

В настоящее время эта имитационная модель используется при выполнении научно-исследовательских работ по заказам Белорусской железной дороги. С ее помощью была исследована параметрическая надежность ряда участков электроснабжения Белорусской железной дороги при заданных размерах движения подвижного состава, в том числе и при переводе этих участков на повышенные скорости движения. На некоторых участках электроснабжения параметрическая надежность оказалась неудовлетворительной, чаще всего из-за недопустимо большого снижения напряжения на токоприемниках электроподвижного состава, что потребовало изменения параметров системы тягового электроснабжения с целью ее оптимизации. Например, при исследовании системы тягового электроснабжения электрифицированного участка Белорусской железной дороги «Хлусово—Государственная граница» выяснилось, что при существующем графике движения поездов не обеспечивается заданная степень параметрической надежности по уровню напряжения на электроподвижном составе. При этом минимальный уровень напряжения на этом участке составил 18,6 кВ, в то время как минимально допустимое значение составляет 19 кВ. Результатом исследования параметрической надежности данного участка при различных параметрах системы электроснабжения стало предложение по переносу одного из линейных автотрансформаторов к государственной границе и установка там же дополнительного пункта параллельного соединения. Имитационное моделирование модернизированной схемы электроснабжения участка показало, что минимальный уровень напряжения на электроподвижном составе повысился на 2,9 кВ и составил 21,5 кВ, т. е. параметрическая надежность исследуемого участка полностью обеспечена.

УДК 621.3.031:62-192

О ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Д. В. ДОРОЩУК, И. С. ЕВДАСЕВ

Белорусский государственный университет транспорта

Под надежностью любого объекта, в том числе системы электроснабжения, понимают его свойство выполнять заданные функции в заданном объеме при определенных условиях функционирования. Основной функцией системы электроснабжения является бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией в заданном объеме и заданного качества. Полным отказом этой системы является нерегламентированный перерыв в подаче электроэнергии, а частичными отказами можно считать следующие ситуации: перерыв в подаче электроэнергии, не превышающий регламентированный интервал времени согласно категории электроснабжения потребителя по ПУЭ; недоотпуск электроэнергии потребителю в договорных объемах; несоответствие качества отпускаемой электроэнергии договорным обязательствам.

Качество электроэнергии характеризуется группой электрических параметров, допустимые значения которых оговариваются в договоре на поставку электроэнергии или, по умолчанию, должны соответствовать показателям качества электроэнергии согласно ГОСТ 13109-97. Несоблюдение этих показателей качества электроэнергии приводит к нарушениям работоспособного состояния электроприемников.

Надежность любого объекта традиционно принято характеризовать вероятностью безотказной работы $P(t)$, т.е. вероятностью того, что в заданном интервале времени $(0, t)$ не произойдет отказ рассматриваемого объекта. Данный показатель для системы электроснабжения вычислить крайне затруднительно. Для этого необходимо одновременно измерить показатели качества электроэнергии во всех точках подключения потребителей рассматриваемой системы, а установка такого большого количества приборов качества — очень дорогостоящее мероприятие. В качестве альтернативного варианта анализа надежности системы электроснабжения авторами предлагается оценка запаса ее параметрической надежности, т.е. проверка соответствия фактической функции распределения определяющего параметра и заданной нормативными документами. Определяющим называется один из основных технических параметров, характеризующий работоспособность рассматриваемого объекта и являющийся мерой качества. Для системы электроснабжения выбор определяющих параметров довольно велик, но наиболее интересным представляется отклонение напряжения от номинального значения.

Измерения в 2003 г. показателей качества электроэнергии на питающих фидерах Гомельского железнодорожного узла, а также материалы аналогичных измерений в Гомельской энергосистеме показали, что фактические значения напряжения в электросетях узла находятся в диапазоне от 219 до 244 В, что соответствует отклонениям напряжения от минус 0,45 до 10,9 %. Среднее значение $U^{\text{ср}}$ равно 230 В. Разброс значений от среднего характеризуется средним квадратичным отклонением σ_1 , которое равно 6,3 В.

Нормируемое распределение вероятностей для установившихся отклонений напряжения в электросетях имеет допустимые пределы $\pm 5\%$, т.е. от 209 до 231 В. Вероятность попадания значений в допустимую область – 0,95. Следовательно, если принять, что вероятности установившихся отклонений подчиняются нормальному распределению, то диапазон допусков (3σ) равен $\pm 5,6\%$ (от 208 до 232 В).

Для оценки параметрической надежности системы электроснабжения Гомельского железнодорожного узла используем методику "параметрического запаса надежности". Показатель параметрической надежности процесса предлагается определять по формуле

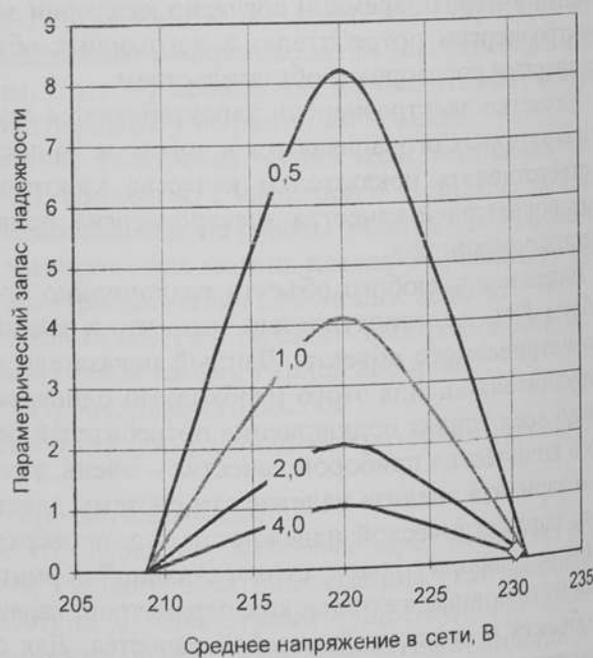
$$F = \frac{L^{\min}}{\sigma_1},$$

где L^{\min} – наименьшее отклонение математического ожидания реального распределения параметра от пределов допусков, В; σ_1 – среднее квадратичное отклонение реального распределения исследуемого параметра, В.

