

5
621.311
E 15

1222

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

УДК 621.311.1:621.3

Евдасёв
Игорь Сергеевич

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ
НЕТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация

Гомель, 2008

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта».

Научный руководитель: **Могила Владимир Степанович**,
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрический подвижной состав» Учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта»

Официальные оппоненты: **Ермоленко Дмитрий Владимирович**,
доктор технических наук, главный научный сотрудник Открытого акционерного общества «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ОАО «ВНИИЖТ»)

Черномашенцев Виктор Георгиевич,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электротехника» Учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта»

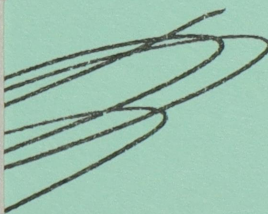
Ивановское унитарное предприятие
«Белорусский теплоэнергетический ин-

в 14:00 на заседании совета по за-
дачи образования «Белорусский госу-
«ГУТ) по адресу 246653, г. Гомель,
Тел. (8-0232)-953791.

лярах, заверенные печатью просим

в научно-технической библиотеке
государственный университет транс-

2008 г.



А. В. Пуцято

ВВЕДЕНИЕ

621,311

Е 15: 656.2

Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов на предприятиях Белорусской железной дороги входит в комплекс наиболее актуальных задач, решение которых обеспечит энергетическую стабильность, экологическую безопасность и улучшит экономическую ситуацию железнодорожного транспорта. На дороге большое внимание уделяется повышению энергоэффективности всех без исключения процессов генерации, передачи и потребления тепловой и электрической энергии. Однако рациональные подходы при передаче и распределении электроэнергии в собственных сетях железной дороги до сих пор не сформированы, т. е. не разработаны основные направления по нормированию, контролю и снижению потерь энергии в электросетях.

Использование существующих методик определения технических потерь энергии в электросетях приводит к значительной погрешности результатов, неадекватному обоснованию мероприятий по снижению потерь и нецелесообразным затратам финансовых средств на эти мероприятия. Поэтому разработка методик расчета и нормирования потерь электроэнергии в электросетях нетяговых потребителей железнодорожного транспорта, которая учитывает их особенности, является актуальной научно-технической задачей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Тема работы соответствует приоритетному направлению фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь «Энергообеспечение, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, энергосбережение и эффективное использование энергии; создание энерго- и ресурсоэкономичных архитектурно-конструктивных систем нового поколения».

Работа выполнялась в соответствии с планами НИОКР Белорусской железной дороги: «Разработка методики и программного обеспечения для расчета потерь электроэнергии в линиях автоблокировки и продольного электроснабжения Белорусской железной дороги» ГР 20023059 (2003 г.), «Проблема экономии электроэнергии при электроснабжении нетяговых потребителей. Раздел 2. Разработка методики расчета потерь электроэнергии и рекомендаций по оптимизации системы электроснабжения нетяговых потребителей Белорусской железной дороги» ГР № 2003752 (2004 г.), «Разработка и внедрение мероприятий по эффективному использованию электроэнергии для тяговых и нетяговых потребителей. Раздел 2. Разработка мероприятий по экономии электроэнергии и средств на ее оплату для системы электроснабжения 6 – 10 кВ Барановичского железнодорожного узла» ГР № 20053564 (2006 г.), «Исследование проблемы

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БЕЛГУТА

потребления электроэнергии, разработка и внедрение прогрессивных энергосберегающих технологий и устройств в производственные процессы. Раздел 1. Оптимизация напряжения в электросетях нетяговых потребителей железнодорожного транспорта по критерию минимума потерь электроэнергии в них и разработка мероприятий по регулированию напряжения в узлах питания» ГР № 20053424 (2006 г.).

Ряд научно-исследовательских работ выполнен по заказу отделений Белорусской железной дороги: «Исследование эффективности передачи электрической энергии в линиях автоблокировки и продольного электроснабжения железнодорожных участков Гомельского отделения Белорусской железной дороги» ГР № 20022854 (2002 г.), «Исследование качества электроэнергии и анализ балансов потерь энергии в системе электроснабжения Барановичского отделения Белорусской железной дороги» ГР № 20041069 (2004 г.), «Разработка научно обоснованного норматива технических потерь электроэнергии в сетях Витебской дистанции электроснабжения и вероятностно-статистического метода его оперативного определения» ГР № 20053102 (2005).

Результаты исследований использованы в следующих работах: «Разработка научно обоснованного норматива технических потерь электроэнергии в сетях Могилевской дистанции электроснабжения» (2004 г.), «Разработка научно обоснованного норматива технических потерь электроэнергии в сетях Минского железнодорожного узла» (2005), «Разработка научно обоснованного норматива технических потерь электроэнергии в сетях Оршанского железнодорожного узла» (2005).

Цель и задачи исследования.

Цель исследования – создать методики определения технической составляющей потерь энергии в электросетях нетяговых потребителей железнодорожного транспорта, необходимые для оценки их величины, структуры и последующего выбора корректирующих воздействий для снижения этих потерь.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие *основные задачи*:

- исследование влияния показателей качества электроэнергии, технических характеристик линии электропередачи (ЛЭП) и схем ее замещения на точность результатов расчета потерь электроэнергии в электросетях;
- разработка математической модели линии электропередачи для определения в них потерь мощности;
- исследование рационального уровня питающего напряжения по критерию минимума потерь энергии в линии электропередачи;
- разработка методик расчета технических потерь электроэнергии в сетях нетяговых потребителей железнодорожного транспорта;

– разработка вероятностно-статистического метода расчета потерь в слабонагруженных электросетях для оперативного определения их значения.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются электрические сети нетяговых потребителей Белорусской железной дороги, предметом – технические потери электроэнергии в сетях.

Положения, выносимые на защиту:

– вероятностно-аналитическая модель линии электропередачи для определения потерь мощности в установившемся режиме и доверительных интервалов методических погрешностей результатов при использовании упрощенных схем замещения линии;

– методики расчета потерь электроэнергии в сетях нетяговых потребителей, разработанные на основе уточненной структуры этих потерь и обеспечивающие при любой загрузке линий электропередач допустимую в инженерных расчетах погрешность результатов;

– вероятностно-статистический метод для экспресс-расчета потерь электроэнергии в электросетях железнодорожных узлов, позволяющий при минимальном объеме исходных данных получить результат с погрешностью приближенной к метрологической погрешности неавтоматизированной системы учета электроэнергии;

– метод выбора рационального уровня напряжения линии по критерию минимума потерь энергии в ней, уточненный для любых диапазонов нагрузок линий электропередач и позволяющий адекватно оценивать экономию при изменении питающего напряжения с целью снижения потерь энергии в линии;

– концепция определения значения и балансов технических потерь электроэнергии в нетяговых электросетях 6–10 кВ Белорусской железной дороги при различных уровнях автоматизации систем контроля и учета потребления электроэнергии.

