

УДК 621.311

И. В. ЖЕЖЕЛЕНКО – д.т.н., професор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, zhezhelenkoiv@gmail.com

В. Е. САРАВАС – к.т.н., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, victoriasaravas@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Введение

Понятие надежности в электроэнергетике является одним из основных, главных понятий, характеризующих энергоэффективность производства, передачи и распределения электрической энергии. В различных нормативных и подобных документах под надежностью понимается свойство объекта (электроустановки, электроэнергетической станции или ее части) обеспечивать требуемые функции (например, бесперебойное электроснабжение потребителей в заданном объеме и нужном качестве) сохраняя свою работоспособность и эксплуатационные показатели. В современных условиях надежность рассматривается также на оптовом рынке (т.е. системная надежность) и на розничном рынке (электросетевая надежность). Надежность как вероятность бездефицитной работы электростанций характеризуется индексом надежности p ; в СНГ нормируется индекс надежности, равный 0.966, что значительно ниже зарубежных нормативов.

Объектом исследования являются системы электроснабжения промышленных предприятий.

Целью работы является определение индекса надежности промышленных систем электроснабжения.

В результате исследований получены выражения для оптимального значения степени надежности с учетом значений приведенных затрат и их составляющих.

1. Расчет индекса надежности

Обеспечение значений p означает снижение вероятностей ограничения электроснабжения, что требует дополнительных капиталовложений в повышение надежности всех составляющих энергосистем (генерирующих мощностей, электрических сетей различных уровней, автоматических устройств и др., а также затрат K на обеспечение резерва генерирующих резервных мощностей $P_{рез}$. Значение K можно представляется в виде

$$K = P_{рез} \cdot K_{уд}, \quad (1)$$

где $K_{уд}$ – удельная стоимость одного киловатта установки генерирующей мощности, долл/кВт.

Ущерб U возникающий из-за нехватки электроэнергии, при отсутствии аварийного резерва

$$U = P_{рез} T y_a q_{деф}, \quad (2)$$

где y_a – удельный ущерб из-за недоотпуска электроэнергии потребителю, долл/кВт ч; $q_{деф}$ – интегральная вероятность возникновения дефицита мощности.

Очевидно,

$$p = 1 - q_{деф}, \quad (3)$$

Из сопоставления выражений для K и U , учитывая, что $U \geq K$, получаем [1]

$$q_{деф} > \frac{K_{уд}}{y_a T}, \quad (4)$$

где $T = 8760$ ч.

Последнее выражение используется обычно с учетом влияния коэффициента эффективности капитальных вложений $E_{уд}$ в течение одного года, а также годовых расходов на амортизацию α_0 , ремонтные работы и обслуживание $\beta_{экон}$; таким образом, окончательно

$$q_{деф} > \frac{K_{уд} (E_{ном} + \alpha_0 + \beta_{экон})}{y_a \cdot T}. \quad (5)$$

Так, например, при $K_{уд} = 2,75$ долл/кВт, $\alpha_0 + \beta_{экон} = 0,05$, $y_a = 0,125$ долл/кВт ч оказывается $q_{деф} \geq 0,04$ и $p = 1 - q_{деф} = 0,996$. При нормировании значений $p = 0,996$ возможен дефицит электроэнергии у потребителя не более ΔT 35 час/г.

За рубежом в ряде стран принимается $p \approx 0,999$ и соответственно дефицит мощности не более 8 час/г.

2. Оптимизация надежности в промышленном электроснабжении

Для распределительных электрических сетей в качестве основных показателей надежности принимаются также:

- а) вероятность ограничения нагрузки потребителей (т.е., нарушение электроснабжения) в сравнении со значениями в нормальном режиме, либо
- б) вероятность непревышения среднегодового относительного недоотпуска электроэнергии сверх некоторого нормированного значения [2].

В качестве критерия оптимальности принимается минимум суммарных экономических затрат:

$$Z_{над} = E_{ном}^{доп} K_{инв}^{над} (\alpha_0 + \beta_{экон}) K_{инв}^{над} + Y_{\Sigma} \rightarrow \min \quad (6)$$

Здесь $E_{ном}^{доп}$ – нормативный коэффициент доходности инвестиций в надежность, $K_{инв}^{над}$ – сумма инвестиций в повышение надежности, α_0 и $\beta_{экон}$ – коэффициенты амортизационных отчислений и эксплуатационных расходов, Y_{Σ} – среднегодовое значение ущерба от нарушений электроснабжения.

На рис. 1 показаны изменения затрат и их составляющих при изменении надежности электроснабжения.

Из рассмотрения рис. 1 следует, что увеличение надежности системы приводит к уменьшению суммарного ущерба, но требует дополнительных инвестиций в резервирование сети и эксплуатационных расходов. Суммарные затраты имеют достаточно широкую зону оптимальности.

