

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ НА ОСНОВЕ УЧЕТА УСЛОВИЙ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Говоров Ф.П., Перепеченый В.А.

Харьковская национальная академия городского хозяйства

govorov@sa.net.ua

In this paper, an analysis has been made concerning existing methods of pre-design parameters estimation for the electric power supply networks within a settlement town with few-storeyed buildings. Their deficiency was accentuated. A methodology is offered herein for an optimum power determination of transformer substations, and optimum sections of 0.38 kV power transmission lines taking into account a probability character of the load applied.

Актуальность темы исследований. В период становления рыночных отношений в Украине в условиях энергетического кризиса, обусловленного дефицитом топливных и энергетических ресурсов, одной из первоочередных задач электроэнергетики есть снижение расходов на построение и эксплуатацию систем электроснабжения разного уровня, через которые пропускается большая часть электроэнергии.

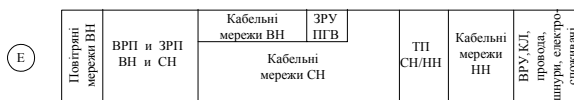
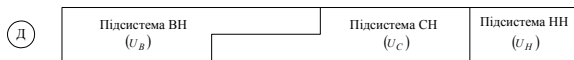
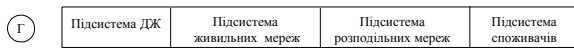
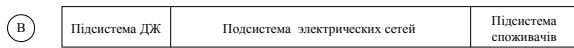
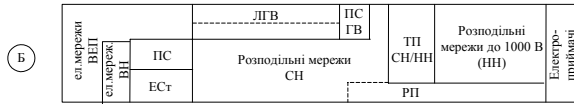
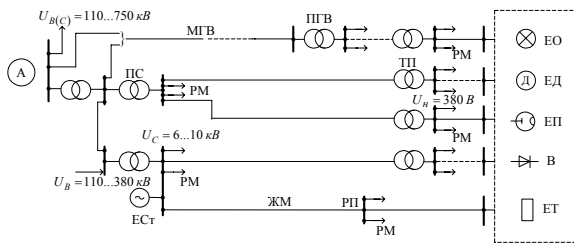
Традиционные пути решения определенной проблемы базируются на узкоориентированном подходе, который предусматривает учет лишь отдельных из показателей эффективности, и только для некоторых отдельных, предварительно определенных условий. Они не учитывают комплексный характер задачи и широкого диапазона изменения ее параметров и условий функционирования во времени. Это значит, что параметры и режимы систем электроснабжения (СЭС), определенные как оптимальные для одних условий, не являются такими для других. Следствием такого подхода является применение предварительно завышенных мощностей трансформаторов и сечений линий. Поэтому повышение эффективности распределительных электрических сетей городов является актуальной задачей большого социально-экономического значения. Изложено выше требует проведения исследований по учету всего многообразия параметров и условий функционирования СЭС, их взаимосвязи и изменения во времени, путем усовершенствования методов проектирования и принципов построения распределительных сетей.

Вопросами повышения эффективности работы распределительных сетей городов занимались В.М.Хрущев, О.А.Глазунов, В.Г.Холмский и много других ученых. Однако, несмотря на это полное решение указанной задачи до сих пор не найдено.

Цель и задачи исследований. Целью работы является усовершенствование математических моделей распределительных электрических сетей городов и их элементов на основе раздельного учета факторов надежности и качества электроснабжения, а также непостоянства входной информации.

