

УДК 621.317

В. Г. ДЕРЗСКИЙ, д-р техн. наук

В. Ф. СКИБА, инженер

Институт проблем моделирования в энергетике им. Г. Е. Пухова НАН Украины, г. Киев.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ СЛУЧАЙНОСТИ

Показаны преимущества многокритериального подхода к оптимизации режимов распределительных сетей.

Показано переваги багатокритеріального підходу до оптимізації режимів розподільних мереж.

1. Современное состояние и проблемы оптимизации режимов распределительных электросетей

Насовременномэтаперазвитияэнергетикиуправлениераспределительнымиелектросетями (РЭС) требует качественно иного подхода к оптимизации режимов их работы. Это обусловлено снижением показателей надежности энергетического оборудования из-за выработки ресурса, большими потерями активной и реактивной мощности из-за несимметрии токовой загрузки фаз линий, неполнофазных режимов, несанкционированного отбора электроэнергии, низким качеством электроэнергии, недостаточной мощности компенсирующих устройств и т. д.

Перечисленное свидетельствует о том, что в нормальном режиме значения параметров, определяющих надежность, качество и экономичность передачи, распределения и поставки электроэнергии близки к границам допустимости. Структурная оптимизация режима сети, направленная на улучшение одного из них, что имеет место при одноцелевой оптимизации, неизбежно вызывает ухудшение других. Например, минимизация суммарных потерь активной мощности «задирает» уровни напряжений в узлах сети. При отсутствии регулирующих устройств рост напряжений в узлах в соответствии со статическими характеристиками нагрузки приводит к увеличенному потреблению мощности и энергии. Следствием этого является нарушение балансов мощности и энергии в системе.

В настоящее время считается, что оптимальный режим распределительной сети должен быть прежде всего допустимым, т. е. удовлетворять условиям надежности электроснабжения и качества электроэнергии. Последние учитываются в виде ограничений на контролируемые параметры режима. Параметры надежности электроснабжения и качества электроэнергии не должны превышать допустимых значений, так как в противном случае распределительная сеть не сможет выполнять своих функций. В то же время работа сети с большими потерями мощности может быть допустимой, однако экономически нецелесообразной, так как сопровождается дополнительными затратами на компенсацию сверхнормативных потерь электроэнергии.

Однако оптимальный режим должен быть и наиболее экономичным среди допустимых режимов. Поэтому структурная оптимизация выполняется в два этапа:

– этап первый: ввод параметров надежности и качества электроэнергии в заданные ограничения;

– этап второй: оптимизация параметров экономичности передачи и распределения электроэнергии.

Таким образом, в настоящее время оптимизация режимов распределительных сетей подразделяется на решение отдельных задач, таких как

- минимизация суммарных потерь активной мощности;
- компенсация избыточных перетоков реактивной мощности;
- повышение качества электроэнергии по напряжению.

Достигается это с помощью технических решений, таких, например, как переход на систему

«глубокий ввод» 10/0,4 кВ с целью снижения длины линий 0,38 кВ; замена недогруженных (перегруженных) или подключение новых распределительных трансформаторов; внедрение однострансформаторных подстанций 35–154 кВ с автоматическим резервированием по сети 10 кВ с целью снижения потерь холостого хода и повышения надежности электроснабжения; развитие сетей 35–154 кВ с целью приближения центров питания к потребителям и снижения длины фидеров 10 кВ; выбор количества, мощности и мест размещения устройств компенсации реактивной мощности и т.д. Выбор того или иного технического решения зависит от вида нарушения технологии передачи и распределения электроэнергии. Например, степень износа оборудования зависит от срока его эксплуатации; состояние источников реактивной мощности определяет величину потоков избыточной реактивной мощности и т. д. [3].

Решается по сути одноцелевая оптимизационная задача: с помощью технических решений минимизируются или потери активной мощности, или переток некомпенсированной реактивной мощности, или отклонение напряжения в контролируемых узлах сети.

Одноцелевая оптимизация режимов распределительных сетей, являясь частным случаем многоцелевой, в сложившихся условиях работы распределительных сетей недостаточна и недопустима. Необходимо расширить число критериев и оптимизировать режим не по одному критерию, а по вектору критериев одновременно. При этом под критерием понимается выходной контролируемый параметр, характеризующий степень достижения поставленной цели.

