

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>
Выпуск 6 (25) 2014 ноябрь – декабрь <http://naukovedenie.ru/index.php?p=issue-6-14>
URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/120TVN614.pdf>
DOI: 10.15862/120TVN614 (<http://dx.doi.org/10.15862/120TVN614>)

УДК 621.3.05

Киселев Виктор Федорович
ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Россия, Смоленск¹
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: sfmei_ees@mail.ru

Системный подход при решении оптимизационных задач в электроснабжении

¹ 214013, Смоленск, Энергетический проезд, 1

Аннотация. В статье рассмотрены необходимость и способы реализации системного подхода при решении оптимизационных задач в электроснабжении, суть которого заключается в том, что нахождение оптимальных значений параметров элементов электрической сети целесообразно проводить для системы в целом с учетом взаимосвязи элементов и их влияния друг на друга.

Для реализации системного подхода предложены технико-экономические модели, которые позволяют одновременно оптимизировать как системные, так и локальные параметры системы электроснабжения и модели, позволяющие оптимизировать только локальные параметры системы при заданных системных параметрах. В этом случае взаимное влияние элементов системы предлагается учитывать по их взаимосвязи в процессе функционирования через коэффициенты полезного действия элементов.

Проведен методом последовательной оптимизации анализ различных схем соединения элементов и установлены закономерности их взаимного влияния в системе.

Показано, что экономически целесообразные значения параметров элементов с учетом влияния системы выражаются через соответствующие экономические значения параметров без учета влияния системы и системные коэффициенты, которые определяются числом элементов в системе, их коэффициентами полезного действия, величинами локальных критериев оптимальности и обобщенных констант, характеризующих исходные данные решаемой задачи и учитывают влияние на данный элемент как последующих, так и предыдущих элементов.

Ключевые слова: оптимизация систем электроснабжения; технико-экономические модели; критериальный анализ; системный подход; обобщенные константы; оптимальные значения; последовательная оптимизация; системные параметры.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Киселев В.Ф. Системный подход при решении оптимизационных задач в электроснабжении // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» 2014. № 6 <http://naukovedenie.ru/PDF/120TVN614.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/120TVN614

При выборе параметров элементов системы электроснабжения (СЭС) следует использовать системный подход, суть которого заключается в том, что нахождение оптимальных значений параметров элементов СЭС целесообразно проводить для системы в целом с учетом взаимного влияния элементов, т.е. решать задачу не для отдельно взятого, изолированного элемента, а для сложной и взаимосвязанной их совокупности. Выводы же об экономически целесообразных значениях параметров элементов СЭС без учета их взаимного влияния носят лишь предварительный, ориентировочный характер.

Необходимость системного подхода объясняется тем фактом, что все элементы СЭС связаны непрерывностью процессов производства, преобразования, распределения и потребления электроэнергии.

Для выявления степени взаимосвязи отдельных параметров элементов целесообразно основные зависимости дать в аналитической форме, что позволяет значительно облегчить их анализ.

Будем рассматривать технико-экономические системы, т.е. системы которые характеризуются единством физических, технических и экономических связей. В качестве критерия оптимальности принимаем минимум приведенных затрат.

В технико-экономических системах различают общеэлементные, системные параметры (например, напряжение на данной ступени системы) и местные, локальные параметры, характерные для данного конкретного элемента (например, сечение проводов и кабелей, мощности трансформаторов и т.д.).

Одним из возможных путей реализации системного подхода является составление и анализ технико-экономических моделей, позволяющих одновременно оптимизировать как системные, так и локальные параметры. Особый интерес представляет технико-экономический анализ, так называемых, канонических моделей, который проводится критериальным методом в обобщенной форме [1,2]. В то же время во многих случаях технико-экономические модели не удовлетворяют условиям каноничности.