Личный вклад соискателя. Изложенные в диссертации положения, выводы и рекомендации получены автором лично на основании описанных в диссертации расчетных методов и экспериментов. Вклад соавторов в опубликованных работах заключается в научном руководстве, планировании и подготовке экспериментов, разработке отдельных мероприятий по снижению потерь электроэнергии. Расчеты технических потерь энергии в электросетях нетяговых потребителей Гомельского, Барановичского, Могилевского, Витебского, Минского и Оршанского отделений Белорусской железной дороги выполнены автором совместно с сотрудниками кафедры «Электрический подвижной состав» и Научно-исследовательского центра экологической безопасности и энергосбережения на транспорте Белорусского государственного университета транспорта.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертации докладывались на международных научно-практических конференциях «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного

комплекса» (БелГУТ, Гомель, 2003), «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління: тези доповідей першої науково-практичної конференції» (КУЭТ, Киев, 2003), научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов (ГГТУ им. П.О. Сухого, Гомель, 2004), «Проблемы безопасности на транспорте» (БелГУТ, Гомель, 2005), «Экологическая безопасность и энергосбережение на транспорте» (БелГУТ, Гомель, 2006), а также на заседании кафедры «Электрический подвижной состав» (БелГУТ, Гомель, 2006).

Опубликованность результатов диссертации. Основные результаты исследований опубликованы в 4 рецензируемых статьях (общий объем – 1,0 авторский лист) научных изданий Республики Беларусь и Украины. По вопросам, рассматриваемым в диссертации, опубликованы также 2 статьи в научных журналах (0,48 авторского листа), одно пособие для практических расчетов (2,65 авторских листов) и 11 материалов и тезисов докладов научно-практических конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 4 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Объем диссертации – 107 страниц. Работа содержит 27 рисунков, 11 таблиц, 4 приложения на 21 странице. Библиографический список включает 108 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** отражена актуальность проблемы эффективного использования энергоресурсов в целом для Белорусской железной дороги и ее структурных подразделений – дистанций электроснабжения, которые осуществляют передачу и распределение электроэнергии в тяговых и сетях среднего напряжения 6–10 кВ нетяговых потребителей. Осуществлен выбор темы исследования в рамках указанной проблематики.

В **первой главе** диссертационной работы дана характеристика объекта исследования и проведен анализ методов расчета технических потерь электроэнергии в сетях.

В результате систематизации данных по режимам работы систем электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта пяти отделений Белорусской железной дороги сделано заключение, что отличительной особенностью этих электросетей среднего напряжения 6–10 кВ являются: очень низкая среднегодовая загрузка элементов, большая протяженность воздушных линий продольного электроснабжения железнодорожных участков и кабельных ЛЭП на железнодорожных узлах, наличие большого количества распределенных однофазных нагрузок по линиям продольного электроснабжения, значительный

(больше 25 лет) срок службы основной части ЛЭП и трансформаторов. На особенности этих ЛЭП указывали еще в 80-х годах XX века профессор, д.т.н. К. Г. Марквардт и к.т.н. А. Н. Поплавский.

Анализ методик расчета технических потерь электроэнергии в сетях и их применимости к сетям нетяговых потребителей железнодорожного транспорта выявил, что в большинстве этих методик учитываются только условно-переменные (нагрузочные) потери в ЛЭП. Условно-постоянные потери (диэлектрические в изоляции кабелей, от токов утечки) не рассматриваются вообще, или представляются как не зависящие от срока службы линий. Согласно исследованиям Ю. С. Железко значение активной проводимости кабеля, отрабатывающего 4 года, увеличивается на 52 %, 10 лет – на 150 % и т. д.

Погрешность определения условно-постоянных потерь при задании поперечной активной проводимости изоляции кабеля по справочным данным (с нулевым сроком эксплуатации) составляет примерно 150 % при сроке эксплуатации кабеля 10 лет и 500 % – при сроке 25 лет. Конечная погрешность результатов расчета технических потерь электроэнергии в сетях, будет зависеть от соотношения условно-постоянных и условно-переменных потерь и, следовательно, будет ниже указанных значений.

По результатам анализов, проведенных в первой главе работы, сформулирована задача по разработке методов и методик определения потерь электроэнергии в электрических сетях нетяговых потребителей железной дороги, обеспечивающих допустимые методические погрешности. Решение поставленной задачи включает: обоснование по критерию допустимой методической погрешности математической модели линии электропередачи для определения потерь мощности в ней при низких нагрузках; анализ влияния показателей качества электроэнергии на потери электроэнергии в сетях; разработка методики расчета технических потерь электроэнергии в сетях нетяговых потребителей железнодорожного транспорта; определение технических потерь электроэнергии в электросетях железнодорожных узлов и линиях автоблокировки и продольного электроснабжения; определение регрессионной зависимости потерь электроэнергии от влияющих факторов и разработка вероятностно-статистического метода расчета потерь в слабонагруженных линиях.

Во второй главе приведены результаты теоретических исследований поставленной задачи.

Описана концептуальная модель линии электропередачи для определения потерь активной мощности в установившемся режиме. Эта модель представляет синтезированные в один алгоритм три блока расчетов (рисунок 1): погонных параметров ЛЭП, тока нагрузки и потерь мощности. Для исследовательских целей модель дополнена блоком расчета погрешности схем замещения линии.

Входные параметры модели являются случайными величинами и задаются законами распределения. Откликами модели являются значения потерь мощности в линии электропередачи при шести различных схемах замещения этой линии: П-, Т-, Г-образными, без учета поперечных проводимостей, без взаимовлияния потерь в продольном и поперечном активных сопротивлениях, четырехполюсником с распределенными первичными параметрами.