Поскольку внедрение технических решений сопровождается ростом параметров качества электроэнергии, надежности и экономичности работы распределительной сети, следовательно, имеет место системный, комплексный характер влияния технических решений на указанные параметры. Поэтому целесообразно использовать многоцелевой подход, т.е. вместо одного критерия и ограничений, применить весь набор выбранных критериев в натуральной форме.

Выбор варианта технического решения одновременно по критериям, характеризующих надежность, качество и экономичность режима работы распределительной сети, обеспечивает выбор такого режима, который, не будучи оптимальным ни по одному из критериев, оказывается наиболее приемлемым по совокупности критериев.

Поскольку цели управления режимами противоречивы, а исходные данные носят случайный характер, процесс принятия наилучших решений требует формализации, т. е. надежных и работоспособных методов, моделей и программных средств.

Основная цель исследования создание методологии и практического инструментария (методов, моделей, алгоритмов и программ) многокритериальной структурной оптимизации режимов распределительных электросетей в условиях рыночных отношений и случайности исходных данных. Указанная разработка позволит получить универсальный инструментарий для решения перечисленных выше задач оптимизации режимов распределительных сетей. При этом точность и достоверность результатов повышается благодаря учету целого ряда факторов, нарушающих технологию передачи и распределения электроэнергии.

2. Формирование вектора критериев

По Закону Украины "Про електроенергетику" [2] поставщики электроэнергии обязаны обеспечить надежное снабжение потребителей качественной электроэнергией наиболее экономичным способом. Поэтому в сложившихся условиях работы распределительных сетей необходимо контролировать критерии надежности, качества и экономичности электроснабжения потребителей.

Надежность характеризует согласованное с потребителем число кратковременных отключений $n_{отк}$, продолжительностью не более $t_{отк}$ часов в год:

$$\begin{aligned} n_{отк} &\geq n_{зад} \\ t_{отк} &\geq t_{зад}. \end{aligned}$$

Поступления активной мощности P_{nc} в распределительную сеть в каждый момент времени t расчетного периода t_p на всех классах напряжения U должны покрывать суммарную активную мощность нагрузки потребителей $P_{наг}$ и потери активной мощности в линиях и трансформаторах сети ΔP_c

$$\sum_U \sum_t P_{nc} \geq \sum_U \sum_t P_{наг} + \sum_U \sum_t \Delta P_c, \quad U \subset 154-0,38 \text{ кВ}, \quad t = t_1, t_2, \dots, t_n.$$

Величина $\sum_U \sum_t \Delta P_c$ не должна превышать нормативное значение потерь электроэнергии $\Delta \mathcal{E}_{норм}$, при котором обеспечивается надежное и качественное электроснабжение потребителей в расчетный период

$$\sum_U \sum_t \Delta P_c \leq \Delta \mathcal{E}_{норм}.$$

В процессе эксплуатации возникают нарушения технологии передачи и распределения электроэнергии. Наиболее существенными нарушениями являются: износ оборудования (линий, трансформаторов); случайная несимметрия токовой нагрузки фаз линий; неполнофазные режимы; некомпенсированные перетоки реактивной мощности; несанкционированный отбор электроэнергии; эффект нелинейности ТРЭ; незапланированные (аварийные) переключения в схеме; недоучет потребления электроэнергии из-за погрешностей ИК.

Перечисленные нарушения вызывают дополнительные (сверхнормативные) потери активной мощности (энергии) в элементах сети. В результате имеет место неравенство

$$\sum_U \sum_t \Delta P_c \geq \Delta \mathcal{E}_{норм} = \Delta \mathcal{E}_{норм} + \Delta \mathcal{E}_{сверх}.$$

Наличие сверхнормативных потерь мощности (энергии) увеличивает суммарную активную мощность нагрузки, что нарушает баланс мощности (энергии) в сети

$$\sum_U \sum_t P_{nc} \leq \sum_U \sum_t P_{наг} + \sum_U \sum_t (\Delta P_{сети} + \Delta P_{сверх}),$$

что, в свою очередь, увеличивает число и продолжительность кратковременных отключений потребителей в расчетный период, т. е. снижает надежность электроснабжения

$$\begin{aligned} n_{отк} &\geq n_{зад} \\ t_{отк} &\geq t_{зад}. \end{aligned}$$

В качестве критерия надежности принимаем ежегодные **затраты на компенсацию ущерба от нарушений надежности электроснабжения потребителей**

$Z_{ком} = \sum_j (\alpha_j + \beta_j \Delta t_{jсверх})$, где α_j, β_j – коэффициенты удельных ущербов j -го потребителя

от перерывов электроснабжения

$$\Delta t_{jсверх} = t_j - t_{зад},$$

где t_j – фактическая продолжительность перерыва электроснабжения j -го потребителя;

$t_{зад}$ – согласованная с потребителем продолжительность кратковременных отключений;

$\Delta t_{jсверх}$ – превышение договорной продолжительности перерывов электроснабжения j -го потребителя.