Обоснование выбора настоящих исследований. Для достижения поставленной цели осуществлено структуризация СЭС по ряду признаков: технологическому, номинальному напряжению, конструктивному выполнению и функциональному назначению (рис.1). На основе данных анализа определено, что основным параметром городской распределительной электрической сети, которая определяет схему построения и параметры всех других ее элементов, является мощность трансформаторной подстанции. В связи с изменением входных данных, увеличением нагрузок потребителей и изменением принципов планирования городских кварталов установлена необходимость определения наивыгоднейшей мощности трансформаторов ТП, исходя из выбора сечений проводников линий по экономической плотности тока и с учетом ежегодных расходов, а также стоимости годовых потерь электроэнергии. Исходя из анализа методов оптимизации, установлено отсутствие методологических основ применения общих положений и методов системного анализа к задачам оптимального построения схем и выбора параметров СЭС городов. Известные критериальные функции [1] включают один-два традиционных параметра одной из подсистем, и не обеспечивают комплексной оптимизации СЭС городов. Поиск оптимального решения на основе технико-экономических моделей выполняется только по одному из критериев, как правило, экономическому, а учет других критериев осуществляется в виде технических ограничений при неполном их составе, и без учета динамики их изменения во времени, которое не обеспечивает необходимую точность расчетов, особенно если варианты сети по стоимости отличаются незначительно. Исходя из этого необходимым является использование методов многокритериальной оптимизации, и учет динамики изменений параметров СЭС во времени.

Анализ схем и параметров сетей позволяет сделать вывод относительно целесообразности применения самых простых схем сетей и конструкций распределительных устройств и линий при условиях минимизации количества электрооборудования и упрощения его конструкции.



ПГВ – подстанція глибокого вводу; ЛГВ – лінія глибокого вводу; ПС – районна подстанція 110(220)/10(6)кВ; ТП – трансформаторна подстанція 10(6)/0.4 кВ; РЛ – розподільна лінія 10(6) кВ або 0.38 кВ; ЭСт – електростанція; ВЭС – електричні мережі зовнішнього електропостачання; РП – розподільна подстанція 10(6) кВ; ПЛ – живильна лінія 10(6) кВ; ВРУ – ввідне розподільне пристрій; ИП – джерело живлення; ОРУ, ЗРУ – відкрите і закритоє, відповідно, розподільне пристрій; ЭО, ЭД, ЭП, В, ЭТ – освітлювальні, двигальні, перетворювальні, випрямляльні і електротехнологічні електроприймачі; ВН, СН, НН – високе (110 кВ і вище), середнє (6, 10 кВ) і низьке (0.38 кВ) напруги, відповідно

Рисунок 1 - Структура підсистем системи електропостачання міста

Результати дослідження. За основу моделювання схем і параметрів мереж в умовах неопределенності входних даних і багатокритеріальності задачі автоматизованого вибору класу інформаційної ситуації в системах електропостачання міст прийнято рішення, яке базується на понятті розпливчатих множин. В відповідності з цим розроблено алгоритм рішення задачі, який включає:

- формування множини рішень Φ і множини состоящих серед;
- визначення основних показників ефективності, обумовлених з допомогою оцінкового функціонала;
- визначення органом прийняття рішення P інформаційної ситуації, яка характеризує поведінку серед Ic ;
- вибір критерію прийняття рішення з множини критеріїв;
- прийняття за обраним критерієм оптимального рішення.

Задача оптимізації параметрів СЭС міст зведена до визначення функціонала виду

$$F_{\Sigma} = \sum_{j=1}^n f_j(\bar{Z}_j) \cdot \gamma_j \rightarrow \text{extr} \quad (1)$$

де $f_j = \varphi_j(\bar{Z})$ – критеріальна j -а вектор-функція оптимізації; γ_j – її ваговий коефіцієнт j -ої функції; \bar{Z} – вектор змінних параметрів СЭС (активних і реактивних опорів мережі, коефіцієнтів трансформації силових трансформаторів, уставок регулюючих і компенсуючих пристроїв).