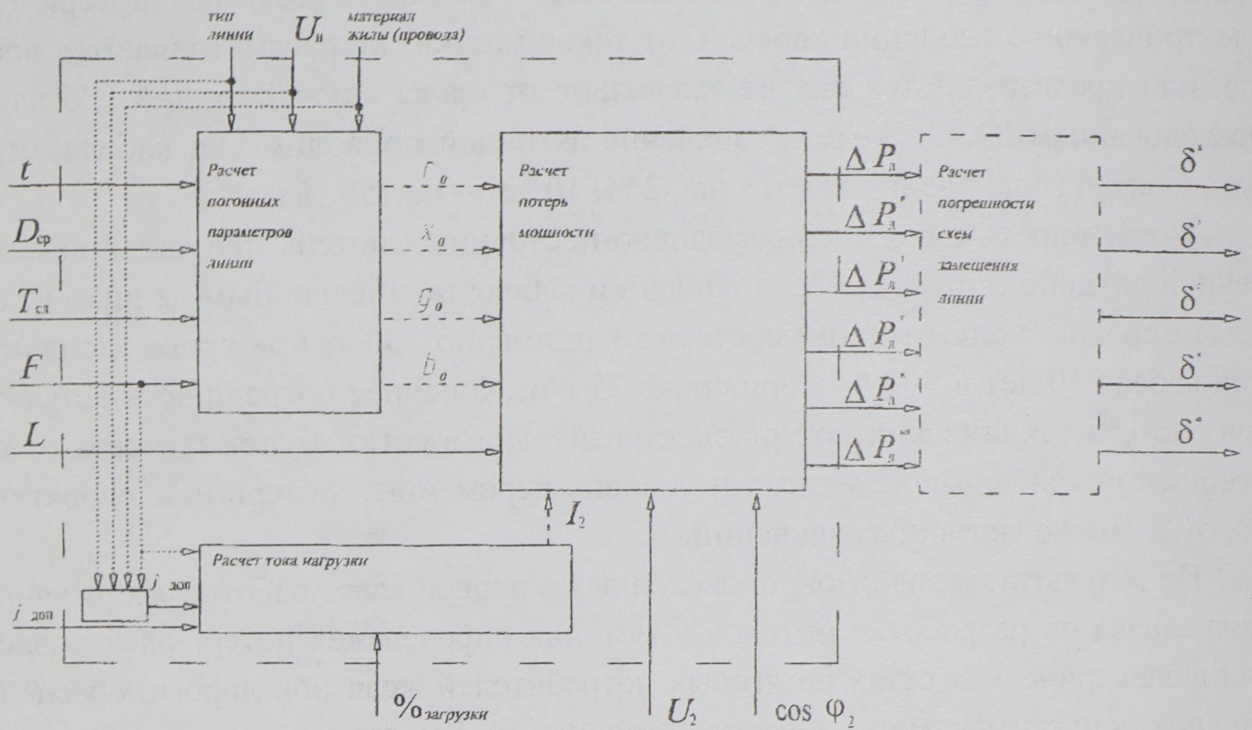


Рисунок 1 – Структурная схема модели для определения потерь активной мощности в установившемся режиме

За образцовую схему при определении погрешности математической модели ЛЭП принята схема замещения линии четырехполюсником (рисунок 2).

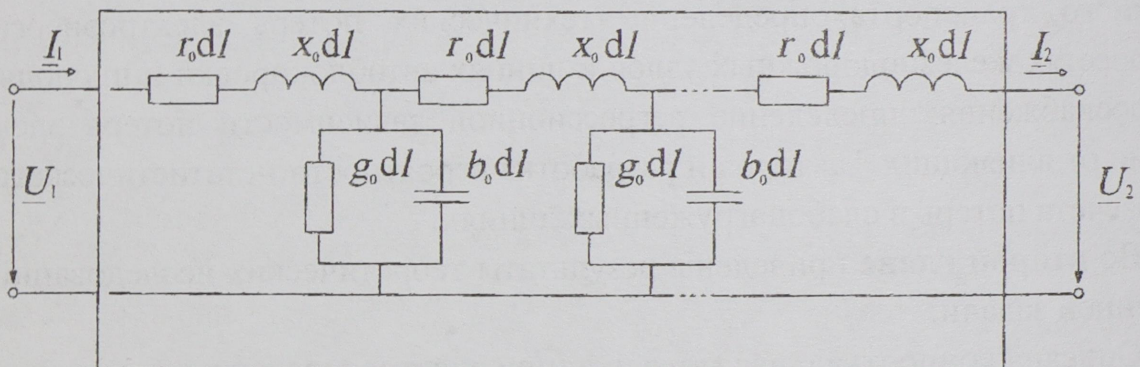


Рисунок 2 – Схема замещения линии электропередачи четырехполюсником

Потери активной мощности в трехпроводной линии при замещении ее четырехполюсником предлагается рассчитывать по выражению

$$\Delta P_{\pi} = 3 \operatorname{Re} \int_0^l (\underline{\Delta U} \underline{I}_1^* + \underline{I}_Y \underline{U}_1^*) dl, \quad (1)$$

где $\underline{\Delta U}$ — падение напряжения на участке ЛЭП бесконечно малой длины dl , В;
 \underline{I}_1 — ток в начале расчетного участка dl , А;
 \underline{I}_Y — ток в ветви комплексной поперечной проводимости линии на участке dl , А;
 \underline{U}_1 — фазное напряжение в начале расчетного участка dl , В.

Звездочкой обозначены комплексно-сопряженные значения величин.

После подстановки в формулу (1) комплексных погонных параметров получается

$$\Delta P_{\pi} = 3 \operatorname{Re} \int_0^l (\underline{Z}_0 \underline{I}_1 \underline{I}_1^* + \underline{Y}_0 \underline{U}_1 \underline{U}_1^*) dl, \quad (2)$$

где \underline{Z}_0 — комплексное погонное сопротивление линии, Ом/км;
 \underline{Y}_0 — комплексная погонная проводимость линии, См/км.

Учитывая, что произведение комплексно-сопряженных чисел равно квадрату их модуля, т. е. действительному числу, то в выражении (2) комплексные погонные сопротивления и проводимости можно заменить их действительными частями:

$$\Delta P_{\pi} = 3 \left(r_0 \int_0^l \underline{I}_1 \underline{I}_1^* dl + g_0 \int_0^l \underline{U}_1 \underline{U}_1^* dl \right), \quad (3)$$

где r_0 — погонное (распределенное) активное сопротивление фазы линии, Ом/км;
 g_0 — погонная поперечная проводимость между проводниками (жилами), См/км.

Автором получено конечное аналитическое выражение для расчета потерь мощности в ЛЭП при замещении ее четырехполюсником

$$\Delta P_{\pi} = 1,5 \left[\left(\frac{r_0}{Z_c} + g_0 Z_c \right) \left(\frac{I_2^2 Z_c^2 + U_2^2}{2 Z_c \alpha} \operatorname{sh}(2\alpha l) + \frac{U_2 I_2}{\alpha} \cos(\varphi_2 + \Theta) (\operatorname{ch}(2\alpha l) - 1) \right) + \left(\frac{r_0}{Z_c} - g_0 Z_c \right) \left(\frac{I_2^2 Z_c^2 - U_2^2}{2 Z_c \beta} \sin(2\beta l) - \frac{U_2 I_2}{\beta} \sin(\varphi_2 + \Theta) (\cos(2\beta l) - 1) \right) \right], \quad (4)$$

где Z_c — модуль характеристического сопротивления линии, Ом;
 I_2 — модуль тока нагрузки, А;
 U_2 — модуль фазного напряжения в точке питания нагрузки, В;
 α — коэффициент ослабления, дБ/км;
 l — длина ЛЭП, км;

- φ_2 – угол между векторами напряжения и тока нагрузки, рад;
- Θ – аргумент характеристического сопротивления линии, рад;
- β – коэффициент фазы на единицу длины, рад/км.

Проведена проверка адекватности модели ЛЭП для определения потерь мощности путем сравнения результатов моделирования со значениями инструментальных измерений потерь мощности на кабельных линиях. Опыт проводился на холстом ходу линии, чтобы избежать дополнительной погрешности, вносимой двумя измерительными комплексами. Для повышения чувствительности схемы предложен метод косвенного измерения мощности в трехпроводной ЛЭП. Схема представлена на рисунке 3.