Наличие сверхнормативных потерь мощности (энергии) увеличивает потери напряжения в элементах сети

$$\Delta U_{л} = \frac{(P_{нагр} + \Delta P_{сверх})r_{л} + Q_{нагр}x_{л}}{U_{ном}},$$

что снижает вероятность попадания случайных значений фазных напряжения на зажимах потребителя в интервал нормированного качества электроэнергии

$$P(-5\%U_{ном} \leq U \leq +5\%U_{ном}) \geq 0,95, \quad U = U_a, U_b, U_c.$$

Поэтому **критерием качества электроснабжения принимаем вероятность попадания напряжения на зажимах наиболее удаленного потребителя в нормированный интервал.**

В качестве критериев экономичности принимаем

- технологический расход электроэнергии (ТРЭ) на ее передачу в расчетный период;
- приведенные затраты, связанные с реализацией технического решения.

ТРЭ – интегральный показатель экономичности работы распределительных сетей

$$\Delta \mathcal{E} = \int_0^{t_p} \Delta P(t) dt.$$

Величина ТРЭ характеризует степень полезного использования отпущенной электроэнергии; отклонения от оптимальной схемы электрической сети и режима ее работы по напряжению, реактивной мощности, коэффициентам трансформации; загрузку сети, уровень автоматизации ведения режима; влияет на величину розничных тарифов на электроэнергию. Снижение ТРЭ – важный фактор энергосбережения.

Приведенные затраты, связанные с реализацией технического решения,

$$Z_p = E_n K(\mathcal{C}) + I + I_{ном} + I_y,$$

где Z_p – приведенные затраты;

K – разовые капитальные вложения;

\mathcal{C} – цена технического решения; I – ежегодные издержки; $I_{ном}$ – ежегодные затраты на компенсацию потерь активной мощности в электрической сети;

I_y – ущерб, обусловленный нарушением надежности электроснабжения потребителей.

Критерием называется выходной контролируемый параметр, характеризующий степень достижения поставленных целей. В итоге вектор критериев структурной оптимизации режимов распределительных сетей имеет вид

$$K = \{Z_{ком}, U, \Delta \mathcal{E}, Z_p\}.$$

3. Построение однокритериальных функций полезности

Частные критерии $\{Z_{ком}, U, \Delta \mathcal{E}, Z_p\}$ непрерывны, так как их уровни образуют континуумы в определенных границах, связаны между собой функционально, имеют различное направление оптимизации (U следует увеличить, $Z_{ком}, \Delta \mathcal{E}, Z_p$ – уменьшить), различный физический смысл, равнозначны (без приоритетов). Основной информацией для расчета частных критериев служат результаты расчета установившегося режима распределительной электрической сети облэнерго и технико-экономического расчета.

Чтобы объединить все частные критерии различного физического смысла с различными шкалами измерения одной числовой характеристикой в относительных единицах и тем самым выполнять операции над ними, судить о предпочтениях различных критериев в заданных диапазонах их изменения, отказаться от использования весовых коэффициентов, свести задачу максимизации одной группы критериев и минимизации другой группы к задаче максимизации полезностей по всем критериям необходимо построить так называемые функции полезности критериев.

Функция полезности — оценка относительного предпочтения критерия k в достижении локальной цели. Критерий k_1 предпочтительнее критерия k_2 тогда и только тогда, когда полезность критерия k_1 больше, чем полезность критерия k_2

$$k_1 \succ k_2 \leftrightarrow v(k_1) \succ v(k_2).$$

Построение функции полезности по критериям предполагает определение границ изменения критериев $k_i^{min} \leq k_i \leq k_i^{max}$, $i = 1, 2, \dots, M$; расчет штрафных функций, характеризующих ущерб, возникающий при нарушении допустимых границ, отклонения критерия от оптимальных (номинальных) значений внутри допустимых границ, приближении критерия к допустимым границам; получение аналитического выражения функции полезности по критерию.

В условиях случайности исходных данных эффективность технического решения оценивается по результатам расчетов вектора критериев, образующих множество случайных значений каждого критерия, которые, будучи взвешенными по вероятностям, дают плотность распределения вероятностей случайной величины k_i в заданном интервале $k_i^{min} \leq k_i \leq k_i^{max}$. Предполагаем, что распределение случайных значений рассматриваемых критерия является нормальным.

