

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РИСКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

А.Х. Мусин, С.А. Худорожко

*В статье предлагается метод количественной оценки риска электроснабжения городов. Количественной мерой риска рассматривается размер аварийно недопоставленной потребителям мощности за фиксированный промежуток времени. Определение этой мощности производится с помощью компьютерной модели в программной среде MatLab, предусматривающей вероятностный характер места и времени аварии при известной схеме электроснабжения и мощностей узлов нагрузки.*

*Ключевые слова: риск, оценка, электроснабжение, город, авария, ущерб, мощность.*

В [1] обосновано, что одним из показателей качества электроснабжения городов может служить понятие риска электроснабжения. Актуальность исследования риска электроснабжения обоснована требованием Федерального закона «О техническом регулировании», где определено, что технические требования должны задаваться с учетом критериев риска. Предполагается, что риском можно и нужно управлять. Основные подходы к управлению риском в системах электроснабжения городов изложены в [2].

Любое управление предполагает оценку достигаемого эффекта. В нашем случае – оценку риска. Для систем электроснабжения городов методы оценки риска пока не разработаны. В данной статье предлагается такой метод.

Будем исходить из концепции, что риск – это реализация (ожидаемая) опасности с ненулевым ущербом. Опасность может реализоваться, а может и не реализоваться. Вероятность реализации зависит от напора негативных факторов (внешних и внутренних) и уязвимости питающей электрической сети, и практически не зависит от характеристик потребителя. Ущерб от аварии зависит в основном от характеристик потребителя. Понятие риска учитывает как свойства питающей электрической сети, так и характеристики потребителей, так как процесс функционирования потребителей электроэнергии и питающих их систем электроснабжения рассматривается как единый, объединенный общей целью (создание ВВП). Источником опасности является электрическое напряжение (от 6 до 10 кВ) в распределительной электрической сети города. Опасность реализуется в виде пробоя электрической изоляции распределительной сети, приводящей к ее отключению средствами автоматики.

Таким образом, риск  $R$  характеризуется двумя показателями: вероятностью  $Q$  неблагоприятного события и последствиями (ущербом)  $Y$  при его наступлении. Оба показателя могут быть мультипликативным образом объединены в один:

$$R = Q \cdot Y. \quad (1)$$

В общем случае

$$R_{\tau} = M_{\tau}[n] \cdot M_{\tau}[Y], \quad (2)$$

где  $M_{\tau}[n]$  – математическое ожидание числа аварий с ущербами за период  $\tau$ ,

$M_{\tau}[Y]$  – математическое ожидание размера ущерба при аварии.

В формуле (2) сомножитель  $M_{\tau}[n]$  является некоторым весовым коэффициентом по отношению к размеру ущерба  $Y$ , позволяющий оценить риск. Если рассматривается случай, когда период  $\tau$  не превышает наработки на отказ, сомножитель  $M_{\tau}[n]$  представляет собой вероятность отказа (величину меньшую единицы  $M_{\tau}[n] \leq 1$ ).

В производственной сфере опасность существует всегда, следовательно, и риск имеется всегда. Чем меньше риск, тем лучше качество электроснабжения. Существует некоторый разумный уровень минимального риска, определяемый как компромисс между затратами на снижение риска и получаемыми при этом выгодами.

Мерой риска является размер ожидаемого ущерба от аварийного перерыва электроснабжения за фиксированный промежуток

времени. Обычно размер ущерба оценивается в денежном выражении. Однако, учитывая трудности определения стоимости аварийно недопоставленной электроэнергии, перейдем к натуральному показателю. Считая для простоты продолжительность аварийного перерыва электроснабжения одинаковой для всех случаев аварий, примем в качестве натурального показателя размер аварийно недопоставленной мощности  $P_{ав}$ .

Будем рассматривать промежуток времени в один год.

Принципиальная схема распределительной электрической сети с указанием ее параметров и расчетные мощности узлов нагрузки считаются известными.

Таким образом, оценка риска электроснабжения сводится к определению размера ожидаемой суммарной годовой недопоставленной мощности  $S_{авгод}$  в результате аварий. Для определения этой мощности авторами разработана компьютерная модель в программной среде MatLab со следующим алгоритмом действия. Принципиальная схема распределительной электрической сети формализуется в виде направленного графа. Для формализованной электрической сети при помощи генератора случайных чисел задается место (участок электрической сети) и время аварии. Закон распределения случайных чисел принимается равномерным. Поврежденный участок электрической сети считается аварийно отключенным. Вычисляется

соответствующий размер аварийно недопоставленной мощности  $S_{ав}$ . Процесс моделирования повторяется столько раз, сколько имеет место аварий за год. Число  $n$  аварий за год для конкретной электрической сети определяется расчетом исходя из известной средней удельной повреждаемости  $\lambda$  [штук/км\*год]:

$$n = \lambda * L, \quad (3)$$

где  $L$  – суммарная длина исследуемой электрической сети, км.