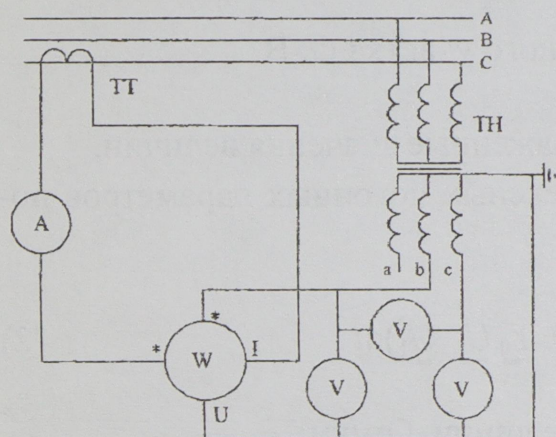


Рисунок 3 – Схема косвенного измерения мощности в трехпроводной ЛЭП

Законы распределения входных параметров при исследовании погрешности различных схем замещения ЛЭП определены на основании данных обследования электросетей железнодорожных узлов Белорусской железной дороги. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Погрешность определения потерь мощности в установившемся режиме при использовании упрощенных схем замещения линии

Схема замещения	Относительная погрешность, %	
	средняя	при доверительной вероятности 0,95
Π-образная	-0,6	-3,6
T-образная	1,4	7,7
Г-образная	7,5	40,2
Без взаимовлияния потерь мощности в продольном и поперечном активных сопротивлениях	-5,0	-25,8
Без учета поперечных проводимостей	-84,8	-100,0

Согласно результатам, представленным в таблице 1, можно сделать вывод, что не все схемы замещения линий электропередачи могут быть рекомендованы для практических расчетов потерь мощности и энергии в них. Это обусловлено значительной методической погрешностью результатов расчета потерь

мощности. В первую очередь, это актуально для схемы замещения ЛЭП без учета поперечных проводимостей и Г-образной схемы ее замещения. Средняя погрешность при применении этих схем применительно к сетям железнодорожных узлов составляет 84,8 и 7,5 % соответственно. Необходимо отметить, что большинство разработанных и утвержденных на сегодняшний день методик расчета потерь электроэнергии в сетях основываются как раз на схеме замещения линий без учета поперечных проводимостей.

Не рекомендуется также для расчета потерь электроэнергии в линиях электропередачи железнодорожных узлов использование схемы замещения без взаимовлияния потерь мощности в продольном и поперечном активных сопротивлениях. Средняя погрешность определения потерь при применении этой схемы составляет 5 %, что удовлетворяет требованиям к точности инженерных расчетов, но диапазон значений погрешностей с доверительной вероятностью 0,95 ограничивается значением 25,8 %. Так как расчетные данные потерь электроэнергии участвуют также в коммерческих отношениях между потребителем и энергоснабжающей организацией, то такая погрешность расчетов даже в отдельных случаях, конечно, не допустима.

Во второй главе диссертационной работы также рассмотрено влияние показателей качества электроэнергии на конечную погрешность расчета потерь электроэнергии. Выявлены наиболее значимые показатели, учет которых при расчетах потерь электроэнергии обязателен. К числу таких показателей относятся отклонение напряжения в сети от номинального значения, коэффициент несимметрии токов по обратной последовательности (только для линий автоблокировки и продольного электроснабжения).

Результаты эксперимента с помощью математической модели показали, что значения регулирующих эффектов относительных (в процентах) потерь активной мощности при отклонениях напряжения в сети ± 5 % находится в пределах от минус 0,1 до плюс 1,6 %, в то же время регулирующие эффекты абсолютных потерь изменяются от минус 1,4 до плюс 6,2 %. Максимальное увеличение абсолютных потерь мощности в электросети при повышении напряжения на 5 % сверх номинального составляет 30,9 % и соответствует узлу нагрузки с крутой статической характеристикой нагрузки, низким коэффициентом мощности и большой долей нагрузочных потерь (до 0,9). В противоположность этому максимальное значение увеличения относительных потерь мощности при том же росте напряжения равно 8,2 % и соответствует узлу с пологой статической характеристикой и малой долей нагрузочных потерь.

Для ЛЭП железнодорожных узлов максимальное значение дополнительной погрешности определения потерь электроэнергии без учета отдельных показателей качества электроэнергии составляет:

а) 0,09 % – без учета несимметрии напряжения по обратной последовательности;

б) от 1 до 2 % – без учета несимметрии токов по обратной последовательности;

в) 4,3 % – без учета несинусоидальности токов.

Конечным результатом теоретических исследований, проведенных во второй главе, являются методики расчета потерь электроэнергии в электросетях нетяговых потребителей железнодорожного транспорта. Более подробно в диссертации описан алгоритм расчета технических потерь электроэнергии в сетях железнодорожных узлов. На методику расчета потерь электроэнергии в линиях автоблокировки и продольного электроснабжения приведены общие ссылки, так как она подробно изложена в пособии [18] и руководящем документе РД РБ 09150.55.003-2003 «Методика расчета технических потерь электроэнергии в линиях автоблокировки и продольного электроснабжения участков Белорусской железной дороги».

Третья глава диссертации содержит результаты решения практических задач при применении разработанных методик потерь электроэнергии в сетях нетяговых потребителей железнодорожного транспорта.

Впервые рассчитаны и составлены балансы технических потерь электроэнергии в электросетях железнодорожных узлов, которые показали, что доля условно-постоянных потерь электроэнергии в ЛЭП, которые не учитываются в большинстве применяемых сегодня методик, по репрезентативной выборке сетей нетяговых потребителей железной дороги составляет около 30 %.

Для оперативного определения потерь электроэнергии в сетях железнодорожных узлов и выявления наиболее значимых факторов, влияющих на значение этих потерь, разработан вероятностно-статистический метод. Доказано, что в вероятностно-статистическом методе можно перейти от традиционной записи выражения в показательной форме к алгебраической форме. Это облегчает использование этой модели при ручном расчете.

В конечном итоге вероятностно-статистическая модель потерь электроэнергии в сетях железнодорожных узлов может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{cases} \Delta W_a = 0,019W_a + 1,856L_{\text{каб}} + 0,007S_{\Sigma\text{н}} + 2,538N_{\text{т}} \text{ при } N_{\text{т}} \leq 5; \\ \Delta W_a = 0,024W_a + 2,567L_{\text{каб}} + 0,014S_{\Sigma\text{н}} + 1,54N_{\text{т}} - 1,361N_{\text{у}} \text{ при } N_{\text{т}} > 5, \end{cases} \quad (5)$$

где W_a – отпуск электроэнергии в сеть (потребление от энергосистемы), тыс. кВт·ч;

$L_{\text{каб}}$ – суммарная длина кабельных линий электропередачи в рассматриваемой сети (сгруппированных сетях), км;

$S_{\Sigma\text{н}}$ – суммарная мощность работающих силовых трансформаторов на подстанциях, кВт·А;

$N_{\text{т}}$ – количество работающих силовых трансформаторов на подстанциях;

N_u – количество «однородных» участков линий электропередачи.

Для оценки полученных значений погрешностей вероятностно-статистического метода и заключения о целесообразности его применения необходимо провести сравнение погрешностей этого метода и метода инструментального определения потерь энергии в сетях. Традиционный инструментальный метод определения потерь энергии в сети предусматривает их расчет по разности принятой и отпущенной из сети электроэнергии, регистрируемой измерительными комплексами. Погрешность этого метода при допущении, что коммерческие потери в сети равны нулю, обусловлена метрологическими характеристиками системы измерения.