В зависимости от характера решаемой задачи в практических расчетах используются различные технико-экономические модели элементов СЭС [2,3,4]. Так, например, если для линии электропередач в качестве оптимизируемого параметра рассматривается сечение проводов F , то одним из возможных вариантов модели линии можно записать в виде

$$Z_L = A_0 + A_F F + A_P F^{-1}. \quad (1)$$

Если возникает необходимость оптимизации так же и напряжения линии U , то в качестве другой модели можно рассматривать формулу

$$Z_L = A'_0 + A_U U + A_{FF} F + A'_{PF} F^{-1} U^{-2}. \quad (2)$$

Находит так же применение следующая технико-экономическая модель линии

$$Z_L = A''_0 U U^\alpha + A_{FF} F + A'_{PF} F^{-1} U^{-2}. \quad (3)$$

В качестве технико-экономических моделей трансформаторных подстанций используются выражения

$$Z_T = B_0 + B_{SST} + B_{PS} - 1T. \quad (4)$$

$$Z_T = B'_0 + B_{UU} + B_{SST} + B_{PS} - 1T. \quad (5)$$

$$Z_T = B''_0 U U^\alpha + B_{SST} + B_{PS} - 1T. \quad (6)$$

В формулах (1) – (6) $A_0, A_F, A'_0, A_P, A'_P, A_U, A'_U, B_0, B_S, B_P, B'_0, B_U, B'_U$ – обобщенные константы, которые объединяют целую совокупность свойств отдельных эффектов исследуемого объекта, но не включают оптимизируемые параметры.

Допустим, что технико-экономические модели линий и трансформаторных подстанций описываются соответственно выражениями (2) и (5). Тогда, для СЭС, состоящей из n линий и n трансформаторных подстанций, приняв в качестве оптимизируемых параметров напряжение U , сечение проводов F и мощность трансформаторов S_T технико-экономическая модель будет иметь вид

$$\tilde{Z} = \sum_{i=1}^n [(AU_i + BU_i)U + AF_i F_i + AP_i F_i^{-1} U - 2] + \sum_{i=1}^n (BS_i S_{Ti} + BP_i S_i - 1 T_i). \quad (7)$$

В данной модели исключены постоянная составляющая затрат, которая не зависит от изменения оптимизируемых параметров и не оказывает влияния на величину их экономически целесообразных значений.

Приравнявая к нулю производные уравнения (7) по оптимизируемым параметрам, получим их экономически целесообразные

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{Э}} &= \left[\frac{2 \sum_{i=1}^n (A_{Fi} A_{Pi})^{1/2}}{\sum_{i=1}^n (A_{Ui} + B_{Ui})} \right]^{1/2}; \\ F_{\text{Э}} &= \frac{1}{U_{\text{Э}}} \left(\frac{A_{Pi}}{A_{Fi}} \right)^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{A_{Pi} \sum_{i=1}^n (A_{Ui} + B_{Ui})}{2 A_{Fi} \sum_{i=1}^n (A_{Fi} A_{Pi})^{\frac{1}{2}}} \right]^{\frac{1}{2}}; \\ S_{T\text{Э}} &= \left(\frac{B_{Pi}}{B_{Si}} \right)^{1/2}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Из (8) следует, что экономические значения оптимизируемых параметров зависят от технико-экономических показателей учитываемых элементов и их числа, что еще раз указывает на необходимость системного подхода с учетом взаимного влияния элементов при решении оптимизационных задач.

В ряде задач значение системных параметров заранее бывает заданным, например, напряжение сети. В этих случаях взаимное влияние элементов СЭС при оптимизации локальных параметров может быть учтено по их взаимосвязи в процессе функционирования.

В системе электроснабжения отдельный элемент влияет на предыдущий и последующий тем, что он является звеном, через которое проходит часть или вся энергия, которая изменяется в общем случае качественно и количественно (трансформация напряжения, преобразование частоты и т.п.). Количественные изменения электроэнергии, проходящей через какой-либо элемент системы, можно характеризовать коэффициентом полезного действия η (КПД) этого элемента

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \frac{\Delta P_i}{P_i}}, \quad (9)$$

где P_i и ΔP_i – соответственно, мощность на выходе i -го элемента и потери мощности в нем.

Рассмотрим учет взаимного влияния элементов СЭС на примере сети, представленной на рис. 1.

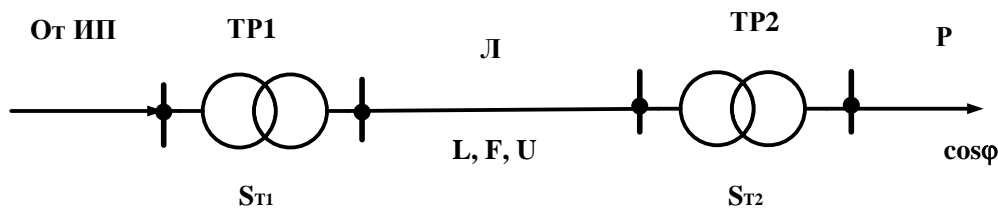


Рис. 1. Схема сети

Задача состоит в нахождении оптимальных значений основных локальных параметров системы (сечения проводов линии и мощностей трансформаторов) при заданных исходных данных. Условимся считать, что значения основных параметров системы изменяются непрерывно, что позволит применить к решению оптимизационных задач классические методы решения экстремальных задач в математике.