Для распределения фактических фазных напряжений в исследуемых электросетях значение L^{\min} равно 2 В. Рассчитанный показатель параметрической надежности процесса равен 0,32.

В практических задачах лучше использовать параметрический запас надежности. Этот показатель вычисляется как отношение реальной параметрической надежности к нормативной (единичной). Единичная надежность соответствует нормальному распределению плотности вероятностей исследуемого параметра с пределами 3σ согласно нормативным документам. В исследуемой системе параметрический запас надежности процесса составил 0,11. При таком низком значении k_F можно сделать вывод, что в настоящее время система электроснабжения узла не является надежной и может привести к аварийным ситуациям.

С точки зрения энергетического менеджмента в системах электроснабжения стационарной энергетики железнодорожного транспорта представляет интерес не только сегодняшняя надежность системы, но и пути ее совершенствования. С этой целью авторами были построены зависимости параметрического запаса надежности системы электроснабжения от математического ожидания и среднего квадратичного отклонения напряжения в сетях (рисунок 1).



На кривых указаны значения среднего квадратичного отклонения.

Точкой обозначен фактический параметрический запас надежности рассматриваемой системы

Рисунок 1 – Зависимости параметрического запаса надежности системы электроснабжения

На рисунке 1 точкой обозначен фактический параметрический запас надежности системы электроснабжения, который, как было отмечено выше, является очень низким. Повышение надежности этой системы, а следовательно, уменьшение аварийных ситуаций возможно двумя путями: снижением напряжения в сетях до номинальных уровней и уменьшением разброса значений установившегося напряжения в различных точках электросетей. Причем, наибольший эффект возможен от снижения напряжения в сетях. Но при проведении только одного этого мероприятия параметрический запас надежности останется меньше единицы, примерно на уровне 0,6–0,7. Обеспечение более высоких уровней надежности и значительное снижение аварийных ситуаций возможно при одновременном проведении двух вышеуказанных мероприятий.

УДК 621:311.1

О ПРИМЕНЕНИИ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПРИ РАСЧЕТАХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ

И. С. ЕВДАСЕВ

Белорусский государственный университет транспорта

Потери электроэнергии учитываются в коммерческих взаимоотношениях между энергоснабжающей организацией и потребителем, поэтому точное их определение является актуальной задачей. В настоящее время существует несколько утвержденных методик и инструкций по расчету потерь электроэнергии в электросетях энергосистем. Наиболее известной из них и применяемой на сегодняшний день в дистанциях электроснабжения Белорусской железной дороги является «Инструкция по определению потерь электроэнергии в трансформаторах и линиях электропередачи, учитываемых при финансовых расчетах за электроэнергию между энергосистемой и потребителем» (далее Инструкция). В данной Инструкции учитываются две составляющие потерь электроэнергии в трансформаторах и линиях электропередачи. Расчет потерь электроэнергии в линиях осуществляется по методу среднеквадратичного (эффективного) тока. Суть этого метода заключается в расчете потерь электроэнергии в условном установившемся режиме, соответствующем режиму среднегодового тока, и последующее приведение их к реальным потерям электроэнергии за расчетный период с помощью коэффициента формы графика нагрузки.

В литературе отмечается, что погрешность этого метода в первую очередь обусловлена интервалом усреднения в графике нагрузки реальных непрерывно изменяющихся действующих значений токов. Более внимательный анализ метода позволяет выделить еще один важный фактор – это принятая схема замещения линии электропередачи. Известно шесть схем замещения линий электропередачи: четырехполюсником с распределенными параметрами; П-образная; Т-образная; Г-образная; без учета поперечных проводимостей; с независимым учетом потерь в продольном и поперечном активных сопротивлениях. Наиболее широко применяемая из них, в том числе и включенная в вышеозначенную Инструкцию, является схема без учета поперечных проводимостей. Для оценки погрешности расчетов на основании упрощенных схем замещения линии была разработана модель линии электропередачи для определения потерь активной мощности в установившемся режиме (рисунок 1).

Для решения непосредственно задачи определения методической погрешности расчетов по схемам замещения линии отклики модели передаются еще в один блок «Расчет погрешности схем замещения линии», в котором осуществляется расчет относительной погрешности потерь мощности, рассчитанной по каждой упрощенной схеме. За образцовый принимается расчет по схеме с распределенными параметрами, так как он базируется на фундаментальных положениях основ теории электрических цепей.

К входным параметрам модели относятся: тип линии (кабельная или воздушная), номинальное напряжение U_n , материал жилы (провода), среднегеометрическое расстояние между проводами фаз $D_{ср}$, срок службы кабеля $T_{сл}$, длина линии L , площадь поперечного сечения жилы (провода) F , допустимая плотность тока по нагреву $j_{доп}$, процент нагрузки по току, средняя температура по сечению жилы (провода) t , фактическое напряжение у потребителя U_2 , коэффициент мощности нагруз-