

УДК 621.315

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
МИНИЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ГОРОДСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ
DETERMINATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF MINI-POWER
PLANTS IN THE URBAN ELECTRICAL NETWORK

Старжинский А.Л., к-т техн. наук, доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь
Starzhinsky A., Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация. Определены значения критерия многоцелевой оптимизации при подключении миниэлектростанций к распределительному пункту или к системе глубокого ввода городской электрической сети.

Abstract. The values of the criterion for multi-purpose optimization have been determined when connecting mini-power plants to a distribution point or to a deep input system of a city electric network.

Ключевые слова: миниэлектростанция, критерий многоцелевой оптимизации.
Key words: mini-power plant, multipurpose optimization criterion.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость в строительстве собственной миниэлектростанции на котельных коммунальных хозяйств Республики Беларусь возникает по следующим причинам: – из-за потребности городской застройки, малых частных предприятий в тепловой энергии; – из-за необходимости обеспечения резервного питания ответственных потребителей; – значительной удаленности городской застройки (новые микрорайоны), малых частных предприятий от сетей энергосистемы; – из-за высоких тарифов на тепловую и электрическую энергию.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На данном этапе работы нами исследуется возможность создания собственных миниэлектростанций с применением противодавленческих турбин на коммунальных котельных, а также оценке их количества, места подключения к системе электроснабжения, мощности и дисконтированных затрат.

Для определения эффективности сооружения миниэлектростанций на котельных нужна комплексная методика, учитывающая как дисконтированные затраты, так и показатели качества функционирования системы (изменение надежности системы распределительного пункта или системы глубокого ввода при внедрении генерирующих источников, влияние на окружающую среду, а также зависимости потребителя от поставщика энергии – энергосистемы). Здесь необходима оценка отдельно каждого из показателей с помощью метода многоцелевой оптимизации. Данный метод позволяют учитывать многие цели, имеющие как количественную, так и качественную характеристики.

Сооружение миниэлектростанций в узле потребления электроэнергии приводит: – к уменьшению стоимости одного киловатт-часа вырабатываемой на миниэлектростанции электроэнергии; – к изменению надежности электрообеспечения; – к уменьшению потребления электроэнергии узлом нагрузки от энергосистемы; – к увеличению уровня шума вблизи работы миниэлектростанции.

Миниэлектростанции, сооружаемые на коммунальных или производственных котельных малых и средних предприятий, использующих паровую турбину с противодавлением могут подключаться к энергосистеме посредством кабельных линий напряжением 6(10) кВ к системе распределительного пункта (РП) либо подключением генераторов миниэлектростанций к системе глубокого ввода.

Определим затраты на сооружения местных источников энергии (миниэлектростанций) подключаемых к РП 6–10 кВ городской электрической сети на основе дисконтированных затрат Z_d [1], т. е.

$$Z_d = E \cdot K + I + C \cdot B, \quad (1)$$

где E – коэффициент эффективности капитальных вложений, равен 0,095;

K – капитальные затраты;

I – ежегодные издержки;

C – стоимость использованного топлива, у.е./т.у.т.;

B – годовой расход топлива, т.у.т.

Пусть первоначально на шины РП 10 кВ работала миниэлектростанция с противодавленческой турбиной мощностью 3,5 МВт марки ТГ3,5АС/10,5 Р13/1,2 производства Калужского турбинного завода (такие турбины применяются в Республике Беларусь).

Если $m = 1, 2, 3, 4$ (что соответствует увеличению вырабатываемой мощности на собственной электростанции с 3,5 до 7,0; 10,5 и 14 МВт, дисконтированные затраты соответственно будут равны при длине КЛ в 1 км $Z_d = 937,97$ тыс. у.е при $m = 1$; $Z_d = 1872,67$ тыс. у.е при $m = 2$; $Z_d = 2807,37$ тыс. у.е при $m = 3$; $Z_d = 3742,07$ тыс. у.е при $m = 4$. Как видно из уравнения (1), стоимость кабельной линии длиной до 1 км слабо влияет на значение дисконтированных затрат.