Недопоставка мощности за год составит:

$$S_{авгод} = \sum_{i=1}^n S_{авi}, \quad (4)$$

где  $S_{авi}$  – аварийно недопоставленная мощность при  $i$ -ой аварии,

$n$  – число аварий за год.

Для получения представительной выборки эксперимент на модели реализуется многократно; в нашем примере 1000 раз.

Технические аспекты программирования в данной статье не рассматриваются.

При оценке риска необходимо располагать сведениями об удельном среднем числе аварий  $\lambda$  в электрической сети. Для определения такого показателя авторами используется статистическая модель повреждаемости в городской распределительной электрической сети по [3] (рисунок 1), из которой следует  $\lambda=0.52$ .

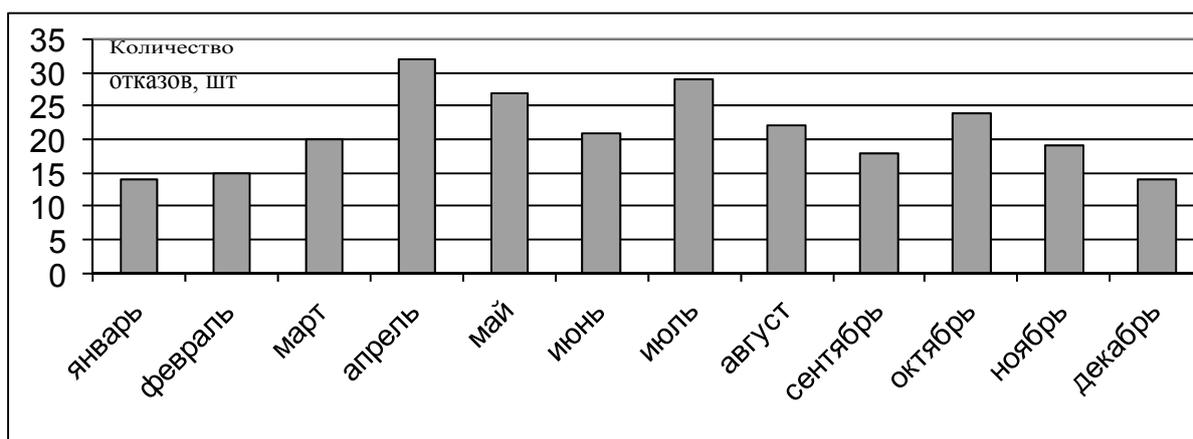


Рисунок 1 - Распределение количества аварий по месяцам

Как видно из рисунка 1, повреждаемость в течение года не является постоянной; это обстоятельство учитывается в модели при распределении числа аварий за год по месяцам. Кроме того, при моделировании учтена

неравномерность годового графика нагрузки, поскольку эта неравномерность сказывается на размере недопоставленной мощности. Этот график принят автором для объекта, описанного в [3] (рисунок 2).

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РИСКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

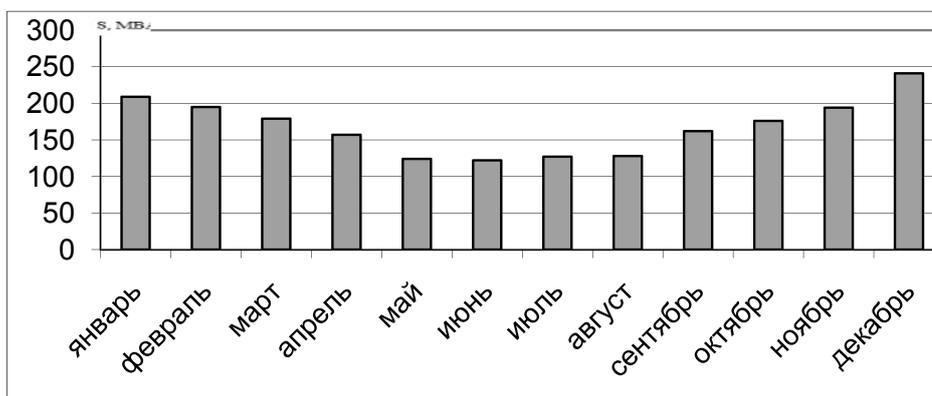


Рисунок 2 - Годовой график нагрузки города

Определенное при помощи модели значение годовой недопоставленной мощности является величиной случайной. Для серии

экспериментов имеется массив случайных величин, представленный на рисунке 3.