Процедура оптимізації схем і параметрів СЭС міст зведена до направленої перебору варіантів, які відрізняються схемами мережі, довжиною і сеченням ліній, законами регулювання напруги в центрах живлення, положеннями відгалужень трансформаторів ТП, параметрами і місцями установки додаткових засобів місцевого регулювання напруги і областю їх зміни в часі. З метою подолання чисельної нескінченності окремих критеріїв, а також їх більш строгої ранжировки здійснено нормування критеріїв шляхом їх приведення до безрозмірного виду на основі застосування

методу експертних оцінок для визначення чисельних значень коефіцієнтів. Для урахування інтегрального характеру критеріїв при умові того, що витрати від зниження надійності і якості електропостачання прийнято пропорційними середньому квадрату відхилень показників від їх номінального значення, критеріальні функції кожного i -го показника економічності, надійності або якості представлені в вигляді другого початкового моменту розподілу показників в часі. Для розгалуженої мережі значення показника додатково “важено” по споживаній потужності, а зміна показників в часі враховано їх “вагою” по споживаній електроенергії.

В результаті цільова функція оптимізації міст зведена до виду

$$F_{\Sigma} = \bar{f}_{\Sigma, \text{еко}} \cdot \gamma_{\Sigma, \text{еко}} + \bar{f}_{\Sigma, \text{соц}} \cdot \gamma_{\Sigma, \text{соц}} \quad \forall \bar{f}_{\Sigma, \text{тех}} \leq \bar{f}_{\Sigma, \text{тех}}^{\text{п}} \leq \bar{f}_{\Sigma, \text{тех}}^{\text{макс}} \quad (2)$$

де $\bar{f}_{\Sigma, \text{еко}} = \bar{f}_{\Sigma} \cdot \gamma_{\Sigma} + \bar{f}_{\Sigma} \cdot \gamma_{\Sigma} + \bar{f}_{\Sigma} \cdot \gamma_{\Sigma}$ – критеріальна функція економічної ефективності; $\bar{f}_{\Sigma}, \bar{f}_{\Sigma}, \bar{f}_{\Sigma}$ – критерії економічності, надійності і якості електропостачання; $\bar{f}_{\Sigma, \text{соц}}, \bar{f}_{\Sigma, \text{тех}}$ – критерії соціальної і технічної ефективності відповідно; $\gamma_{\Sigma, \text{еко}}, \gamma_{\Sigma, \text{соц}}$ – вагові коефіцієнти економічної і соціальної ефективності, відповідно; $\gamma_{\Sigma}, \gamma_{\Sigma}, \gamma_{\Sigma}$ – вагові коефіцієнти показників економічності, надійності і якості, відповідно.

Оцінка фактора соціальної адекватності розглядалась в вигляді ступеня задоволення населення в електроенергії і зв'язаних з нею різного виду послуг, здійснювалась по величині уделеної електропо-

требления на одного жителя. В качестве независимых параметров рассматривались: отклонения, несимметрия и несинусоидальность напряжений, число и время перерывов электроснабжения. В результате критериальная функция социальной адекватности СЭС получена в виде суммы нормированных значений независимых параметров, взвешенных по потребленной электроэнергии:

$$\bar{f}_C = W(N_n \cdot Y_{Nn}; T_n \cdot Y_{Tn}; T_\varepsilon \cdot Y_{\varepsilon\varepsilon}; \delta U \cdot Y_{\delta U}; \delta U_t \cdot Y_{\delta U_t}; K_{ou} \cdot Y_{ou}; K_{2u} \cdot Y_{2u}; K_{нси} \cdot Y_{нси}), \quad (3)$$

где N_n, T_n - число и длительность перерывов электроснабжения; T_ε - тариф на ЭЭ; $\delta U, \delta U_t, K_{ou}, K_{2u}, K_{нси}$ - отклонения, колебания, коэффициенты несинусоидальности, нулевой и обратной последовательностей напряжений; $Y_{Nn}, Y_{Tn}, Y_{\varepsilon\varepsilon}, Y_{\delta U}, Y_{\delta U_t}, Y_{ou}, Y_{2u}, Y_{нси}$ - весовые коэффициенты соответствующих параметров.

