

$$Z_{\text{цот}} = 98\,496 \times 1000 = 98\,496\,000 \text{ руб/год}$$

В нашем случае отопление газом выгоднее в 1,9 раза.

В современных условиях, безусловно, применять газовые котельные для теплоснабжения выгодно. Но необходимо учитывать и то, что многие районы (в том числе и под застройку) не газифицированы. Застройщики же, как правило, в целях экономии времени, подключаются уже к существующим сетям централизованного теплоснабжения.

Также необходимо учитывать, что цены на газ могут вырасти, вследствие того, что Европа потеряет интерес к нашему газу (что пока маловероятно), тогда поставщики газа вынуждены будут компенсировать свои убытки за счет внутреннего рынка. Кроме того хорошо известно, что спрос рождает предложение, и если начнется масштабное строительство газовых котельных, цены на газ также могут вырасти. Необходимо, чтобы существовал жесткий регулирующий механизм, который смог бы гарантировать стабильные цены на газ. Чтобы руководство нашей страны выстраивало в отношении газа политику, которая позволила бы уверенно развиваться газодобывающим, газоперерабатывающим организациям, учитывала интересы поставщиков и потребителей. Последние же должны быть уверенными в том, что внедрение за их счет дорогостоящего оборудования газовых котельных будет оправдано и, с течением времени будет экономить средства конечных потребителей.

#### *Литература*

1. *Тихомиров А.К.* Теплоснабжение района города: учебное пособие. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2006. – 135с.
2. <http://www.yaringcom.ru/gas/> «Яринжком» (20.03.2013 г.)
3. <http://ekb.dkvartal.ru/news/v-akademicheskoy-postroyat-kotelnyuyu-v-stile-hajtek-154092195> «Деловой квартал. Екатеринбург» (19.03.2013 г)

*Чечушков Д.А., Паниковская Т.Ю.*  
*ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента*  
*России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ**

Источниками распределенной генерации (РГ) в России по различным оценкам принято считать генерирующие источники электрической энергии (ЭЭ), установленные на стороне балансовой принадлежности потребителя, и

имеющие максимальную мощность 30-50 МВт. В странах Европы основу РГ составляют источники, работающие на возобновляемой энергии. В российских условиях наибольшее распространение получили газотурбинные и газопоршневые электростанции. Доля РГ в общей мощности энергосистемы неуклонно растет, чему способствует мировая практика поддержки сооружения и размещения установок РГ [1, 2]. Имеются и дополнительные факторы, которые должны быть учтены при реализации программы размещения РГ, в частности, схемы и способы присоединения к электрическим сетям, необходимость изменения схем релейной защиты и автоматики, экономические факторы и т.д. Для оптимального распределения установок РГ предлагались различные методы, среди которых большую популярность набирают эволюционные алгоритмы поиска.

Выбор месторасположения объектов малой генерации представляет комплексную оптимизационную задачу. Установка источника распределенной генерации, может приводить к изменению режимных параметров: уровней напряжений, перетоков по связям, потерь мощности и ЭЭ, токов короткого замыкания, как в лучшую, так и в худшую сторону.

Важными параметрами при выборе места установки источников генерации является снижение суммарных потерь и стабилизация уровней напряжения. Дополнительными причинами, влияющими на снижение технических потерь в распределительных сетях, является выбор точек подключения объектов малой генерации, приводящих к максимальному снижению транзитных перетоков.

Рассматривается многоцелевая математическая модель, для которой определяется оптимальное соотношение между инвестиционными составляющими, влиянием РГ на режимные параметрами ЭЭС, а также рисками потери нормального функционирования системы электроснабжения [3].

Для источника распределенной генерации формируется математическая модель, главными факторами в которой приняты повышение надежности и устойчивости электроснабжения. Модель представлена следующими составляющими:

Инвестиционная составляющая. В современных рыночных условиях существуют несколько критериев оценки инвестиционных проектов, одним из таких критериев индекс рентабельности PI (Profitability Index). При решении задачи минимизации целевой функции можно использовать функцию отношения  $\frac{1}{PI}$ .

$$F_1 = \frac{1}{PI(P)}, \quad (1)$$

$$F_1 = P \frac{K_1 + K_2}{\sum_t (I_{ам} + I_{экс} + I_{ΔW} - D_{ээ})(1 + \alpha)^t}, \quad (2)$$

где  $P$  – мощность источника,  $K_1 + K_2$  – удельные капитальные вложения на строительство и подключение источника соответственно, тыс.руб/кВт,  $I_{ам} = \alpha_{ам}(K_1 + K_2)$  – сумма ежегодных амортизационных отчислений,  $I_{экс}$  – отчисление на ремонт и обслуживание источника РГ в год,  $I_{ΔW} = c_0 \cdot \Delta W$  – отчисления на покрытие потерь электроэнергии, после установки источника РГ в год,  $c_0$  – стоимость потерь активной электроэнергии для рассматриваемой сетевой компании,  $D_{ээ}$  – экономия от выработанной электроэнергии в год,  $\alpha$  – коэффициент дисконтирования.