Сравнение двух выборок погрешностей инструментального и вероятностно-статистического методов проведено путем дисперсионного анализа в пакете Statgraphics Plus 5.0. Функции плотности распределения вероятностей погрешностей исследуемых методов представлены на рисунке 4.

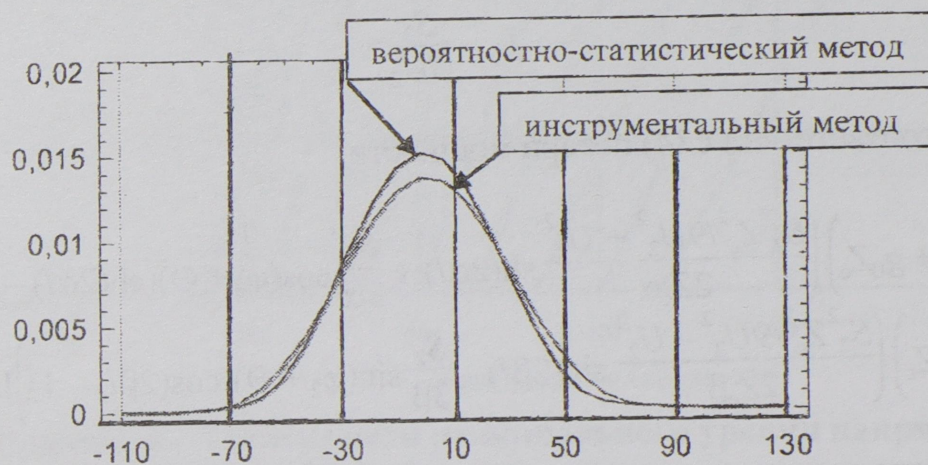


Рисунок 4 – Функции плотности распределения вероятностей погрешностей методов определения потерь электроэнергии в сетях

При проведении дисперсионного анализа подтверждено предпочтение гипотезы о равенстве двух выборок.

В результате исследований доказано, что разработанный вероятностно-статистический метод допустим для определения потерь электроэнергии в слабонагруженных сетях железнодорожных узлов, так как его погрешность удовлетворяет требованиям для оперативных расчетов, проводимых ручным способом, что подтверждается сравнением с инструментальным методом. Область применения разработанного метода охватывает только электросети с номинальным напряжением 10 кВ и выполненными в основном кабельными ЛЭП.

В третьей главе также уделено внимание вопросу выбора рационального уровня питающего напряжения в ЛЭП. С точки зрения выбора рационального

уровня напряжения в ЛЭП по критерию минимума потерь электроэнергии представляют интерес выражение (4), так как показывает, что потери энергии в линиях электропередачи и электросети в целом описываются полиномом второй степени. Следовательно, существует уровень напряжения питания, при котором эти потери минимальны. Задача выбора рационального уровня напряжения электросети будет заключаться в нахождении минимума целевой функции

$$\Delta P_{\pi}(U_2) \rightarrow \min, \quad (6)$$

при граничном условии

$$U_2^{\min} \leq U_2 \leq U_2^{\max}. \quad (7)$$

Значения U_2^{\min} и U_2^{\max} принимаются равными предельно допустимым значениям согласно ГОСТ 13109-97, т. е. $0,9U_2^{\text{НОМ}}$ и $1,1U_2^{\text{НОМ}}$ соответственно.

При этом ток нагрузки

$$I_2 = \frac{S_2}{3U_2}. \quad (8)$$

Тогда в соответствии с (4) потери мощности

$$\begin{aligned} \Delta P_{\pi} = 1,5 \left[\left(\frac{r_0}{Z_c} + g_0 Z_c \right) \left(\frac{S_2^2 Z_c^2 / 9U_2^2 + U_2^2}{2Z_c \alpha} \operatorname{sh}(2\alpha l) + \frac{S_2}{3\alpha} \cos(\varphi_2 + \Theta) (\operatorname{ch}(2\alpha l) - 1) \right) + \right. \\ \left. + \left(\frac{r_0}{Z_c} - g_0 Z_c \right) \left(\frac{S_2^2 Z_c^2 / 9U_2^2 - U_2^2}{2Z_c \beta} \sin(2\beta l) - \frac{S_2}{3\beta} \sin(\varphi_2 + \Theta) (\cos(2\beta l) - 1) \right) \right]. \quad (9) \end{aligned}$$

Зависимости потерь мощности в кабельной ЛЭП от передаваемой мощности нагрузки S_2 и питающего напряжения $U_{2л}$ при изменении последнего в диапазоне от 6 до 10 кВ показывает, что при малых нагрузках потребителя меньшие потери мощности в ЛЭП будут при более низком питающем напряжении (6 кВ). С ростом нагрузки точка минимума потерь перемещается в область более высоких напряжений (10 кВ). Дополнительные исследования показали, что при нагрузках примерно до 3 % от длительно допустимого тока кабеля наиболее целесообразно применять питающее напряжение 6 кВ, от 3 до 8 % – 10 кВ, а при больших нагрузках – более высокие уровни напряжения.

После дифференцирования выражения (9) по напряжению и приравнивания производной к нулю определяется оптимальное по критерию минимума потерь мощности в ЛЭП значение линейного напряжения

$$U_{2л}^{\text{опт}} = \sqrt{3} \sqrt[4]{\frac{Z_c^2 S_2^2 [(r_0 - g_0 Z_c^2) \alpha \sin(2\beta l) + (r_0 + g_0 Z_c^2) \beta \operatorname{sh}(2\alpha l)]}{9[(r_0 + g_0 Z_c^2) \beta \operatorname{sh}(2\alpha l) - (r_0 - g_0 Z_c^2) \alpha \sin(2\beta l)]}}. \quad (10)$$

Согласно выражению (10) оптимальное значение напряжения питания потребителя по критерию минимума потерь электроэнергии в ЛЭП зависит от нагрузки потребителя, длины линии и первичных параметров кабеля.

На рисунке 5 приведен пример зависимостей для выбора рационального уровня напряжения в ЛЭП от мощности нагрузки и длины кабеля. Эти зависимости построены для кабельной ЛЭП с сечением алюминиевой жилы 120 мм^2 и сроком эксплуатации около 10 лет.