3.1. Построение функции полезности критерия качества электроэнергии по напряжению

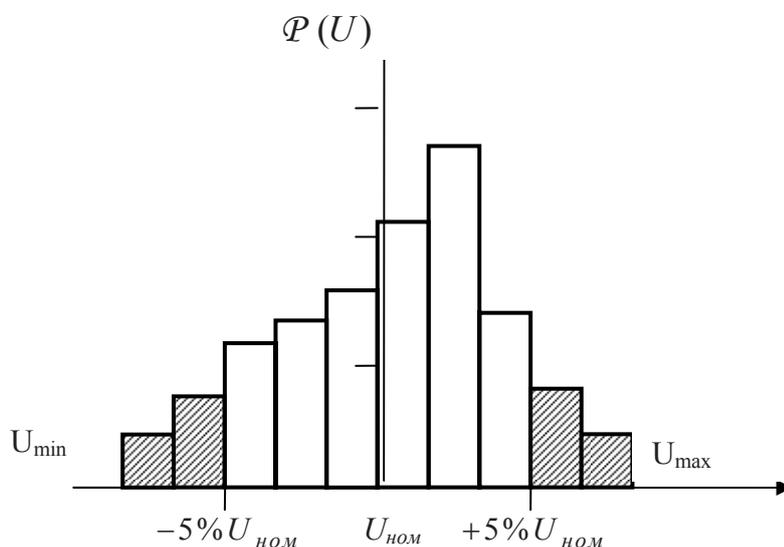


Рис. 2. Гистограмма случайной величины напряжения U .

Вероятность того, что случайная величина U попадет в нормально допустимые пределы участка $\pm 0,5\%U_{ном}$

$$\mathcal{P} \{0,95U_{ном} < U < 1,05U_{ном}\} = \Phi \left(\frac{1,05U - U_{ном}}{\sigma_U} \right) - \Phi \left(\frac{0,95U - U_{ном}}{\sigma_U} \right),$$

где $\Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^U e^{-\frac{U^2}{2}} dU$ – функция Лапласа [5].

Если $\mathcal{P}(-5\%U_{ном} \leq U \leq +5\%U_{ном}) < 0,95$, необходимо расширить границы и, проводя расчеты режима, достичь выполнения условия

$$\mathcal{P} \{-\alpha\%U_{ном} < U < \alpha\%U_{ном}\} = \Phi \left(\frac{\alpha\%U - U_{ном}}{\sigma_U} \right) - \Phi \left(\frac{-\alpha\%U - U_{ном}}{\sigma_U} \right) \geq 0,95.$$

Найденные значения пределов $\pm\alpha\%U_{ном}$ используются для расчета ущерба от некачественного напряжения.

Функция ущерба от некачественного напряжения есть разница между вероятностями

$$\begin{aligned} Y(U_{\omega}) &= \mathcal{P} \{-\alpha\%U_{ном} < U < +\alpha\%U_{ном}\} - \mathcal{P} \\ &= \Phi \left(\frac{+\alpha\%U_{ном} - U_{ном}}{\sigma_U} \right) - \Phi \left(\frac{-\alpha\%U_{ном} - U_{ном}}{\sigma_U} \right) - \\ \{-5\%U_{ном} < U < +5\%U_{ном}\} &= -\Phi \left(\frac{5\%U_{ном} - U_{ном}}{\sigma_U} \right) - \Phi \left(\frac{-5\%U_{ном} - U_{ном}}{\sigma_U} \right). \end{aligned}$$

Если выполняется условие $\mathcal{P}(-5\%U_{ном} \leq U \leq +5\%U_{ном}) \geq 0,95$, функцию полезности можно считать максимальной: $v(U) = \max v(U) = 1$.