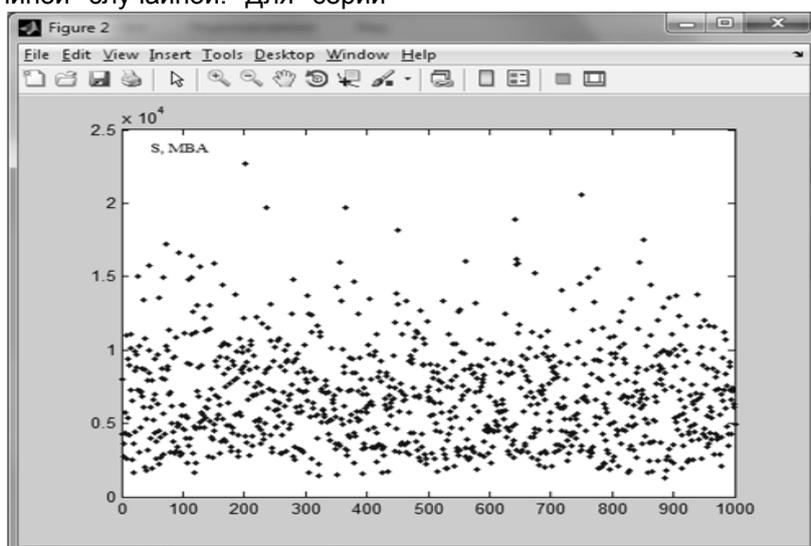


Рисунок 3 – Точечная диаграмма годовой недопоставленной мощности

Статистическая обработка этого массива показала, что распределение случайных величин близко к нормальному закону, что отражено на рисунке 4. Обнаруженная особенность позволяет определить математическое ожидание годовой недопоставки мощности при авариях для конкретной электрической сети. Именно это математическое ожидание является количественной оценкой риска

электроснабжения. Данный показатель характеризует как схему электроснабжения (конфигурацию схемы, ее протяженность, топологию узлов нагрузки), так и величину передаваемой мощности и размер ее аварийной недопоставки, что позволяет в целом оценивать качество электроснабжения и сравнивать между собой различные варианты.

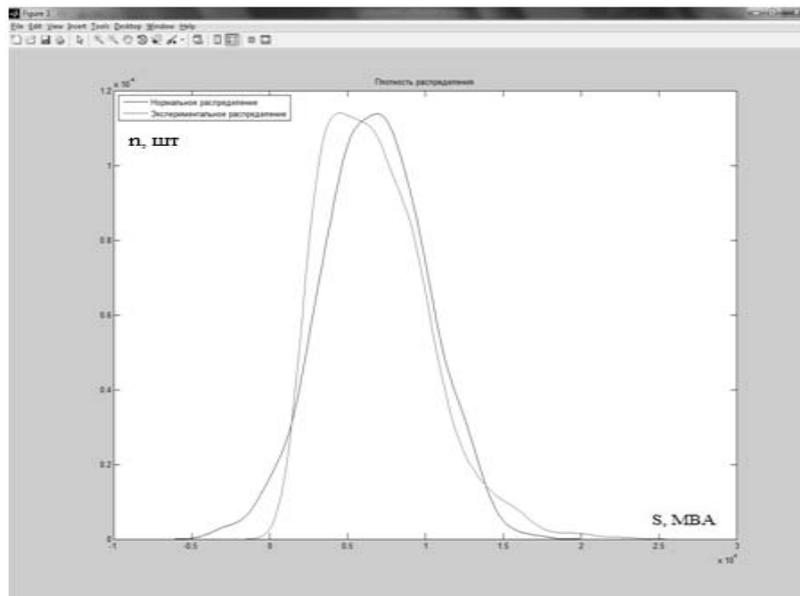


Рисунок 4 – График распределения годовой недопоставленной мощности

Количественная оценка риска по вышеприведенному методу для участка распределительной электрической сети одного из средних городов Сибири (г.Рубцовск) показала, что математическое ожидание годовой недопоставки мощности при авариях составила 18% от расчетной мощности источника питания. Для сравнения можно указать, что для крупных энергосистем размер аварийного резерва мощности принимается на уровне 12%. Следовательно, качество электроснабжения вышеупомянутого города существенно уступает показателю качества крупных энергосистем.

#### Выводы

1. Количественной оценкой риска электроснабжения может служить математическое ожидание годовой недопоставки мощности по причине аварий.
2. Данный показатель обобщенно харак-

теризует качество электроснабжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мусин, А.Х. Риск – показатель качества электроснабжения городов /А.Х. Мусин. - Изв. Вузов. Проблемы энергетики. 2009. №11-12.
2. Мусин, А.Х. Управление риском возникновения аварий в системах электроснабжения 6-10 кВ городов / А.Х. Мусин- Промышленная энергетика. 1998. №11.
3. Мусин, А.Х. Статистическая модель повреждаемости городских кабельных линий 10 кВ / А.Х. Мусин, В.К. Корхонен - Промышленная энергетика. 1991. №8.

**Мусин А.Х.**, д.т.н., профессор, кафедра «Электрификации производства и быта», АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail:[agzam45@mail.ru](mailto:agzam45@mail.ru), тел.: 8 (3852)52-28-39;

**Худорожко С.А.**, аспирант кафедры «Электрификации производства и быта», АлтГТУ им.И.И. Ползунова, тел.: 8 (3852)24-56-82.