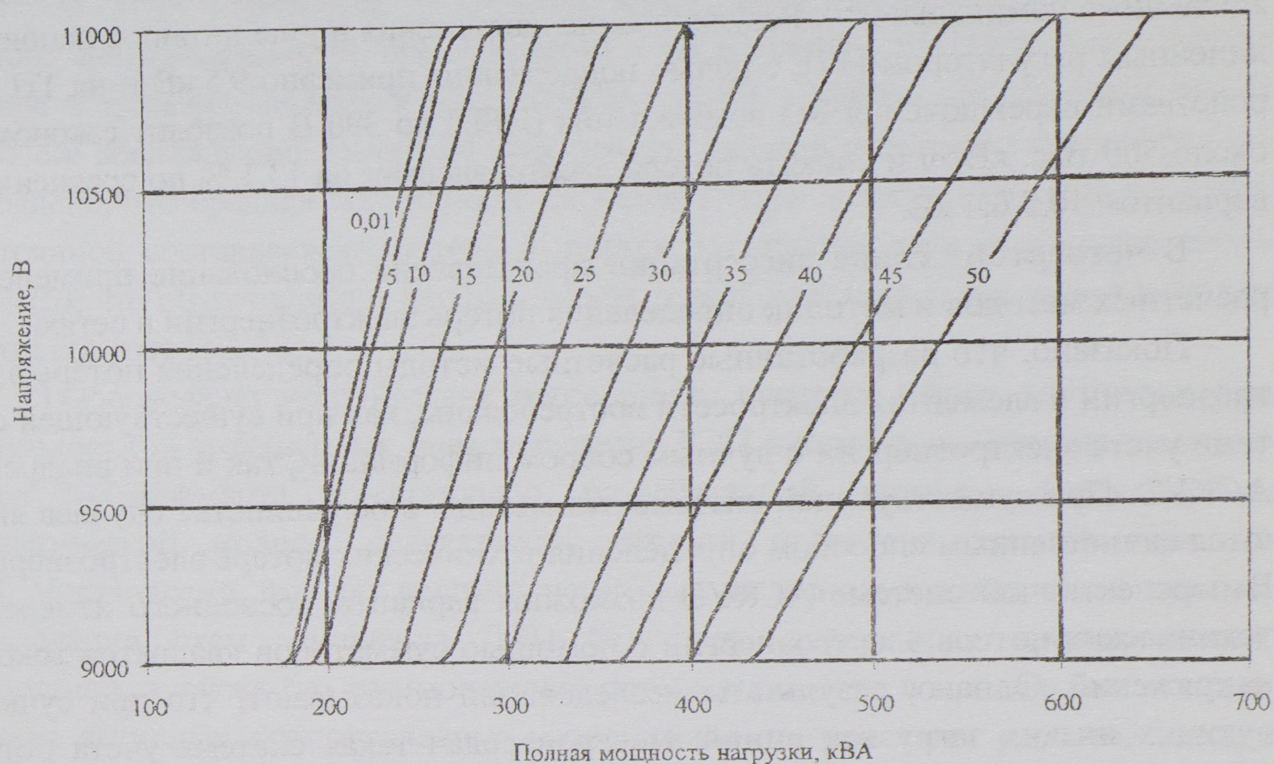


Рисунок 5 – Зависимости рационального уровня напряжения в ЛЭП от мощности нагрузки и длины кабеля (кабель с сечением алюминиевой жилы 120 мм^2)

Диаграммы, аналогичные представленной на рисунке 5, удобно использовать для оперативного выбора питающего напряжения с целью снижения потерь мощности и электроэнергии при ее передаче.

Теоретическое исследование выбора рационального напряжения в узле питания электросети с целью снижения расходов и потерь электроэнергии проведено для электросетей Барановичского железнодорожного узла [16]. Анализ результатов показывает:

- при увеличении среднего напряжения в электросети с 10 до 10,5 кВ и изменении коэффициентов трансформации с 25 на 26,25 потери энергии в сетях возрастают на 6,19 % от первоначального уровня;
- при снижении среднего напряжения в электросети с 10,5 (наиболее вероятное значение по результатам измерений) до 9,5 кВ и местном регулировании

напряжения 400 В на шинах низкого напряжения подстанции потери электроэнергии уменьшаются на 11,25 % от первоначального уровня.

При расчетных (среднегодовых) нагрузках потери напряжения в электросети от точки питания до наиболее удаленной трансформаторной подстанции не превышает 0,8 %, что обусловлено их низкой загрузкой.

Во многих случаях и в электросетях 380 В напряжение от шин трансформаторной подстанции до конечного электроприемника не достигает проектных 5 %, поэтому можно снизить уровень напряжения на шинах подстанции до 390 В (на 2,5 % ниже номинального). Регулирование напряжения в узле питания, например, линейным регулятором [17], с целью поддержания примерно 9,5 кВ и на ТП устройствами переключения без возбуждения (ПБВ) до 390 В позволит сэкономить около 500 тыс. кВт·ч и снизить потери электроэнергии на 13,1 % по сравнению с вариантом 10,5/0,4 кВ.

В четвертой главе диссертации представлено обоснование применения расчетных методов и методик определения потерь электроэнергии в сетях.

Показано, что разработанные расчетные методы определения потерь электроэнергии в элементах электросети востребованы, как при существующей системе учета электроэнергии с ручным сбором информации, так и при внедрении АСКУЭ. При существующей системе эти методы в большинстве случаев являются единственным способом определения технических потерь электроэнергии. В перспективной системе АСКУЭ возможны варианты косвенного измерения технических потерь электроэнергии с помощью сумматоров квадратов токов и напряжений. Однако, результаты исследований показывают, что при существующих низких нагрузках линий электропередач такая система учета потерь (без взаимного влияния условно-постоянных и условно-переменных составляющих) может приводить к погрешностям до 25,8 % (см. таблицу 1). Поэтому при внедрении АСКУЭ должны быть более подробно проработаны вопросы целесообразности применения расчетных методов определения технических потерь электроэнергии в реальном времени по данным инструментальных измерений токов и напряжений

Представлены планы мероприятий для Белорусской железной дороги по сокращению потерь электроэнергии, которые обоснованы с помощью разработанной автором методики расчета потерь электроэнергии в электросетях нетяговых потребителей. Суммарный годовой потенциал экономии электроэнергии от внедрения всех разработанных мероприятий, имеющих экономическую целесообразность, составляет 1185 тыс. кВт·ч (237 млн р.) в год

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

Выполненные в диссертационной работе исследования режимов работы и потерь электроэнергии в сетях среднего напряжения 6–10 кВ с низкими нагрузками, к которым относятся сети нетяговых потребителей Белорусской железной дороги, позволяют сделать следующие выводы:

1) Большинство применяемых в настоящее время методов расчета потерь электроэнергии в электросетях среднего напряжения учитывают только три основные составляющие: потери холостого хода в трансформаторах, нагрузочные потери в трансформаторах и нагрузочные потери в линиях электропередачи. В процессе обследования более 300 электросетей железнодорожного транспорта установлено, что средняя погрешность расчетов потерь энергии без учета условно-постоянной составляющей потерь в линиях электропередачи составляет около 30 % [5], что обуславливает необходимость разработки новых методов и методик в этом вопросе [12, 13].

2) Обоснованы методические погрешности расчетов потерь мощности при использовании упрощенных схем замещения ЛЭП путем проведения математического эксперимента с помощью разработанной автором вероятностно-аналитической модели, адекватность которой проверена экспериментально [14]. Установлено, что для условий нетяговых железнодорожных сетей при использовании схем замещения ЛЭП без учета поперечных проводимостей, Г-образной, а также без взаимовлияния потерь мощности в продольном и поперечном активных сопротивлениях методическая погрешность расчетов потерь мощности превышает допустимый предел [1, 2, 7].

3) По результатам анализа влияния показателей качества электроэнергии на значение ее технических потерь в сетях установлено, что характерное для систем электроснабжения железнодорожных предприятий отклонение напряжения в узле питания на 5 % и более выше номинального [8], в отдельных случаях приводит к увеличению абсолютного значения потерь на 30,9, а относительного – на 8,2 % [13, 16].