С учетом ущерба функция полезности критерия качества электроэнергии по напряжению принимает вид

$$\begin{aligned} v(U_{\omega}) = \max v(U_{\omega}) - Y(U_{\omega}) &= 1 - \Phi \left(\frac{+\alpha\%U_{ном} - U_{ном}}{\sigma_U} \right) - \Phi \left(\frac{-\alpha\%U_{ном} - U_{ном}}{\sigma_U} \right) - \\ &- \Phi \left(\frac{5\%U_{ном} - U_{ном}}{\sigma_U} \right) - \Phi \left(\frac{-5\%U_{ном} - U_{ном}}{\sigma_U} \right). \end{aligned}$$

3.2. Построение функции полезности ежегодных затрат на компенсацию ущерба от нарушения надежности электроснабжения потребителей

Введем ограничение по объему финансирования технического решения: величина компенсации ущерба не должна превышать заданного значения $Z_{ком}^{зад}$

$$Z_{ком} \leq Z_{ком}^{зад}.$$

Вероятность того, что абсолютная величина отклонения меньше $Z_{ком}^{зад}$

$$\mathcal{P} \left(|Z_{ком} - \bar{Z}_{ком}| < Z_{ком}^{зад} \right) = 2\Phi \left(\frac{Z_{ком}^{зад}}{\sigma_Z} \right).$$

Вероятность $\mathcal{P}(|z_{\text{КОМ}} - \bar{z}_{\text{КОМ}}| > z_{\text{КОМ}}^{\text{зад}})$ представляет собой штрафную функцию или функцию ущерба от превышения допустимой границы $z_{\text{КОМ}}^{\text{зад}}$

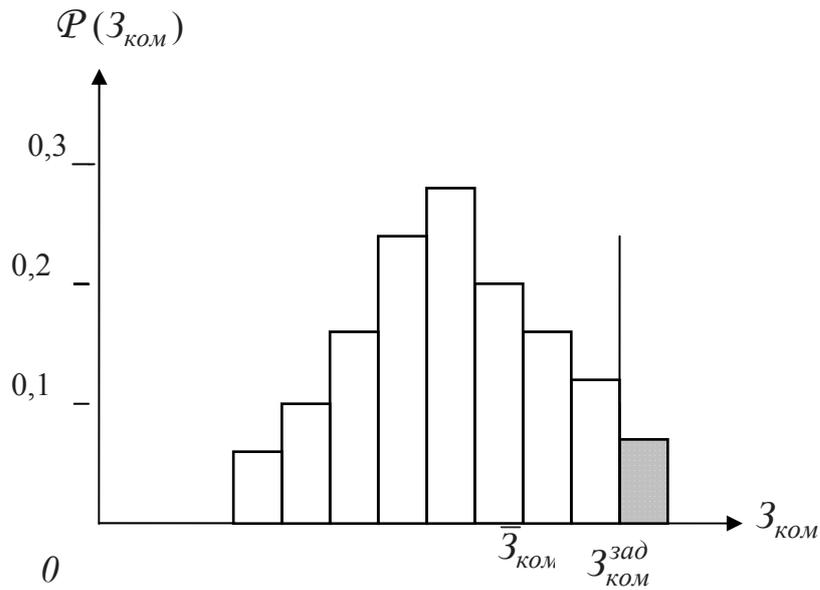


Рис. 3. Гистограмма случайной величины $z_{\text{КОМ}}$

$$Y(\Delta \mathcal{E}) = 1 - \mathcal{P}(|z_{\text{КОМ}} - \bar{z}_{\text{КОМ}}| > z_{\text{КОМ}}^{\text{зад}}) = 1 - 2\Phi\left(\frac{z_{\text{КОМ}}^{\text{зад}}}{\sigma_3}\right).$$

Функция ущерба снижает максимальную полезность критерия $z_{\text{КОМ}}$, поэтому функция полезности имеет вид

$$v(z_{\text{КОМ}}) = 1 - Y(z_{\text{КОМ}}) = 1 - 1 + 2\Phi\left(\frac{z_{\text{КОМ}}^{\text{зад}}}{\sigma_3}\right) = 2\Phi\left(\frac{z_{\text{КОМ}}^{\text{зад}}}{\sigma_3}\right).$$

Построение функции полезности технологического расхода электроэнергии на ее передачу в расчетный период

