic principles of the proposed methodology are formulated and six stages of its implementation are presented, including the study of factors affecting the use of fuel and energy resources; the study of mathematical models of the use of fuel and energy resources; ensuring effective regulation and forecasting of fuel and energy resources consumption and tasks for saving fuel and energy resources; development of scientific and methodological principles for evaluating the effectiveness of energy-saving devices on railway transport; development of the scientific foundations of a strategy for the development a resource-saving production system in railway transport; development of improved methods and tools for monitoring the use of fuel and energy resources in production processes. The proposed solutions were tested at existing railway transport facilities, the results of which showed that the implementation of the methodology improves the efficiency of operation and the quality of organization of resource-saving production systems in railway transport. In particular, the use of machine learning methods allows to increase the accuracy of mathematical models of using fuel and energy resources up to 1.8 times, the resulting discrepancy between the results of predicting the consumption of fuel and energy resources and experimental data does not exceed 5 %, and the proposed patented technical and software solutions can be used to monitoring the fuel and energy consumption. On the basis of the obtained results, a number of regulatory documents of Russian Railways have been developed, which are implemented on the railway network and are used in organization of resource-saving production systems in railway transport.

Keywords: railway transport, energy saving, resource-saving production systems, forecasting, monitoring, energy consumption, organization of production.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-2-16-24