4) На основе уточненных балансов технических потерь электроэнергии в электросетях железнодорожных узлов, линиях автоблокировки и продольного электроснабжения железнодорожных участков разработаны методики расчета этих потерь [11, 15, 18]. В методиках учтены особенности этих электросетей по режимам работы и техническим характеристикам, что обеспечивает их допустимую методическую погрешность.

5) Рассмотрены варианты моделирования потерь электроэнергии в электросетях железнодорожных потребителей [4, 6] и впервые для электросетей железнодорожных узлов разработан вероятностно-статистический метод расчета

потерь электроэнергии [3, 9]. Этот метод базируется на эмпирической зависимости потерь электроэнергии от влияющих факторов и целесообразен для оперативных расчетов дистанциями электроснабжения суммарного небаланса и коммерческих потерь до момента внедрения АСКУЭ.

б) Для линий электропередач среднего напряжения уточнен метод выбора рационального уровня питающего напряжения по критерию минимальных потерь электроэнергии в линии. Доказано, что при низких нагрузках в отдельных сетях выгодней снижать уровень питающего напряжения с 10 до 9 кВ [16], а также использовать номинальное напряжение 6 кВ.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные методики расчета потерь энергии согласованы в Комитете по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь и областных управлениях по надзору за рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов. Проведены расчеты нормативных технических потерь электроэнергии в сетях отделений Белорусской железной дороги и представлена концепция перспективного использования разработанных методов в системе автоматизированного учета и контроля потребления электроэнергии.

Использование методических основ по рациональному выбору напряжения и способам его регулирования в узле питания электросети 6–10 кВ позволяет разработать мероприятия по управлению режимом напряжения с помощью линейных регуляторов с целью снижения потерь электроэнергии [17].

Экономический эффект от внедрения результатов диссертационной работы обусловлен разработанными мероприятиями по снижению потерь энергии при ее передаче и распределении. В ценах и объемах потребления электроэнергии 2005 года потенциал снижения эксплуатационных издержек от внедрения разработанных мероприятий оценен в 237 млн. рублей в год.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в рецензируемых научных изданиях

1. Могила, В. С. Математическая модель потерь активной мощности в малонагруженной линии электропередачи / В. С. Могила, И. С. Евдасев, Д. В. Дорошук // Электронное моделирование. – Киев, 2005. – №5 – С. 107–113.
2. Евдасев, И. С. К вопросу точности расчетов потерь энергии в электросетях с низкими нагрузками при применении упрощенных схем замещения линии электропередачи / И. С. Евдасев // Известия Национальной академии наук Беларуси. Сер. физико-технических наук. – Мн. : Выдавецкі дом «Беларуская навука», 2005. – № 5 – С. 55–57.
- + 3. Евдасев, И. С. Разработка вероятностно-статистической модели определения потерь энергии в электросетях железнодорожных узлов / И. С. Евдасев; В. А

Ивлев // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. Наука и транспорт. – Гомель : БелГУТ, 2005. – № 1(10). – С. 7–9.

4. Могила, В.С. Имитационное моделирование электрических режимов контактной сети железнодорожного транспорта / В.С. Могила, И.С. Евдасев // Известия Белорусской инженерной академии. – № 1 (17)/1 – 2004. – С. 88–90.

Статьи

✦ 5. Евдасев, И. С. К вопросу о потерях электроэнергии в электросетях нетяговых потребителей железнодорожного транспорта / И. С. Евдасев // Энергоэффективность. – Мн. : 2005. – № 8 – С. 2–4.

✦ 6. Могила, В.С. Исследование режимов работы системы тягового электрообеспечения городского электротранспорта на имитационной модели / В.С. Могила, И. С. Евдасев, А. В. Воронин // Энергоэффективность. – 2000. – № 12. – С. 12–13.

Материалы конференций

✦ 7. Евдасев, И. С. О применении схем замещения линии электропередачи при расчетах потерь электроэнергии в электросетях / И.С. Евдасев // Проблемы безопасности на транспорте : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. И. Сенько – Гомель : БелГУТ, 2005. – С.187–188.

✦ 8. Дорошук, Д. В. О параметрической надежности систем нетягового электрообеспечения железнодорожного транспорта / Д. В. Дорошук, И. С. Евдасев // Проблемы безопасности на транспорте: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. И. Сенько – Гомель : БелГУТ, 2005. – С.185–187.

✦ 9. Евдасев, И. С. Вероятностно-статистический метод определения потерь электроэнергии в электросетях железнодорожных узлов / И. С. Евдасев, В. А. Ивлев; Д. В. Шведков; В. В. Савенков// Проблемы безопасности на транспорте : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. И. Сенько – Гомель : БелГУТ, 2005. – С.189–190.

Тезисы докладов

10. Павлов, М. А. Политика рационального использования топливно-энергетических ресурсов на Белорусской железной дороге – путь к ее энергетической, экологической и экономической безопасности / М. А. Павлов, В. М. Овчинников, И. С. Евдасев // Проблемы безопасности на транспорте : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф.; под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2002. – С. 206–208.

11. Савенков, В. В. Энергетический менеджмент в системах электрообеспечения белорусской железной дороги – путь к энергосбережению / В. В. Савенков, М. А. Павлов, И. С. Евдасев // Проблемы и перспективы развития транспортных систем

тем и строительного комплекса : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф.; под общ. ред. В. И. Сенько – Гомель : БелГУТ, 2003. – Ч. II. – С.170–171.

12. Евдасев, И. С. Нормирование потерь энергии в системах электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта / И. С. Евдасев, В. С. Могила // Проблемы та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління : тези доповідей першої науково-практичної конференції. Ч. I. – Киев : КУЕТТ, 2003. – С. 161–162.

13. Евдасев, И. С. К вопросу о структуре нормируемых потерь электроэнергии в электросетях / И. С. Евдасев // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Ч. II / под общ. ред. В. И. Сенько – Гомель : БелГУТ, 2003. – С.168–169.

14. Евдасев, И. С. Метод измерения условно-постоянных потерь мощности в кабельной линии электропередачи / И. С. Евдасев // Экологическая безопасность и энергосбережение на транспорте: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. В. М. Овчинникова. – Гомель : БелГУТ, 2006. – С. 88–92.

15. Могила, В. С. Нормирование потерь электрической энергии в линиях автоблокировки и продольного электроснабжения железнодорожных участков / В. С. Могила, В. М. Овчинников, И. С. Евдасев; В. В. Кононцов // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Ч. II / под общ. ред. В. И. Сенько – Гомель : БелГУТ, 2003. – С.168–169.

16. Могила, В. С. К вопросу о выборе рационального уровня напряжения в узле питания электросети / В. С. Могила, И. С. Евдасев, С. Ю. Городецкий, А. М. Власенко // Экологическая безопасность и энергосбережение на транспорте: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. В. М. Овчинникова. – Гомель : БелГУТ, 2006. – С. 92–95.