Учет влияния каждого из рассмотренных параметров на значение целевой функции осуществлен путем введения в расчеты значений их весовых коэффициентов γ_i , определенных по методу экспертных оценок. Обработка результатов многочисленных исследований по большому числу городов Украины позволило дать количественную оценку указанному влиянию. Учитывая незначительное значение весовых коэффициентов $Y_{Nn}, Y_{Tn}, Y_{\varepsilon\varepsilon}, Y_{\delta U}, Y_{\delta U_t}, Y_{ou}, Y_{2u}, Y_{нси}$ указанное влияние сведены к учету влияния четырех параметров (числа и длительности перерывов электроснабжения, тарифов на электроэнергию и отклонений напряжения) на изменчивость среднего значения социального эффекта

$$\bar{f}_C = W(N_n \cdot Y_{Nn} + T_n \cdot Y_{Tn} + T_\varepsilon \cdot Y_{\varepsilon\varepsilon} + \delta U \cdot Y_{\delta U}) \rightarrow \min, \quad (4)$$

Вероятностные характеристики процесса, полученные на основании данных опроса.

В своей совокупности применение разработанных моделей позволяет давать количественную оценку режимов сЭС с учетом многокритериальности и многопараметричности задачи, а также изменять условия их функционирования.

В качестве критерия экономичности СЭС принят минимум приведенных затрат Z_{np} на передачу и распределение электроэнергии

$$f_\varepsilon = Z_{np} \rightarrow \min \quad (5)$$

За основу исследования СЭС использовались экономические характеристики петлевых и двухлучевых сетей при изменении поверхностной нагрузки от 5000 до 18000 кВА/км². Рассмотрены следующие варианты схем: 1 – петлевые сети СН и НН, с однострансформаторными ТП, а также совместным питанием осветительной и силовой нагрузки; 2 – петлевые сети СН и НН, с однострансформаторными ТП, а также раздельным питанием осветительной и силовой нагрузки; 3 – двухлучевые сети СН и НН, с двухтрансформаторными ТП; 4 – двухлучевые сети СН, с двухтрансформаторными ТП, и петлевыми сетями НН с раздельным питанием осветительных и силовых нагрузок; 5 – двухлучевые сети СН и НН, с двухтрансформаторными ТП, и установкой устройств АВР в РУ 0.4 кВ ТП.

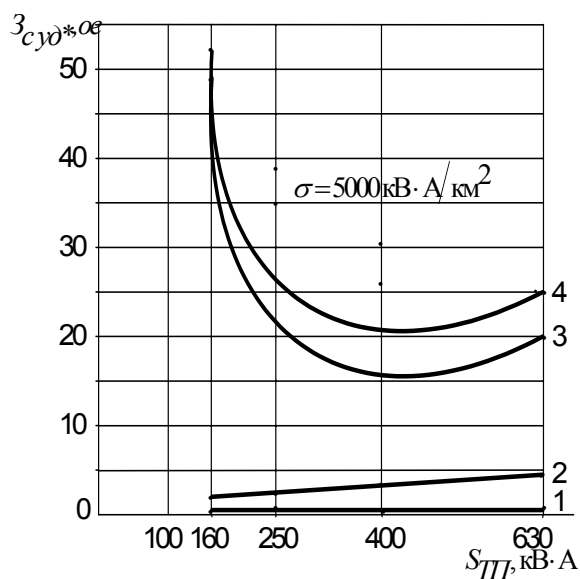
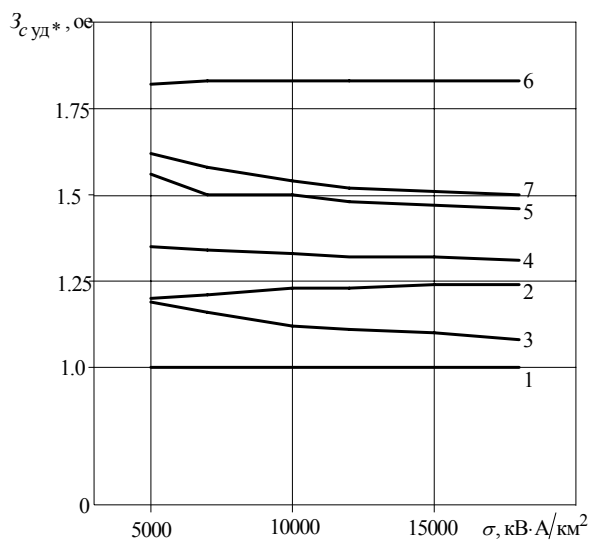
Математическая модель затрат $Z_{c,уд}$ на сеть приведена в виде:

