

Анализ процессов электропотребления на участках Куйбышевской ж.д. показал существенную вариабельность характеристик процессов электропотребления по участкам полигона дороги, зависящих от характера тяговой нагрузки и специфики электропотребления нетяговых потребителей.

Статистический анализ характера показателей часового электропотребления на участках в течение месяца показал возможность описания распределения нормальным законом (критерий Колмогорова-Смирнова  $d=0,048$ ,  $P < 0,01$ ; хи квадрат = 31,13,  $P = 0,07$ ). Значительный разброс значений электропотребления ( $W$ ) относительно среднего (коэффициент вариации колеблется в пределах 0,32 – 0,45) приводит к тому, что в соответствии с методикой оценки точности в рамках 90 % доверительной вероятности прогнозирование  $W$  в предстоящие периоды может быть выполнено с точностью плюс (минус) 50 % от среднего значения. Данная степень неопределенности в оценках предстоящих расходов  $W$  методами статистического анализа может свести к минимуму возможные выигрыши в ценообразовании на свободном секторе ФОРЭМ.

В основу методики прогнозирования  $W$  авторами были положены алгоритмы идентификации реализаций процесса электропотребления, основанные на решении уравнения Винера-Хопфа. Произведена оценка точности прогнозирования в зависимости от длительности анализа временного ряда (время идентификации), участвующего в построении весовых коэффициентов уравнения прогноза, от времени прогноза (от 1-го до 60 часов), от характеристик процесса электропотребления (по критерию соотношения сигнал-шум).

Выявлено, что при наличии в реализации электропотребления гармонических составляющих, энергия которых существенно преобладают над шумом – стохастической составляющей процесса, точность прогноза возрастает обратно пропорционально степени «зашумленности» реализации. Нестационарность процесса в рамках времени идентификации (точность прогнозирования, оцениваемая по коэффициенту корреляции) несущественно зависит от времени прогноза (при 1 ч – 0,58, при 48 ч – 0,47). При стационарности процесса в рамках периода идентификации точность прогнозирования возрастает до значений коэффициента корреляции между истинными и прогнозными значениями  $W$  до уровня 0,79 – 0,92.

Оценка точности относительно среднего по реализации показала, что на для процессов электропотребления тяговой нагрузки стационарного типа можно осуществлять прогнозирование с точностью до 13 %, для нетяговых потребителей, характеризующихся малой степенью стохастичности, – до 2 %. При нестационарных процессах тягового электропотребления (например, вследствие непрогнозируемого изменения объема поездной работы) ошибка может возрасти до 50–60 %.

Таким образом, основным фактором, определяющим точность прогнозирования и планирования электропотребления при использовании рассмотренных алгоритмов, является выбор стационарных участков идентификации реализаций режимов электропотребления, характеристики которых зависят от ритмичности технологических процессов на участках (исполнение твердых ниток графика, периодичность «окон» для выполнения на участках работ). Основным условием выхода на сектор свободной покупки электроэнергии для предприятий железнодорожного транспорта является создание системы мониторинга и анализа характеристик процессов электропотребления и составления специфичных для каждого участка алгоритмов прогнозирования почасовых значений электропотребления.

УДК 621.311.1

## ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

В. С. МОГИЛА, С. Г. ДОДОЛЕВ

Белорусский государственный университет транспорта

Питание устройств, расположенных вдоль железной дороги, производится от линий электропередач (ЛЭП) 10 кВ, проходящих вдоль оси железнодорожного полотна.

Тяговая сеть электрифицированных железных дорог постоянного и переменного токов является источником переменных электрических, магнитных полей и блуждающих токов (токов в земле).

Наличие выпрямителей и инверторов на тяговых подстанциях постоянного тока или электроподвижном составе переменного тока вызывает появление высших гармонических в кривых напряжения и тока тяговой сети и тем самым образование переменных электрических и магнитных полей. Следовательно, тяговая сеть электрифицированных железных дорог оказывает на смежные ЛЭП магнитное, электрическое и гальваническое влияние. Проблема обеспечения электромагнитной совместимости тяговой сети и продольной ЛЭП является весьма острой, так как последние часто располагаются параллельно трассе электрифицированной железной дороги. При этом расстояние между контактной сетью (КС) и ЛЭП оказывается небольшим. Вследствие значительного электромагнитного влияния на линии электропередач качество напряжения в ЛЭП ухудшается.

Влияние тяговой сети на продольные линии электропередачи подразделяется на электростатическое, электромагнитное и гальваническое. Электромагнитное влияние обуславливается током, протекающим во влияющем проводе (возникает только в момент прохода поезда по влияющему участку и зависит от характера и значений нагрузки), электростатическое – напряжением во влияющей цепи (степень электростатического влияния не зависит от наличия тяговых токов и определяется взаимным расположением проводов), гальваническое – током, протекающим в земле.

По степени воздействия различают влияния опасные и мешающие. Под опасными воздействиями понимают такие, когда возможны поражения человека электрическим током, повреждения аппаратуры и приборов, пожары и др. Соответственно под мешающими воздействиями понимаются воздействия, когда в смежных устройствах возникают помехи, частично или полностью нарушающие их нормальную работу.

Как показали измерения, проведенные на Оршанском участке электроснабжения Белорусской железной дороги, влияние КС на смежные линии оказывается, в основном, электростатического характера, т.к. оно проявляет себя при отсутствии электропоездов на исследуемом участке и исчезает при отключении питания КС. Коэффициент несимметрии напряжения в ЛЭП при достаточном приближении их к железнодорожным путям может достигать 30 %, что отрицательно сказывается на работе нетяговых потребителей.