Будем считать, что для каждого элемента СЭС приведенные затраты Z_i (без учета постоянной составляющей) определяются выражением

$$Z_i = A_{1i}X_i + A_{2i}X_i^{-1}, \quad (10)$$

что соответствует технико-экономическим моделям линий (1) и трансформаторных подстанций (4).

В выражении (10) X_i – оптимизируемый параметр; A_{1i}, A_{2i} – обобщенные константы i -го элемента, характеризующие исходные данные.

Экономические значения параметров и затрат

$$X_{i\text{э}} = \sqrt{\frac{A_{2i}}{A_{1i}}}; \quad Z_{i\text{э}} = 2\sqrt{A_{1i}A_{2i}}. \quad (11)$$

Для принятого критерия оптимальности параметры и обобщенные константы моделей линии (1) и трансформаторной подстанции (4) определяются следующим образом

$$\left. \begin{aligned} X_L = F; \quad A_{1L} = a'_{1l}; \quad a'_{1l} = a_1 p_l; \quad p_l = p_n + p_{ал}; \\ A_{2L} = \frac{P^2 \rho \tau_l l C_l}{U^2 \cos^2 \varphi} \\ X_T = S_T; \quad A_{1T} = b'_{1l} + b_x T C_x; \quad b'_{1l} = b_1 p_m; \quad p_m = p_n + p_{ам}; \quad (12) \\ A_{2T} = \frac{P^2 b_k \tau_T C_k}{\cos^2 \varphi} \end{aligned} \right\}$$

где F – сечение проводов, мм^2 ; S_T – мощность трансформатора, $\text{кВ} \cdot \text{А}$; p_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; $p_{ал}, p_{ам}$ – соответственно, коэффициенты, учитывающие отчисления на текущий ремонт и амортизацию для линий и трансформаторов; P – максимальная нагрузка, кВт ; l – длина линии, км ; U – номинальное напряжение элемента, кВ ; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки; ρ – удельное сопротивление материала проводов, $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{км}$; T – время работы элемента в году, час. ; τ_l, τ_T – соответственно, время наибольших потерь мощности для линий и трансформаторов, час. ; C_l, C_x, C_k – соответственно, стоимость потеряннного $\text{кВт} \cdot \text{ч}$ электроэнергии в линиях и трансформаторах (холостой ход и короткое замыкание), $\text{руб.} / \text{кВт} \cdot \text{ч}$; a'_{1l} – коэффициент пропорциональности, учитывающий стоимость 1 км линии от сечения проводов, $\text{руб.} / \text{мм}^2 \cdot \text{км}$; b_1 – коэффициент пропорциональности, учитывающий зависимость стоимости трансформатора от мощности, $\text{руб.} \cdot \text{кВ} \cdot \text{А}$; b_x, b_k –

коэффициенты пропорциональности, учитывающие зависимость потерь мощности холостого хода и короткого замыкания, соответственно, от мощности трансформатора, кВт/кВ·А.

Если при оптимизации сечения линии F и мощностей трансформаторов S_{T1} и S_{T2} не учитывать взаимного влияния элементов, то экономические значения искомых параметров в соответствии с (11) рассчитываются по формулам

$$F_{\Sigma} = \sqrt{\frac{A_{2L}}{A_{1L}}}; S_{T1\Sigma} = \sqrt{\frac{A_{2T1}}{A_{1T1}}} S_{T\Sigma} = \sqrt{\frac{A_{2T2}}{A_{1T2}}}. \quad (13)$$

Учитывая КПД элементов, суммарные затраты на рассматриваемую сеть можно записать в следующем виде [3]

$$Z_{\Sigma} = A_{11}S_{T1} + \frac{A_{21}}{\eta_{T2}^2 \eta_L^2} S_{T1}^{-1} + A_{12}F + \frac{A_{22}}{\eta_{T2}^2} F^{-1} + A_{13}S_{T2} + A_{23}S_{T2}^{-1}. \quad (14)$$

С учетом (9) для линий и трансформаторов КПД определяются следующими выражениями

$$\eta_L = \frac{1}{1 + \frac{P\rho l}{U^2 F \cos^2 \varphi}} = \frac{1}{1 + \frac{d}{F}}, \quad (15)$$