$$Z_{c,уд} = \frac{A_1}{l_0 \cdot n_{ТП}} + S_{y\delta} \cdot \left(\frac{a_n \cdot n_{ТП}}{m_n} + \frac{b_n \cdot \sqrt{n_{ТП}}}{\sqrt{m_n}} \right) \cdot C_1 + B_1, \quad (6)$$

где A_1 – коэффициент влияющий на величину строительной части ТП; B_1, C_1 - коэффициенты определяющие марку и стоимость кабелей и не зависящие от сечения; a_n, b_n - коэффициенты, зависящие от количества подключенных к ТП или линии потребителей; l_0 - среднее расстояние между потребителями, км; $S_{y\delta}$ - удельные нагрузки отдельных потребителей, кВА; $n_{ТП}$ - число нагрузок подключенных к ТП; m_n - число линий 0.38 кВ

отходящих от ТП. На рис.2 представлены зависимости $\bar{Z}_{c,уд}^* = f(\sigma)$ полученные по (6) для различных вариантов схем построения распределительной сети. При этом за основу приняты затраты на сеть первого варианта с ТП 1×630 кВА.

Анализ данных свидетельствует, что при изменении поверхностной плотности нагрузки от 5000 до 18000 кВА/км² наблюдается превышение затрат от базовых. влияние отдельных составляющих приведенных затрат на их суммарную величину приведено на рис.3.



- 1 - составляющая затрат на сети 10 кВ;
 2 - то же на сети 0.38 кВ; 3 - то же на ТП;
 4 - суммарные удельные затраты

Рисунок 3 - Зависимость $Z_{c уд*} = f(S_{ТП})$ при $\sigma = 5000 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{км}^2$.

Анализ зависимостей свидетельствует, что одним из главных факторов, влияющих на $Z_{c уд*}$, являются затраты на ТП, которые составляют от 82 до 90 % от суммарных приведенных затрат, распределительная сеть 10 кВ практически не оказывает влияния на суммарные затраты сети.

Выводы.

1. Созданы и обоснованы математические модели распределительных электрических сетей городов, которые в отличие от известных описывают в целостном виде взаимосвязанные процессы в них, тем самым достигается учет большего числа факторов влияющих на формирование распределительных электрических сетей;
2. Разработаны методологические основы моделирования параметров распределительных электрических сетей городов, которые учитывают многоуровневую иерархическую структуру и неопределенный характер процессов в них, что обеспечивает возможность расчета сетей с учетом взаимного влияния сетей разного напряжения;
3. Даны рекомендации по выбору параметров и схем распределительных электрических сетей городов, с учетом взаимного влияния сетей разного напряжения, а также изменения условий функционирования системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Говоров Ф.П., В.Ф. Говоров В.Ф., Перепеченый В.А. Оптимизация схем и параметров распределительных электрических сетей. // Збірник наукових праць Донецького технічного університету. Серія: "Електротехніка і енергетика". Випуск 50. – Донецьк: ДонНТУ, 2002. – 190 с.
2. Лещинская Т.Б., Метельков А.А. Разработка методики планирования систем электроснабжения районов с малой плотностью нагрузок с учетом неопределенности исходной информации. М.: Агроконсалт, 2003.
3. Говоров П.П., Перепеченый В.О., Ганус О.І. Оптимізація схем та параметрів систем електропостачання міст // Технічна електродинаміка. - К.: Інститут Електродинаміки НАН України. – ч. 4. – 2007. – Тематичний випуск: Силова електроніка і енергоефективність, Ч.2. - с. 93-100.

Рекомендовано д.т.н. Курінним Е.Г.