Электростатическое воздействие может быть определено с использованием групп формул Максвелла. Первая группа формул записывается матрицей  $[\varphi]=[\alpha][\tau]$ , где  $\alpha_{kk}$  – определяется размерами проводов подвески и расстоянием от них до земли;  $\alpha_{km}$  – определяется расстоянием между проводами влияющей и влияемой линий и высотами подвеса их над землей;  $\tau$  – заряды проводов. Коэффициенты  $\alpha$  называют потенциальными коэффициентами. Размерность их равна размерности единицы длины, разделенной на фараду. Зависят коэффициенты  $\alpha$  только от геометрических размеров тел, взаимного их расположения и от свойств среды. Они не зависят ни от величины, ни от знаков зарядов и потенциалов.

Более удобно производить расчет, используя вторую и третью группы формул Максвелла. Вторая группа формул Максвелла решается относительно зарядов, полагая потенциалы  $\varphi$  и коэффициенты  $\alpha$  известными:  $[\tau]=[\beta][\varphi]$ . Коэффициенты  $\beta$  называют емкостными коэффициентами. Размерность их обратна размерности коэффициента  $\alpha$ , т.е.  $[\beta]=[\alpha]^{-1}$ . Третья группа формул Максвелла в правой части каждой строчки имеет не потенциалы, а разности потенциалов:  $[\tau]=[C][U]$ . Коэффициенты  $C_{kk}$  называют собственными частичными емкостями, коэффициенты  $C_{km}$  – взаимными частичными емкостями,  $[U]$  – матрица напряжений между проводами. Размерность частичных емкостей та же, что и размерность емкостных коэффициентов  $\beta$ .

Особенно остро эта проблема возникла в связи с выносом высоковольтных линий автоблокировки из лесополосы к железнодорожным путям. Расчеты, проведенные для одного из участков Оршанской дистанции электроснабжения, дали картину, близкую к полученной в результате экспериментов. Снизить влияние КС на ЛЭП продольного электроснабжения (ПЭ) можно, как показали расчеты, сократив расстояния между местами транспозиции проводов ЛЭП ПЭ, а также применением экранирующего провода.

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1 Как показали расчеты и экспериментальные исследования, КС при небольшом удалении от ЛЭП ПЭ оказывает значительное воздействие на качество энергии в ней.

2 В основном, искажение симметрии напряжения в ЛЭП ПЭ происходит из-за электростатического влияния КС.

3 В случае выноса ЛЭП из зоны лесонасаждений необходимо проверять в каждом конкретном случае воздействие КС на качество напряжения.

УДК 621.311

## НОРМИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЛИНИЯХ АВТОБЛОКИРОВКИ И ПРОДОЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКОВ

*В. С. МОГИЛА, В. М. ОВЧИННИКОВ, И. С. ЕВДАСЕВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта*

*В. В. КОНОНЦОВ*  
*Белорусская железная дорога*

Проблема научного обоснования допустимого уровня потерь электроэнергии в электросетях в настоящее время заключается в том, что методология определения нормативов потерь еще не установлена, и отсутствуют методы расчета технических потерь в отдельных типах электросетей, специфичных для железнодорожной отрасли, например, в линиях автоблокировки (АБ) и продольного электрообеспечения (ПЭ) железнодорожных участков.

Специфическими особенностями режимов работы линий АБ и ПЭ по сравнению с городскими, сельскими сетями 6–10 кВ и узловыми железнодорожными сетями являются: большая протяженность, неразветвленность и наличие большого числа однофазных потребителей, распределенных через приблизительно одинаковые расстояния по длине линии. Исходя из этих особенностей и учитывая повышенные значения технических потерь электроэнергии в этих линиях, коллективом сотрудников НИЦ «Экологическая безопасность и энергосбережение на транспорте» и кафедры «Электрический подвижной состав» БелГУТа при участии работников Гомельского отделения, служб электрообеспечения и научно-технической политики и инвестиций Белорусской железной дороги разработан метод расчета технических потерь электроэнергии в линиях АБ и ПЭ путем синтеза поэлементного метода и метода эффективного тока.

При расчете потерь электрической энергии в линиях АБ и ПЭ необходимо иметь следующие исходные данные:

- схемы линий АБ и ПЭ с указанием головных трансформаторных подстанций (ТП) отдельных секций и мест подключения потребителей в принятой на железной дороге системе координат;
- схемы головных ТП с указанием типов установленных трансформаторов (в том числе находящихся в резерве) и напряжения вводов и подключенных линий электропередачи;
- в местах подключения потребителей должны быть отмечены типы понижающих линейных трансформаторов и наименование подключенных потребителей;
- параметры электропотребителей (потребление активной энергии за год; потребление реактивной энергии за год; коэффициент формы годового графика нагрузки).

Учитывая значительную трудоемкость сбора исходных данных по потреблению электроэнергии отдельными приемниками и коэффициентам формы графиков нагрузки, рекомендуется для части потребителей использовать усредненные справочные данные, подготовленные авторами в виде отдельного пособия.

Расчет потерь в линиях АБ и ПЭ проводится по отдельным секциям. Первым этапом расчета является определение потерь электроэнергии в понижающих линейных трансформаторах. При этом учитываются как потери холостого хода, так и нагрузочные потери, рассчитываемые с учетом формы графика нагрузки и коэффициента неравномерности токов в различных фазах.

На втором этапе расчета необходимо определить для участков линии электропередачи между двумя смежными точками подключения их технические параметры, к которым относятся: активное и реактивное сопротивления, а также емкостная зарядная мощность кабельных вставок участка линии. Наиболее сложным является определение активного и реактивного сопротивлений стального провода ПСО-5, который до настоящего времени применяется на отдельных участках Белорусской