2. Повышение качества электроснабжения – стабилизация отклонений по напряжению:

$$F_2 = \Delta U = \frac{U_{ном} - U_{факт}}{U_{ном}}, \quad (3)$$

3. Эффективность работы источника РГ в аварийных режимах. При планировании и ведении режима энергосистемы приходится учитывать множество факторов. Например, к ограничениям по оборудованию добавляется большая группа ограничений, связанных с устойчивостью синхронной работы энергосистемы в целом. Эксплуатационные границы устойчивого режима задаются ограничениями перетоков между районами энергосистемы. При превышении допустимых перетоков устойчивость режима снижается, и под действием даже незначительных возмущений в энергосистеме может возникнуть асинхронный ход. Поэтому при планировании и ведении режима постоянно требуется контролировать допустимость перетоков. Зная эти зависимости можно определить оптимальную комбинацию изменения генерации для ввода перетоков в заданные ограничения. Зависимость задается в виде коэффициента эффективности [4], равного:

$$F_3 = k_{эффij} = \frac{\Delta P_{ij}}{\Delta P_{РГij}}, \quad (4)$$

где  $\Delta P_{ij}$  – изменение потока мощности по линии в аварийных режимах,  $\Delta P_{РГij}$  – изменение потока мощности в линии при подключении источника распределенной генерации.

4. Для оценки влияния источников РГ на снижение вероятности отказов элемента сети используется отношение вероятностей отказов после установки источника РГ к вероятности без источника РГ:

$$F_4 = \left[ \frac{\lambda_2(t)}{\lambda_1(t)} \right] + \frac{(1 - e^{-\frac{t}{T+\Delta T}})}{1 - e^{-\frac{t}{T}}}, \quad (5)$$

где  $\lambda_1(t)$ ,  $\lambda_2(t)$  – интенсивность отказов до и после подключения источника РГ, соответственно, значение  $t$  принимается нормативному сроку службы элемента,  $T$  – время безаварийной работы элемента,  $\Delta T$  – время, на которое изменится время безаварийной работы элемента сети после подключения источника [5].

В итоге многокритериальная целевая функция принимает следующий вид:

$$F_i(P) = \beta_1 F_1^i(P) + \beta_2 F_2^i(P) + \beta_3 F_3^i(P) + \beta_4 F_4^i(P), \quad (6)$$

где  $\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = 1$  – весовые коэффициенты,  $i$  – рассматриваемый узел для подключения источника РГ в текущей итерации.

В качестве алгоритма решения такой задачи используется метод, основанный на эволюционных вычислениях. Эволюционные вычисления – эвристические алгоритмы поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию.

Все расчеты проводились в табличном процессоре MS Excel. В качестве тестовой сети используется система электроснабжения, представленная на рисунке 1. В таблицах 1 и 2 приведены результаты расчета установившегося режима после работы оптимизационного алгоритма, в таблице 3 – принятые значения весовых коэффициентов. В проведенных расчетах не были ограничены точки для предположительной установки источников РГ, так же не ограничивался состав генерирующего оборудования. В качестве минимального источника РГ принималась газотурбинная установка мощностью 8 МВт. Затраты на строительство и подключение одного кВт установленной мощности принимались 31,5 тыс.руб/кВт и 4,5 тыс.руб/кВт соответственно. Денежный поток рассчитывался на временной период 6 лет с нормой дисконтирования равной 15 %.