Где

$$d = \frac{P\rho l}{U^2 \cos^2 \varphi};$$

$$\eta_T = \frac{1}{1 + \frac{b_x S_T}{P} + \frac{P b_K}{S_T \cos^2 \varphi}} = \frac{1}{1 + a S_T + b S_T^{-1}}, \quad (16)$$

где

$$a = \frac{b_x}{P}; b = \frac{b_K P}{\cos^2 \varphi}.$$

Подставив эти выражения в уравнение (14) и, оптимизируя его по искомым параметрам, можно определить их экономически целесообразные значения с учетом взаимосвязи элементов и установить закономерности их взаимного влияния в системе.

Для установления этих закономерностей был проведен методом последовательной оптимизации [3,4,5] анализ простых схем, которые, однако, в полной мере отражают специфику соединения элементов в сложных схемах сети (последовательное, параллельное, смешанное соединение элементов). Сущность этого метода заключается в последовательной оптимизации каждого элемента системы, начиная с первого по ходу поступления энергии [6,7,8]. Все последующие элементы учитываются своими КПД, а учет влияния предыдущего элемента осуществляется через КПД данного элемента.

По результатам проведенного анализа установлены закономерности, сделаны общие выводы о взаимном влиянии элементов в СЭС и его учёте при решении оптимизационных задач и показано, что экономически целесообразные значения параметров с учетом влияния системы F_{Σ}^C , $S_{T1\Sigma}^C$, $S_{T2\Sigma}^C$ могут быть определены через соответствующие экономические значения параметров без учета влияния системы и системные коэффициенты K_1 , K_2 , K_3 [3,9,10].

Эти выражения имеют вид

$$S_{T1Э}^C = S_{T1Э} \frac{1}{K_{TЭ}}; F_{Э}^C = F_{Э} \frac{K_{2Л}}{K_{1Л}}; S_{T2Э}^C = S_{T2Э} \frac{K_{2Т}}{K_{1Т}}. \quad (17)$$

Системные коэффициенты и их значения, в основном, определяются числом элементов в системе, их КПД, величинами локальных критериев оптимальности и обобщенных констант, которые характеризуют исходные данные решаемой задачи.

Проделанные расчеты по оптимизации параметров элементов районной электрической сети с учетом взаимного влияния показали, что неучёт взаимного влияния элементов системы может приводить к ошибкам, превышающим погрешность исходных данных и принятую погрешность расчетов, особенно для элементов с низким КПД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов Ю.Н., Веников В.А. и др. Кибернетика электрических систем. -М.: Высш.шк., 1974, -328 с.
2. Гордиевский И.Г., Лордкипанидзе В.Д. Оптимизация параметров электрических сетей. -М.: Энергия, 1978. -144 с.
3. Гордиевский И.Г., Киселев В.Ф. Оптимизация параметров электрических сетей с учетом взаимного влияния элементов. -Смоленск, ОКП Ленинградского отделения ВГПИ и НИИ «Сельэнергопроект». 1990.-51 с.
4. Киселев В.Ф., Солопов Р.В. Оптимизация параметров систем электроснабжения с учетом функциональных ограничений. Энергетика, информатика, инновации – 2014 –ЭИИ: Сб. трудов IV Межд. науч.-техн. конф. В 2 т. Т.2 - Смоленск: Универсум, 2014. – С.38-41.
5. Кавченков В.П. Солопов Р.В. Алгоритм комплексной оптимизации режимов электроэнергетической системы с использованием обобщенных критериев подобия. Международный журнал «Программные продукты и системы». –№1, 2013.
6. Гордиевский И.Г., Кавченков В.П., Киселев В.Ф. Оптимизация параметров системы электроснабжения с учетом взаимного влияния элементов. Научные труды «Повышение эффективности надежности электроснабжения промышленных предприятий». Межвузовский тематический сборник №37. Москва, 1984.
7. Киселев В.Ф. Учет функциональных ограничений при оптимизации параметров систем электроснабжения. Сборник научных трудов Смоленского филиала МЭИ №6 «Современные проблемы исследований в энергетике и электротехнике», Смоленск, 1994.
8. Кавченков В.П., Киселев В.Ф. Применение критериального моделирования при проектировании систем электроснабжения. Материалы второго регионального межвузовского научно-технического семинара «Актуальные вопросы современной теории управления», Смоленск, 2000.
9. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. -М.: Высш.шк. 1976.-479с.
10. Солопов Р.В., Техничко-экономические закономерности в системах энергоснабжения. VI Межд. науч.техн. конф. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». В 3-х т. – М.: МЭИ. 2000. Т.3. 1с.