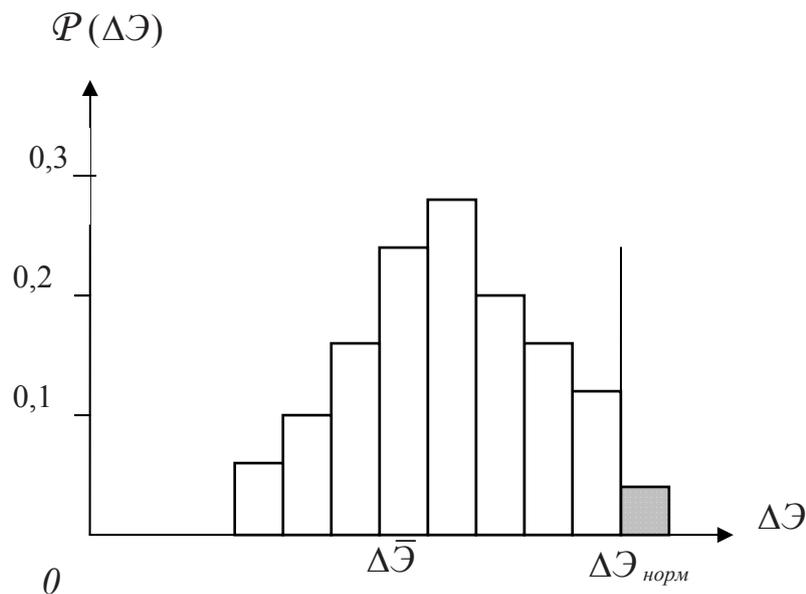


Рис. 3. Гистограмма случайной величины ТРЭ.

Вероятность того, что абсолютная величина отклонения ТРЭ не выйдет за допустимую границу $\Delta\mathcal{E}_{норм}$ (на рис. 3 заштрихованный участок), определяется выражением

$$\mathcal{P}(|\Delta\mathcal{E} - \Delta\bar{\mathcal{E}}| < \Delta\mathcal{E}_{норм}) = 2\Phi\left(\frac{\Delta\mathcal{E}_{норм}}{\sigma_{\Delta\mathcal{E}}}\right).$$

Вероятность $\mathcal{P}(|\Delta\mathcal{E} - \Delta\bar{\mathcal{E}}| > \Delta\mathcal{E}_{норм})$ представляет собой штрафную функцию или функцию ущерба от превышения допустимой границы ТРЭ

$$V(\Delta\mathcal{E}) = 1 - \mathcal{P}(|\Delta\mathcal{E} - \Delta\bar{\mathcal{E}}| > \Delta\mathcal{E}_{норм}) = 1 - 2\Phi\left(\frac{\Delta\mathcal{E}_{норм}}{\sigma_{\Delta\mathcal{E}}}\right).$$

Функция ущерба снижает максимальную полезность критерия $\Delta\mathcal{E}$, поэтому функция полезности имеет вид

$$v(\Delta\mathcal{E}) = 1 - V(\Delta\mathcal{E}) = 1 - 1 + 2\Phi\left(\frac{\Delta\mathcal{E}_{норм}}{\sigma_{\Delta\mathcal{E}}}\right) = 2\Phi\left(\frac{\Delta\mathcal{E}_{норм}}{\sigma_{\Delta\mathcal{E}}}\right).$$

Построение функции полезности приведенных затрат, связанных с реализацией технического решения

Затраты, связанные с реализацией технического решения, не должны превышать заданного значения

$$Z_p \leq Z_p^{\max}.$$

Капитальные вложения (цена) $K(\mathcal{C})$, затраты на эксплуатацию $I_{эксп}$, амортизационные отчисления $I_{ам}$, ущерб от недоотпуска электроэнергии I_y от режима не зависят.

Приведенные затраты Z_p включают разовые капитальные вложения K (цену технического решения \mathcal{C}), ежегодные издержки I , затраты на компенсацию потерь активной мощности в электрической сети $I_{ном}$ и ущерб I_y , обусловленный нарушением надежности электроснабжения потребителей.

Ежегодные издержки I содержат затраты на эксплуатацию $I_{эксп}$ и амортизационные отчисления $I_{ам}$

$$I = I_{эксп} + I_{ам}.$$

В итоге приведенные затраты определяются выражением

$$Z_p = E_n K(\mathcal{C}) + I + I_{ном} + I_y.$$

Максимальный уровень затрат Z_p^{\max} имеет место при максимальных издержках на компенсацию потерь электроэнергии в распределительных сетях $I_{ном}^{\max}$, которые определяются как произведение тарифа T на величину максимальных (сверхнормативных) потерь в электрических сетях $\Delta\mathcal{E}_{\max}$

$$I_{ном}^{\max} = T \cdot \Delta\mathcal{E}_{сверх},$$

где

$$\Delta\mathcal{E}_{сверх} = \Delta\mathcal{E}_{\max} - \Delta\mathcal{E}_{норм}.$$

В случае нарушений электроснабжения по вине энергопоставщика (согласно условий договора на использование электрической энергии) энергопоставщик несет ответственность перед потребителями электрической энергии в размере пятикратной стоимости недоотпущенной электрической энергии I_y .

