

В последние годы для борьбы с обледенением стали активно применять физико-химические методы, заключающиеся в нанесении на провода растворов специальных веществ, которые замерзают при температурах, значительно более низких, чем вода. Последняя группа методов предполагает получение покрытий с низкой адгезией к водным средам, снегу и льду. Одним из наиболее перспективных методов снижения адгезии является создание супергидрофобных покрытий, которые помешают проводам обледенеть, а если такое всё же произойдет, ото льда будет несложно избавиться.

На железнодорожном электротранспорте для борьбы с обледенением контактного провода на него могут наносить специальную смазку. Недостатками такого процесса является значительная трудоемкость, при этом приходится закрывать движение поездов. Смазывание необходимо наносить загодя, оно недолговечно, легко снимается с провода полозьями токоприемников. Для удаления льда с провода контактной сети применяются различные устройства, которые, как правило, низкопроизводительны и могут повредить и деформировать провод в процессе удаления льда, что приведет к ускоренному износу и может привести к прекращению движения поездов. Такие же недостатки свойственны барабанам с пневмотурбинами для удаления льда с контактного провода. Недостатком электрических способов удаления льда является то, что во время плавки льда движение поездов прекращается и возможен отжиг провода с последующим его обрывом, особенно при протекании токов короткого замыкания.

Электромеханические способы удаления льда с проводов ЛЭП образуют класс новых способов и устройств борьбы с гололедом на ЛЭП. Удаление гололеда предлагается производить не с помощью термического воздействия от протекающего по проводам тока, а с помощью электромеханического воздействия на лед. По проводам линии пропускают импульсы тока определенной частоты и формы. При протекании тока по проводам возникает сила Ампера, под действием которой происходят механические колебания, которые предупреждают образование обледенения и разрушают корку льда.

Борьба с обледенением проводов линий электропередач и контактных сетей остается одной из главных проблем для многих стран. Каждый из применяемых в настоящее время способов борьбы с гололедом обладает определенными недостатками, поэтому разработка эффективных, экономичных, безопасных устройств и методов, направленных на недопущение обледенений, снижение разрывов и удаление гололедных отложений, остается актуальной задачей.

УДК 621.311.183

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ УЧЕТА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

*И. С. ЕВДАСЕВ, В. А. ШАПОВАЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Согласно Концепции развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей в Республике Беларусь на период до 2030 года одним из ключевых направлений развития распределительных электрических сетей напряжением 0,4–10(6) кВ является их автоматизация, при которой выделяют ряд основных задач [1]:

- расширение функций мониторинга и диагностики текущего состояния применяемого электрооборудования с возможностью принятия превентивных мер по предотвращению аварийных ситуаций;
- оптимизация режима работы электрической сети за счет наличия в ней дистанционно управляемых элементов на основе расчетов с использованием динамической модели электрической сети и полученной телеметрической информации с объектов автоматизации;
- снижение технологического расхода электроэнергии в распределительных сетях.

Задача снижения технологического расхода электроэнергии в распределительных сетях не так тривиальна. Процессы транспорта электроэнергии в электросетях сопровождаются в каждый момент времени ее расходом на технологические нужды и так называемыми коммерческими потерями. Последние обусловлены как объективными физическими факторами, например, погрешностью системы учета электроэнергии, так и непосредственно действиями человека (несанкционированный

отбор, система контроля потребления по оплате и т. д.). Без адекватного разделения этих составляющих в электробалансе электрических сетей эффективно решать указанные выше задачи в процессе автоматизации будет невозможно.

Несмотря на значительные шаги в развитии систем учета потребления электроэнергии, которое обеспечило и кратное повышение классов точности средств учета, и применение цифровых технологий, мы находимся еще в самом начале пути, что отмечается специалистами и развивающихся, и экономически развитых стран [2, 3].

Стратегический путь совершенствования системы учета электроэнергии – подключение к автоматизированным системам контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) интеллектуальных функций управления электропотреблением, повышение надежности сети за счет создания активного потребителя и интеграции систем интеллектуального учета [3].

Система интеллектуального учета электроэнергии не может быть построена только на традиционном способе составления энергобаланса опытным путем по показаниям приборов учета [4]. Основным недостатком такого способа является низкая достоверность составляющих электробаланса из-за неучёта значительного количества факторов: например, на погрешность измерительных систем влияет величина нагрузки, коэффициент мощности, параметры внешней среды, отклонения показателей качества электроэнергии от нормы. Большинство этих факторов также оказывает непосредственное влияние на первичные параметры линий электропередачи, трансформаторы и другие элементы электросети. При этом авторами установлено, что для отдельных элементов или групп элементов электросети погрешность учёта может превышать значение технологического расхода электроэнергии в несколько раз.

Переход в дальнейшем процессе автоматизации как самих электросетей, так и АСКУЭ, от опытных к опытно-расчетным способам составления электробалансов основе цифровых двойников позволит повысить достоверность базовой информации для принятия управляющих решений по оптимизации режимов работы и повышение энергоэффективности транспорта электроэнергии.

Согласно ГОСТ Р 57700.37–2021 цифровой двойник объекта – это система, состоящая из цифровой модели объекта и двусторонних информационных связей с объектом и (или) его составными частями. Цифровой двойник какого-либо элемента электрической сети, который корректируется в соответствии с реальными измерениями, позволит анализировать изменение элемента в течение времени и выявлять необходимость его обслуживания, ремонта или замены с точки зрения энергоэффективности [5].