Дисконтированные затраты по системе глубокого ввода напряжением 35 кВ.

$$Z_{дг}^{35} = E \cdot K_{Г35} + (p_l \cdot K_{0л} \cdot L_1 + p_n \cdot K_{n35} + \Delta W_1^{35} \cdot \beta_1) + (p_n \cdot K_{он} \cdot L \cdot m + p_n \cdot (3 \cdot K_{он} + K_{Г.уд} \cdot P_{уем}) \cdot m + \Delta W \cdot \beta_2) + m \cdot C \cdot v_{уд} \cdot W \cdot 10^{-9}, \quad (2)$$

где ΔW_1 – потери электроэнергии в системе глубокого ввода напряжением 35 кВ и выше;

ΔW – потери электроэнергии в кабельной линии, связывающей турбогенератор и РП;

β_1 – стоимость одного киловатт-часа потерянной электроэнергии в системе глубокого ввода;

β_2 – стоимость одного киловатт-часа потерянной электроэнергии в кабельной линии, связывающей турбогенератор и РП;

L_1 – длина воздушной линии системы глубокого ввода, км;

L – длина кабельной линии от турбогенератора до РП 6(10) кВ;

$K_{п35}$ – капитальные затраты на сооружение подстанций глубокого ввода напряжением 35 кВ;

$K_{0л}$ – стоимость сооружения одного километра воздушной линии электропередачи напряжением 35 кВ и выше на железобетонных двухцепных опорах;

$$p_{л} = 0,028; p_{п} = 0,094.$$

Система глубокого ввода 35 кВ ($n = 1$ – нагрузка системы глубокого ввода 3,5 МВт, $n = 2$ – нагрузка системы глубокого ввода 7 МВт, $n = 3$ – нагрузка системы глубокого ввода 10,5 МВт; $m = 1$ – нагрузка миниэлектростанции 3,5 МВт; $m = 2$, $P_r = 7$ МВт; $m = 3$, $P_r = 10,5$ МВт; $m = 4$, $P_r = 14$ МВт) $n = 0$ $m = 4$
 $Z_{дг}^{35} = 20,46L + 4012,73$ тыс. у.е.; $n = 1$ $m = 1$ $Z_{дг}^{35} = 20,46L + 1208,63$ тыс. у.е.; $n = 1$ $m = 2$ $Z_{дг}^{35} = 20,46L + 2143,33$ тыс. у.е.; $n = 1$ $m = 3$ $Z_{дг}^{35} = 20,46L + 3078,03$ тыс. у.е.; $n = 2$ $m = 1$ $Z_{дг}^{35} = 23,96L + 1287,67$ тыс. у.е.; $n = 2$ $m = 2$ $Z_{дг}^{35} = 23,96L + 2222,57$ тыс. у.е.; $n = 3$ $m = 1$ $Z_{дг}^{35} = 27,22L + 1392,07$ тыс. у.е.

Как видно из выражений, сооружение РП 6(10) кВ с подключением генераторов миниэлектростанций более целесообразно, чем сооружение систем глубокого ввода с подключением генераторов, т. к. $Z_{дг}^{35} > Z_{д}$.

Определим значения показателей надежности электрической сети при подключении генераторов миниэлектростанции. Для оценки надежности работы применяются показатели: интенсивность отказов λ и средняя наработка на отказ $t_{ср} t_{ср} = 1/\lambda$. Вероятность безотказной работы элемента сети на интервале времени t определяется $p = e^{-\lambda \cdot t}$.

Надежность работы питающей электрической сети оценим по ее работоспособности или неработоспособности относительно выключателей питающих нагрузку подключенных к шинам распределительного пункта или шинам 10 кВ системы глубокого ввода.

Результаты расчета надежности системы РП и системы глубокого ввода при отсутствии и подключении генераторов на шины 10 кВ представлены в таблице 1.

Уровень шума для одного турбогенератора марки ТГ3,5АС/10,5Р13/1,2 с противоаварийной турбиной мощностью 3,5 МВт не превышает 93 ДБА. Шум от нескольких источников

$$L = L_i + 10 \cdot \lg n, \quad (3)$$

где L_i – уровень звука или звукового давления одного источника;

n – число источников шума с одинаковым уровнем звукового давления.

Для двух турбогенераторов интенсивность звука составит по формуле (3) 96 ДБА, для трех 97,8 ДБА, для четырех 99 ДБА.