В итоге максимальный уровень затрат на реализацию технического решения имеет вид

$$Z_p^{\max} = E_n K(\Pi) + I_{\text{эксн}} + I_{\text{ам}} + T \cdot \Delta \mathcal{E}_{\text{сверх}} + I_y.$$

Вероятность того, что абсолютная величина отклонения от среднего значения \bar{Z}_p меньше Z_p^{\max} ,

$$P \left\{ |Z_p - \bar{Z}_p| < Z_p^{\max} \right\} = 2\Phi \left(\frac{Z_p^{\max}}{\sigma_3} \right).$$

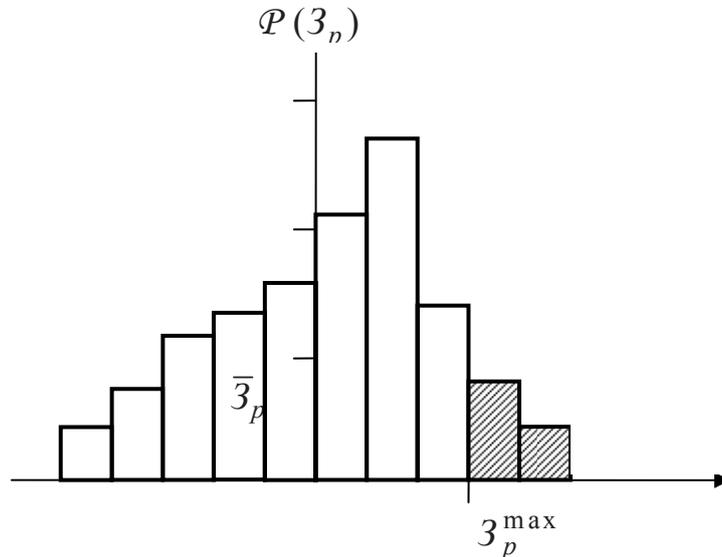


Рис. 4. Гистограмма случайной величины затрат, связанных с реализацией технических решений

Вероятность $P \left(|Z_p - \bar{Z}_p| > Z_p^{\max} \right)$ представляет собой штрафную функцию или функцию ущерба от превышения допустимой границы Z_p

$$Y(Z_p) = 1 - P \left(|Z_p - \bar{Z}_p| > Z_p^{\max} \right) = 1 - 2\Phi \left(\frac{Z_p^{\max}}{\sigma_3} \right).$$

Функция ущерба снижает максимальную полезность критерия Z_p , поэтому функция полезности критерия имеет вид

$$v(Z_p) = 1 - Y(Z_p) = 1 - 1 + 2\Phi \left(\frac{Z_p^{\max}}{\sigma_3} \right) = 2\Phi \left(\frac{Z_p^{\max}}{\sigma_3} \right).$$

Обоснование принципа оптимальности

Точки оптимума, полученные при решении задачи по каждому критерию $k \in K$ отдельно, не совпадают. Если один из критериев достиг своего оптимума, то улучшения по другим частным критериям векторного критерия невозможно. Из этого следует, что решение задачи векторной оптимизации может быть только компромиссным, удовлетворяющим в определенном смысле все частные критерии векторного критерия. Необходима дополнительная информация, уточняющая, в каком смысле следует понимать оптимум по многоцелевому критерию.

В математической модели многокритериального выбора варианта технического решения минимизируются критерии $\{Z_{ком}, \Delta \mathcal{E}, Z_p\}$ и максимизируется критерий U . Полученный векторный критерий полезностей $v(k) = v(k_U), \dots, v(k_{Z_p})$ позволяет выбор предпочтительного варианта технического решения свести к максимизации полезностей по всем критериям

$$optk(A) = \max v(k_i), \quad k_i = U, \dots, Z_p.$$

Максимизация полезностей по критериям может относиться к

- суммарной эффективности $\sum_{k_i} v_m(k_i)$;
- среднему значению (принцип Лапласа) $\bar{v}_m(k_i) = \frac{1}{m} \sum_{k_i} v_m(k_i)$;
- максимальному (доминирующему) результату $\max v_m(k_i)$;
- минимальному (гарантированному) результату $\min v(k_i)$ и другим значениям [4].

Для принятия окончательного решения необходима дополнительная информация, уточняющая, в каком смысле понимать оптимум по многоцелевому критерию. В данном случае в качестве такой дополнительной информации может служить требование удаления критериев от критической границы допустимости.