При широком применении цифровых технологий упрощение моделей по критерию объема математических вычислений во многих приложениях теряет смысл, так как эти объемы не критичны для вычислительных мощностей даже одного персонального компьютера. Поэтому размещение с распределенными параметрами, которая позволит избежать значительной погрешности при режимах низких нагрузок [6].

Исходными данными для модели ЛЭП в цифровом двойнике служат показания приборов учета, фиксирующих поступление и отпуск электроэнергии, первичные параметры ЛЭП, а также параметры окружающей среды (температура окружающего воздуха, скорость ветра, количество солнечной радиации).

Электробаланс составляется в два этапа. На первом производится сравнение значений технологического расхода электроэнергии, полученных инструментальным и расчетным способами, и накопление  $n$  числа значений небалансов. Далее производится сравнение первичной нагрузки с минимально допустимой нагрузкой измерительного комплекса. При несоответствии выдается уведомление о недостаточной точности измерения и алгоритм переходит к обработке следующих измерений. При соответствии определяется значение технологического расхода электроэнергии путём разности показаний счетчиков в начале и конце линии электропередачи.

Полученные по модели цифрового двойника и опытным способами значения технологического расхода электроэнергии сравниваются, и определяется небаланс электроэнергии. Значение небаланса записывается в базу данных, после чего алгоритм переходит к следующей итерации.

На втором этапе происходит анализ массива небалансов: производится определение закона распределения и моментов случайной величины. Полученное значение используется для выявления систематической составляющей небаланса и определения путей ее устранения, в том числе за счет корректировки первичных параметров ЛЭП при помощи добавок. Эти добавки должны быть обу-

словлены погрешностью измерительного комплекса, поэтому происходит их сравнение с допустимыми. Превышение может свидетельствовать о наличии несанкционированного отбора электроэнергии либо изменении технического состояния элементов ЛЭП. Далее производится анализ динамики изменения первичных параметров ЛЭП, в результате чего может быть выявлено предаварийное состояние её элементов.

Применение цифровых двойников электросетей в системах АСКУЭ нетяговых потребителей Белорусской железной дороги позволит не только повысить достоверность учета электроэнергии, но и решить ряд задач по мониторингу технического состояния ЛЭП и трансформаторных мощностей.

#### Список литературы

- 1 Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года / М-во энергетики Респ. Беларусь. – Минск, 2020. – 50 с.
- 2 **Оморев, Т. Т.** К проблеме математического моделирования трехфазной несимметричной распределительной сети / Т. Т. Оморев, Б. К. Такырбашев, Р. Ч. Осмонова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 93–102.
- 3 Advanced Metering Infrastructure Based on Smart Meters in Smart Grid / T. N. Le [et al.] // Smart Metering Technology and Services – Inspirations for Energy Utilities / ed. M. Eissa. – London : IntechOpen, 2016. – P. 37–61.
- 4 ГОСТ 27322–87. Энергобаланс промышленного предприятия. Общие положения. – Введ. РБ 1992-12-17. – Минск : БелГИСС, 2010. – 20 с.
- 5 ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – Введ 2022-01-01. – М. : Российский институт стандартизации, 2021. – 15 с.
- 6 **Евдасев, И. С.** Методы определения потерь электроэнергии в сетях нетяговых потребителей железных дорог : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / И. С. Евдасев. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 136 с.

УДК 629.4.027.5

## ТЕХНОЛОГИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОЛЕСНЫХ ПАР В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ЦИКЛЕ РЕМОНТА КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

*А. В. ЖЕБАНОВ, С. В. КОРКИНА, А. Д. ПОТАПОВА*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Технология идентификации деталей и узлов подвижного состава в последнее время серьезно развивается в рамках различных проектов цифровизации и повышения надежности железнодорожного транспорта. Маркировка деталей вагонов при их ремонте и изготовлении играет важную роль в обеспечении и поддержании качества на должном уровне, а также надежности при эксплуатации подвижного состава. Введение идентификации колесных пар в производственный цикл ремонта грузовых вагонов позволит сократить трудоемкость работ и повысить степень защищенности вводимых параметров. Применение штрихкодирования позволяет совершенно точно идентифицировать сроки проведения различных операций при любых действиях с деталями и узлами вагонов во время их ремонта, причем осуществлять работу с большим объемом информации. В настоящее время сбор данных происходит при использовании баз данных, но при этом хранение информации реализуется и на бумажных носителях (формы-уведомления, журналы и т. д.). Использование метода нанесения цифровых меток способствует объединению всех вышеописанных информационных форм, т. е. при создании метки можно заложить весь объем данных существующий на конкретную деталь [1, 2].

Рассматривая производственную структуру сектора вагонного хозяйства, можно понять, что это большой кластер предприятий, обеспечивающих не только производство и ремонт вагонов, но и контроль процесса эксплуатации. Ввиду такой многозадачности встает вопрос обработки объемной информации и оперативного предоставления различных данных с целью обеспечения надежности всего перевозочного процесса. Цифровые метки имеют возможность для сосредоточения различной информации, обеспечивая при этом легкодоступность для ее считывания. Технология будет работать на протяжении всего срока эксплуатации детали и оказывать содействие при выявлении предатказного состояния во время работы узлов.