Таблица 1 – Значение вероятности безотказной работы распределительного пункта и системы глубокого ввода

Напряжение системы РП, кВ	Протяженность КЛ, км	Значение вероятности безотказной работы сети				
		без генераторов	Система РП при подключении генераторов на шины напряжение 10 кВ			
			Количество генераторов мощностью 3,5 МВт			
			1	2	3	4
10	1,0	0,9967	0,9973	0,9978	0,9981	0,9983
Напряжение системы глубокого ввода, кВ	Протяженность ВЛ, км	Значение вероятности безотказной работы сети				
		без генераторов	Система глубокого ввода при подключении генераторов на шины напряжением 10 кВ			
			Количество генераторов мощностью 3,5 МВт			
			1	2	3	4
35	1,0	0,2734	0,5379	0,7061	0,8113	0,8788
	10,0	0,1421	0,4551	0,6539	0,7783	0,8579

Произведем оценку эффективности вариантов реконструкции питающей сети напряжением 10 кВ в условиях роста нагрузки как путем сооружения дополнительных питающих линий, так и путем максимального приближения наивысшего экономически целесообразного напряжения к распределительному пункту, т. е. путем сооружения глубоких вводов с учетом подключения к распределительному пункту или системе глубокого ввода генераторов миниэлектростанции при одновременном обеспечении: минимума дисконтированных затрат (цель № 1); максимальной вероятности безотказной работы (цель № 2); минимальной зависимости от энергосистемы (цель № 3); минимального уровня звукового давления (цель № 4);

Структуру целевой функции E представим в виде среднеарифметического значения [2]

$$E = \sum_{i=1}^n v_i \cdot e_i \rightarrow \max, \quad (4)$$

где v_i – оценка важности i -ой ($i = 1, 2, \dots, n$) цели;
 e_i – относительная эффективность i -ой цели.

Таблица 2 – Значения критерия оптимизации

Варианты	n _г , шт	Номер варианта оценки важности цели				
		1	2	3	4	5
Система распределительного пункта без генераторов	0	0,7521	0,8017	0,8013	0,6037	0,9003
Система глубокого ввода без генераторов напряжением 35 кВ	0	<u>0,46</u>	<u>0,4926</u>	<u>0,423</u>	<u>0,3702</u>	<u>0,4529</u>
		0,3671	0,3699	0,3221	0,2956	0,3038
Система распределительного пункта при подключении генераторов на шины напряжением 10 кВ	1	0,4995	0,4382	0,5094	0,4023	0,5574
	2	0,4714	0,3965	0,577	0,3811	0,5175
	3	0,4657	0,3856	0,5725	0,3806	0,5057
	4	0,7	0,5696	0,76	0,76	0,5944
Система глубокого ввода 35 кВ при подключении генераторов на шины напряжением 10 кВ	1	<u>0,3683</u>	<u>0,3202</u>	<u>0,4024</u>	<u>0,2973</u>	<u>0,3473</u>
		0,3428	0,296	0,3654	0,2760	0,3065
	2	<u>0,3941</u>	<u>0,3313</u>	<u>0,4567</u>	<u>0,3193</u>	<u>0,3938</u>
		0,3795	0,3184	0,4346	0,3076	0,3705
	3	<u>0,4174</u>	<u>0,3457</u>	<u>0,4964</u>	<u>0,3419</u>	<u>0,4284</u>
		0,4081	0,3375	0,4824	0,3345	0,4136
	4	<u>0,6693</u>	<u>0,5444</u>	<u>0,7115</u>	<u>0,7354</u>	<u>0,5453</u>
		0,6636	0,5395	0,7028	0,7309	0,5362

Примечание: числитель – при длине питающей линии 1 км; знаменатель – при длине питающей линии 10 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из полученных результатов видно, что присоединение генераторов миниэлектростанции на шины 10 кВ распределительного пункта не выгодно, так как критерий оптимизации имеет меньшее значение для всех вариантов оценки важности целей в сравнении с их отсутствием. Идея подключения генераторов миниэлектростанции к шинам 10 кВ системы глубокого ввода не лишена оснований, особенно при одинаковой важности всех рассматриваемых целей и выделении в качестве наиболее важных двух целей – минимума дисконтированных затрат и максимума надежности работы сети. Значения критерия оптимизации имеет наибольшее значение при применении большего числа генераторов, т. е. трех или четырех штук.

ЛИТЕРАТУРА

1. Падалко, Л.П. Методы оценки финансово-экономической эффективности инвестирования энергетических объектов / Л.П. Падалко, И.В. Янцевич. – Минск: БНТУ, 2003. – 54 с.
2. Арзамцев, Д.А. Введение в многоцелевую оптимизацию энергосистем / Д.А. Арзамцев. – Свердловск. изд. УПИ, 1984. – 84 с.