В условиях случайности оптимальным является вариант технического решения, который обладает максимальной полезностью среди всех минимальных полезностей по критериям

$$optK(M) = \max_M \min_{k_i} v(K) = \max_M \min_{k_i} \{v(Z_{ком}), v(\Delta U), v(\Delta \mathcal{E}), v(Z_p)\}.$$

Минимаксный критерий оптимальности направлен на отыскание компромиссного решения путем максимизации минимальной компоненты вектора критериев и обеспечивает гарантированный результат: все критерии, измеренные в относительных единицах, не хуже, чем $\min v(k_i)$. Тем самым обеспечивается выбор варианта технического решения, у которого наихудший компонент векторного критерия максимально удален от границы допустимости (оси абсцисс).

Инструментарий по выбору оптимального варианта технического решения включает многофункциональный программный комплекс (шифр «Энерголокатор»), предназначенный для автоматизации электротехнических расчетов в распределительных сетях облэнерго в реальных условиях эксплуатации [6].

Пример

На рис. 5 представлены условные векторы функций полезности критериев по трем вариантам технических решений. Из рисунка следует, что вариант 3 превосходит два других по максиминному критерию, поскольку его частный критерий с наименьшей функцией

полезности дальше удален от границы допустимости (оси абсцисс), чем критерии с аналогичными функциями других вариантов технических решений.

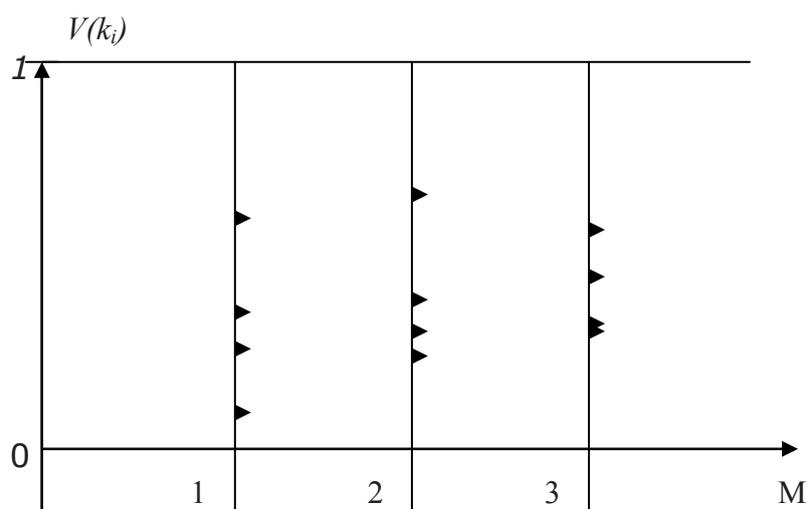


Рис. 5. Условные векторы функций полезности критериев по трем вариантам технических решений

Выводы

1. Выбор варианта технического решения одновременно по критериям, характеризующих надежность, качество и экономичность режима работы распределительной сети, обеспечивает выбор такого режима, который, не будучи оптимальным ни по одному из критериев, оказывается наиболее приемлемым по совокупности критериев.

2. Многокритериальный подход к оптимизации режимов распределительных сетей позволяет получить универсальный инструмент для решения таких задач, как минимизация суммарных потерь активной мощности; компенсация избыточных перетоков реактивной мощности; повышение качества электроэнергии по напряжению.

Список литературы

1. Методы оптимизации режимов энергосистем/В. М. Горнштейн, Б. П. Мирошниченко и др.; —М.: Энергия, 1981.
2. Закон України «Про Електроенергетику» від 27.04 2007 із змінами і доповненнями, внесеними Законами України.
3. Дерзский В. Г., Скиба В. Ф. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в распределительных сетях //Энергосбережение · Энергетика · Энергоаудит. – 2009. – № 6.
4. Кини Р., Райфа Х. Принятие решения при многих критериях: Предпочтения и замещения: Пер. С англ. – М.: Радио и связь, 1981.
5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Госиздат физико-математической литературы, 1958.
6. Многофункциональный программный комплекс для автоматизации электротехнических расчетов в распределительных сетях//Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Серія «Технічні науки». – 2011. – № 1.

MULTIKRITERIUM OPTIMIZATION OF MODES OF DISTRIBUTIVE ELECTRIC SYSTEM IN THE CONDITIONS OF CHANCE

V. G. DERZSKY, Cand. Tech. Scie.

V. F. SKIBA, engineer

Advantages of the multicriterion going are rotined near optimsraton of the modes of distributive networks.

Поступила в редакцию 26.04 2011 г.