Оптимальная степень надежности находится из равенства [3]

$$\frac{\partial Z_{над}}{\partial K_{над}} = 0, \quad (7)$$

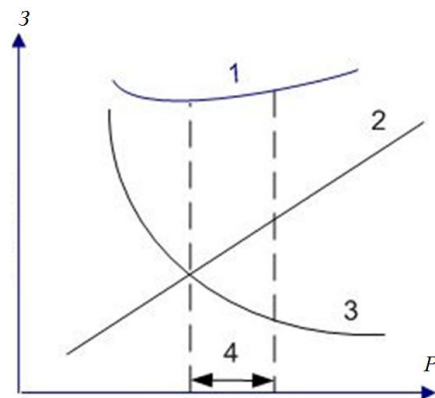


Рис. 1. График изменения затрат и их составляющих при изменении надежности электроснабжения: кривые 1 – минимума суммарных экономических затрат; 2 – инвестиций в повышение надежности; 3 – ущерба от нарушений электроснабжения; 4 – зона оптимальных значений

решение которого

$$\frac{\partial Z_{\text{над}}}{\partial K_{\text{над}}} = E_{\text{норм}}^{\text{доп}} + \alpha_0 + \beta_{\text{экон}} + \frac{\partial Y_{\Sigma}}{\partial K_{\text{над}}} = 0, \quad (8)$$

Отсюда

$$-\frac{\partial Y_{\Sigma}}{\partial K_{\text{над}}} = E_{\text{норм}}^{\text{доп}} + \alpha_0 + \beta_{\text{экон}}. \quad (9)$$

Параметр $\frac{\partial Y_{\Sigma}}{\partial K_{\text{над}}}$ представляет приращение суммарного ущерба на единицу дополнительных инвестиций.

Очевидно, что надежность электроснабжения оказывается оптимальной при равенстве приращения ожидаемого ущерба и суммы доходности инвестиций, амортизационных и эксплуатационных расходов.

Пример. $E_{\text{норм}}^{\text{доп}} = 0,12$, $\alpha_0 = 0,04$, $\beta_{\text{экон}} = 0,09$.

$$\frac{\partial Y}{\partial K_{\text{над}}} = 0,25 \frac{\text{долл./год}}{\text{долл}}.$$

3. Значения индекса надежности

В соответствии с техническими, энергетическими и экономическими особенностями электроэнергетики выделен ряд иерархических уровней надежности электроснабжения потребителей. Территориальные (региональные) распределительные сети 220 – 150 – 110 – 35 – 10(6) кВ, предназначенные для обеспечения отдельных потребителей, отнесены к 3-му уровню. Для электрических сетей этого уровня вероятность бездефицитной работы потребителей была определена И. М. Марковичем величиной $p = 0,996$. В расчетах были приняты следующие показатели: удельная стоимость резервных энергетических мощностей $K_{\text{уд}} = 2,75$ долл. / кВт, удельный ущерб от нарушения электроснабжения $y_0 = 0,075$ долл./кВт·ч. Значения нормативов вероятности бездефицитного электро-

снабжения сегодня в: США – 0,9997, Франции – 0,9977, Нидерландах – 0,9995, Ирландии – 0,9991, Скандинавских странах – 0,999 [4].

В современных экономических условиях (показатели в ценах 2014 года) удельные капитальные вложения в резервную генерирующую мощность составляет: – $K_{\text{уд}} = 5,43$ тыс. долл. / кВт, удельный ущерб при ограничениях нагрузок в диапазоне 5 – 30 % от максимума нагрузки $y_0 = 4...16$ долл. / кВт·ч; относительное значение резерва генерирующей мощности – 0,9755. Оценочные расчеты индексов надежности субъектов электроэнергетики Украины и России до границ раздела балансовой принадлежности электрических сетей потребителей сегодня ниже показателя 0,996 и находятся в пределах 0,96...0,98; при вероятности расчетных отключений электрических сетей суммарный ущерб потребителям составит 0,5...2 млрд. долл. / год (до 1 % ВВП) [5].

В последние годы, с целью обоснования резерва генерирующих мощностей в некоторых западных странах нормируется интегральная вероятность бездефицитной работы: Франция – 3 часа/год, Великобритания и Нидерланды – 4 часа/год, Германия – 8 часов/год.

Выводы

1. Принятое в СНГ значение индекса надежности, равно 0,996, справедливо лишь при учете амортизационных и эксплуатационных затрат.

2. Обосновано применение в качестве критерия, при равенстве оптимизационных значений индекса надежности, минимума приведенных затрат.

3. Повышение надежности (индекса надежности) сверх значения 0,996 сопряжено со значительными дополнительными расходами в размере не менее 0,25 долл. / год / долл.

Библиографический список

1. Актуальные проблемы надежности систем энергетики : материалы Международного семинара им. Ю.Н. Руденко / Под. ред. Короткевич М.А., и др. - Минск: БНТУ, 2015. – Вып.66 – 454 с.
2. Чукреев Ю.Я., Чукреев М.Ю. Модели оценки показателей балансовой надежности при управлении развитием электроэнергетических систем / Ю. Я. Чукреев, М. Ю. Чукреев. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН. – 2014. – 207 с.
3. Непомнящий В.А. Проблемы учета надежности при проектировании и эксплуатации электрических сетей энергосистем / В. А. Непомнящий – СПб.: ПЭИПК, 2010. – 278с.
4. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
5. Жежеленко И. В. Анализ факторов, влияющих на энергетическую эффективность систем электроснабжения / И. В. Жежеленко, В.Е. Саравас,

Г. Г. Трофимов // Энергетика та електропостачання промислових підприємств. Енергетичний менеджмент. – 2017. – №.1(37). – Кременчуг: из-во КНТУ ім. М. Остроградського, 2017. – С.56-62.

Ключові слова: електричні мережі, енергетична ефективність, втрати електроенергії, якість електричної енергії.

Ключевые слова: электрические сети, энергетическая эффективность, потери электроэнергии, качество электрической энергии.

Keywords: electrical networks, energy efficiency, energy losses, power quality, Total Harmonic Distortion.

Рецензенти:

д.т.н., проф. В. А. Роянов,
д.т.н., проф. А. М. Муха.

Поступила в редколлегию 06.02.2017.
Принята к печати 17.02.2017.