17. Могила, В. С. Измерение уровня напряжения в узле питания электросети линейным регулятором / В. С. Могила, В. А. Ивлев, И. С. Евдасев // Экологическая безопасность и энергосбережение на транспорте: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. В. М. Овчинникова. – Гомель : БелГУТ, 2006. – С. 101–104.

Пособия

18. Могила, В. С. Расчет технических потерь электроэнергии в линиях автоблокировки и продольного электроснабжения участков железной дороги: пособие для практических расчетов / В. С. Могила, В. М. Овчинников, В. В. Кононцов, И. С. Евдасев. – Гомель : БелГУТ, 2003. – 67 с.

РЭЗІЮМЭ

Еўдасёў Ігар Сяргеевіч

Метады вызначэння страт электраэнергіі
ў сетцы нецягавых спажыўцоў чыгункі

Ключавыя словы: электрасеткі, страты электраэнергіі, чыгуначны транспарт, нецягавыя спажыўцы.

Мэта работы – распрацоўка метадаў вызначэння тэхнічнай складальнай страт энергіі ў электрасетках нецягавых спажыўцоў чыгуначнага транспарту.

Метады даследавання. Тэарэтычныя даследаванні ўплыву паказчыкаў рэжыму працы электрасетак, тэхнічных характарыстык і схем замяшчэння ліній электраперадачы на хібнасць вынікаў разліку страт электраэнергіі ў электрасетках праведзены метадам матэматычнага мадэліравання на ПЭВМ. Даследаванне адэкватнасці матэматычнай мадэлі праведзена эксперыментальным шляхам на кабельных лініях у электрасетках дыстанцый электразабеспячэння. Даследаванне залежнасці тэхнічных страт электраэнергіі ад розных уплываючых фактараў праведзена мнагафактарным рэгрэсіраваным аналізам. Адэкватнасць залежнасці абгрунтавана метадам карэляцыйнага аналізу.

Атрыманыя вынікі і навізна. На базе створанай матэматычнай мадэлі лініі электраперадачы для вызначэння страт магутнасці з імавернасным характарам уваходных велічынь абгрунтаваны дапушчальныя да скарыстання схемы замяшчэння ліній электраперадач і распрацавана метадыка разліку тэхнічных страт энергіі ў электрасетках з нізкай загрузкай, якая забяспечвае дапушчальную ў інжынерных разліках хібнасць вынікаў. Для апэратыўных разлікаў распрацаваны імавернасна-статыстычны метады вызначэння страт электраэнергіі ў маланагружаных электрасетках чыгуначных вузлоў, які дазваляе атрымаць вынік з дакладнасцю не ніжэй, чым пры інструментальных вымярэннях, пры мінімальным працастратах.

Прадстаўлены метады выбару рацыянальнага ўзроўню напружання лініі электраперадачы па крытэрыю мінімуму страт энергіі ў ёй, які дазваляе адэкватна ацаніць эканомію пры змяненні сілкуючага напружання ў любым дыяпазоне электрычных нарузак і рэгуляваць напружанне ў вузле сілкавання з мэтай зніжэння страт энергіі.

Галіна прымянення. Атрыманыя вынікі прымяняюцца ў дыстанцыях электразабеспячэння Беларускай чыгункі для абгрунтавання значэння страт электраэнергіі ў сетках, структуры і далейшага выбару карэктуючых уздзеянняў для зніжэння гэтых страт.

РЕЗЮМЕ

Евдасёв Игорь Сергеевич

Методы определения потерь электроэнергии в сетях
нетяговых потребителей железных дорог

Ключевые слова: электросети, потери электроэнергии, железнодорожный транспорт, нетяговые потребители.

Цель работы – разработка методов определения технической составляющей потерь энергии в электросетях нетяговых потребителей железнодорожного транспорта.

Методы исследования. Теоретические исследования влияния показателей режимов работы электросетей, технических характеристик и схем замещения линий электропередачи на погрешность результатов расчета потерь электроэнергии в электросетях проведены методом математического моделирования на ПЭВМ. Исследование адекватности математической модели проведено экспериментальным путем на кабельных линиях в электросетях дистанций электроснабжения. Исследование зависимости технических потерь электроэнергии от различных влияющих факторов проведено многофакторным регрессионным анализом. Адекватность зависимостей обоснована методом корреляционного анализа.

Полученные результаты и новизна. На базе созданной математической модели линии электропередачи для определения потерь мощности с вероятностным характером входных величин обоснованы допустимые к применению схемы замещения линий электропередач и разработана методика расчета технических потерь энергии в электросетях с низкой загрузкой, обеспечивающая допустимую в инженерных расчетах погрешность результатов. Для оперативных расчетов разработан вероятностно-статистический метод определения потерь электроэнергии в малонагруженных электросетях железнодорожных узлов, позволяющий получить результат с точностью не ниже, чем при инструментальных измерениях, при минимальных трудозатратах.

Представлен метод выбора рационального уровня напряжения линии электропередачи по критерию минимума потерь энергии в ней, позволяющий адекватно оценивать экономию при изменении питающего напряжения в любом диапазоне электрических нагрузок и регулировать напряжение в узле питания с целью снижения потерь энергии.

Область применения. Полученные результаты применяются в дистанциях электроснабжения Белорусской железной дороги для обоснования значения потерь электроэнергии в сетях, структуры и последующего выбора корректирующих воздействий для снижения этих потерь.

SUMMARY

Evdasev Igor Sergeevich

Methods for determination of electric loss in electricity network
of non-tractive railway users

Key words: electricity network, electric loss, railway transport, non-tractive users.

Goals of research – development of methods for determination of technical component of electric loss in electricity network of non-tractive users of railway transport.

Methods of research. Theoretical research of influence of electricity network operating running regime readings, technical features and equivalent circuits of power transmission lines on data error of the calculations of electric loss in electricity network has been carried out by PC-backed method of mathematical simulation. Analysis of mathematical model adequacy has been done by pilot project in cable power transmission lines of power supply divisions. Investigation of technical electric loss dependence on different influencing factors has been carried out by multiple-factor regression analysis. Adequacy of the dependences is based on method of correlated analysis.

The results obtained and novelty. On the basis of created mathematical model of power transmission line for determination power loss with probabilistic nature of input value the equivalent circuits of power transmission lines acceptable have been substantiated and method for calculation of technical electric loss in electricity network with underuse provided feasible engineering accuracy of the results has been worked out. For efficient analysis probabilistico-statistical method for determination of electric loss in low-charged network of railway junctions has been worked out. It allows with minimal working efforts to get the result accurate with the one got by instrumental measurement.

Minimum power loss selection method of efficient voltage level of power transmission line has been represented. It allows with voltage changing to give adequate valuation to saving of any electric load range and to regulate feedback voltage for the purpose of reducing power loss.

Field of application. The results obtained are applied to power supply divisions of Belarusian railway for substantiation of electric loss, structure and following corrective actions for loss enhancement.

Научное издание

“
ЕВДАСЕВ Игорь Сергеевич

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ
НЕТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 12.11.2008 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 1,39. Тираж 90 экз. Зак. 3032.

Типография УО «БелГУТ», 246022, г. Гомель, ул. Кирова, 34
ЛП № 02330/0148780 от 30.04.2004 г.