Рецензент: Рожков Вячеслав Владимирович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой Электромеханических систем филиала МЭИ в г. Смоленске.

Kiselev Viktor Fedorovich
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»
Russia, Smolensk
E-mail: sfmei_ees@mail.ru

System approach for optimization tasks In electric power supply

Abstract. This article considers necessity and the methods of system approach realization for optimization tasks in electric power supply. This system approach is based on searching of optimal parameters of electric network elements for the whole system with taking into account the relationship of elements and the influence on each other.

For realization of system approach were suggested technical and economic models. These models allow optimizing simultaneously both system and local electric power supply system parameters and models, which can optimize only local system parameters when system parameters are set. In this case, mutual influence of system elements is offered to consider their relationship in the operation through efficiencies elements.

Using method of sequential optimization, various schemes of combining elements were analyzed and regularities of their mutual influence in the system were received.

It is shown that economically feasible values of the elements with accounting of system influence are expressed through economic parameters without accounting of system influence and system coefficients, which are determined by the number of elements in the system, their efficiency, the value of local optimality criteria and generalized constants characterizing initial data of solving task and take into account the influence to current element from both next and previous elements.

Keywords: optimization of electric power supply systems; technical and economic models, criteria based analysis; system approach; generalized constants; optimal values; sequential optimization; system parameters.

REFERENCES

1. Astakhov Yu.N., Venikov V.A. i Dr. Kibernetika elektricheskikh sistem.-M.: Vyssh.shk. 1974, -328 s.
2. Gordievskiy I.G., Lordkipanidze V.D. Optimizatsiya parametrov elektricheskikh setey.-M.: Energiya, 1978.-144 s.
3. Gordievskiy I.G., Kiselev V.F. Optimizatsiya parametrov elektricheskikh setey s uchetom vzaimnogo vliyaniya elementov.-Smolensk, OKP Leningradskogo otdeleniya VGPI i NII «Sel'energoproekt». 1990.-51 s.
4. Kiselev V.F., Solopov R.V. Optimizatsiya parametrov sistem elektrosnabzheniya s uchetom funktsional'nykh ogranicheniy. Energetika, informatika, innovatsii – 2014 – EII: Sb. trudov IV Mezhd. Nauch.-tekhn. konf. V 2 t. T.2 - Smolensk: Universum, 2014. – S.38-41.
5. Kavchenkov V.P. Solopov R.V. Algoritm kompleksnoy optimizatsii rezhimov elektroenergeticheskoy sistemy s ispol'zovaniem obobshchennykh kriteriev podobiya. Mezhdunarodnyy zhurnal «Programmnye produkty i sistemy». –№1, 2013.
6. Gordievskiy I.G., Kavchenkov V.P., Kiselev V.F. Optimizatsiya parametrov sistemy elektrosnabzheniya s uchetom vzaimnogo vliyaniya elementov. Nauchnye trudy «Povyshenie effektivnosti nadezhnosti elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy». Mezhvuzovskiy tematicheskoy sbornik №37. Moskva, 1984.
7. Kiselev V.F. Uchet funktsional'nykh ogranicheniy pri optimizatsii parametrov sistem elektrosnabzheniya. Sbornik nauchnykh trudov Smolenskogo filiala MEI №6 «Sovremennye problemy issledovaniy v energetike i elektrotekhnike», Smolensk, 1994.
8. Kavchenkov V.P., Kiselev V.F. Primenenie kriterial'nogo modelirovaniya pri proektirovanii sistem elektrosnabzheniya. Materialy vtorogo regional'nogo mezhvuzovskogo nauchno-tekhnicheskogo seminarra «Aktual'nye voprosy sovremennoy teorii upravleniya», Smolensk, 2000.
9. Venikov V.A. Teoriya podobiya i modelirovaniya.-M.: Vyssh.shk., 1976.-479s.
10. Solopov R.V., Tekhniko-ekonomicheskie zakonomernosti v sistemakh energosnabzheniya. VI Mezhd. nauch.tekhn. konf. «Radioelektronika, elektrotekhnika i energetika». V 3-kh t. – M.: MEI. 2000. T.3. 1s.