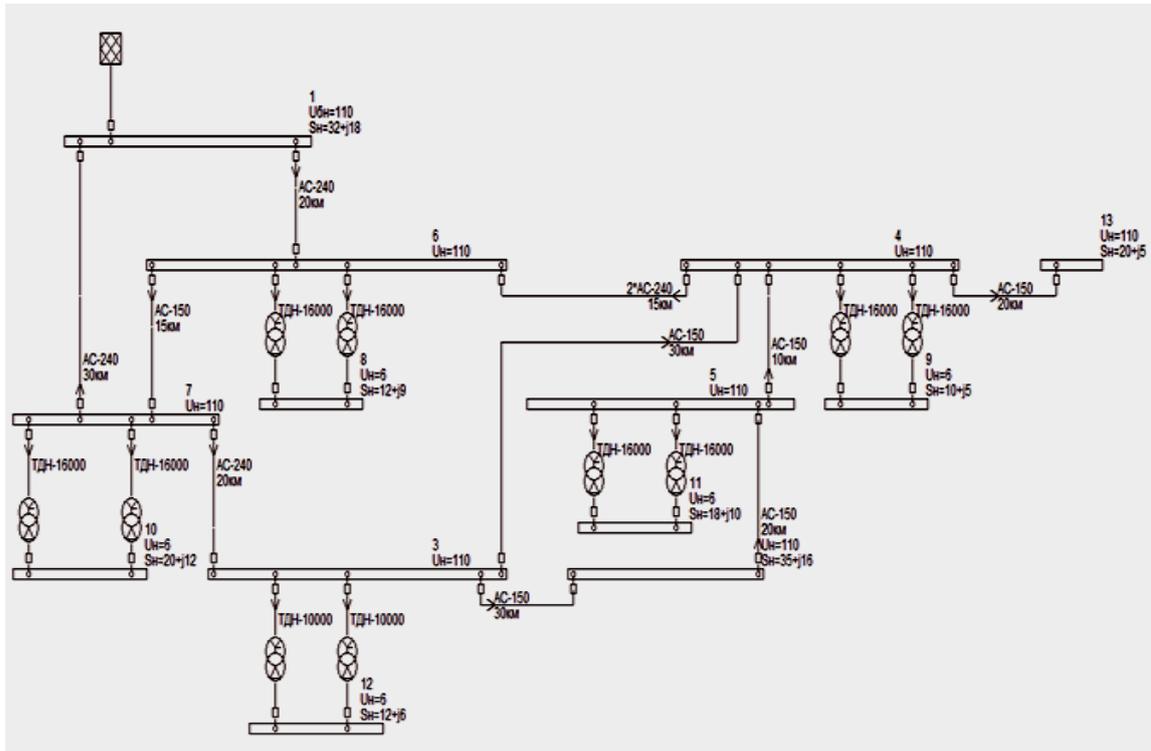


Рис. 1. Однолинейная схема тестовой сети

Таблица 1. Результаты расчета установившегося режима для тестовой  
схемы

№	$U_{НОМ,}$	№	$P_H,$	$Q_H,$	$P_G, \text{ МВт}$	$Q_G,$	$V, \text{ кВ}$	$\delta,$
1	119	1	32	18	7,47030	-0,0505	119	
2	110	1	35	16	8	4,96	119,6	0,043
3	110	1					120,3	0,386
4	110	2					120,3	0,371
5	110	2					120,2	0,304
6	110	1					120,1	0,348
7	110	1					119,9	0,322
8	6,3	1	12	9	8	4,96	6,92	2,327
9	6,3	1	10	5	8	4,96	6,90	2,618
10	6,3	1	20	12	8	4,96	6,94	0,981
11	6,3	1	18	10	8	4,96	6,97	1,277
12	6,3	1	12	6	8	4,96	6,90	3,420
13	110	2	20	5	8	4,96	120,5	0,174

Таблица 2. Результаты расчета установившегося режима для тестовой  
схемы

№ <sub>н</sub>	№ <sub>к</sub>	R, Ом	X, Ом	B, мксим	P, МВт	Q, МВар	dP, МВт	dQ, МВар	I, А
1	6	2,5	7,68	56,9	42,9	15,3	0,43	1,32	240
1	7	3,75	11,5	85,3	28,3	10,7	0,3	0,9	161
6	7	3	5,98	41,1	0,28	1,03	0	0	7
6	4	0,938	2,88	85,3	37,7	10,4	0,123	0,38	209
4	13	4	7,97	54,8	12	-0,48	0,05	0,1	64, 7
4	3	6	12	82,2	1,69	0,53	0,002	0,004	10, 6
4	5	2	3,98	27,4	22,9	10	0,108	0,21	134
5	2	4	7,97	54,8	12,5	4,59	0,06	0,128	73, 1
7	3	2,5	7,68	56,9	16,6	4,55	0,06	0,197	92, 6
3	2	6	72	82,2	14,3	5,29	0,124	0,247	83

Таблица 3. Значения весовых коэффициентов целевой функции

$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$
0,2	0,2	0,3	0,3

Принятые значения весовых коэффициентов объясняются тем, что за основную цель расчетов было принято повышение надежности электроснабжения потребителя.

В качестве выводов можно отметить следующее, хотя сама модель не учитывает все множество влияющих факторов, однако многие из этих факторов можно учесть в качестве ограничений. Например, при ограниченном бюджете строительства источника РГ сумму максимально возможных средств инвестиций можно использовать как ограничение. Так же стоит отметить, что весовые коэффициенты можно варьировать по-разному в зависимости от предпочтений «заказчика». Это в свою очередь определяет результирующие показатели, на который нацелен алгоритм (инвестиции, надежность, устойчивость и др.).

## Литература

1. Guan F.H., Zhao D.M., Zhang X., Shan B.N., Liu Z. Research on Distributed Generation Technologies and its impacts on Power System // 2009 SUPERGEN Conference, Nanjing, China. 2009. S02P0557.

2. Воронай Н.И. Распределенная генерация в электроэнергетических системах // Международная научно- практическая конференция « Малая энергетика-2005», 2005.

3. Паниковская Т.Ю., Чечушков Д.А. Оценка эффективности работы установок распределенной генерации // Электроэнергетика глазами молодёжи: научные труды международной научно-технической конференции: сборник статей. В 3 т. Самара: СамГТУ, 2011. Т.1. С. 407-412.

4. Тарасенко В.В. Генетический алгоритм выбора распределённой генерации / В.В. Тарасенко // Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия «Энергетика». – 2010. – Вып. 13. – №14(190). – С. 15–19.

5. Савина Н. В. Теория надежности в электроэнергетике: учебное пособие / Н. В. Савина. – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. – 213 с.