

УДК 621.31.019.3

© 2009 г. КОРОТКЕВИЧ М.А., СТАРЖИНСКИЙ А.Л.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СООРУЖЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Включение собственных генерирующих источников промышленных предприятий в схему их внутреннего электроснабжения приводит к изменению показателей надежности — к снижению частоты отказов в три и более раз и вероятной продолжительности аварийного простоя схемы, более чем на порядок; большее снижение показателей надежности обеспечивается при работе генераторов на шины более низких напряжений. Данный вывод получен при использовании известных аналитических методов расчета и непараметрической оценки надежности многократно резервируемых схем электроснабжения. Автономная работа миниэлектростанции промышленного предприятия на полное покрытие собственной нагрузки сопровождается значительным ростом вероятной продолжительности аварийного простоя потребителей.

По максимальному значению комплексного критерия эффективности сооружения электростанций на промышленном предприятии, включающего максимум финансовой эффективности, максимум надежности электроснабжения и минимум зависимости от внешних источников электроснабжения, подтверждено, что подключение собственных генерирующих источников целесообразно выполнять на шины более низких напряжений системы электроснабжения промышленного предприятия, а именно, на шины напряжением 0,38 кВ.

Необходимость сооружения собственных электростанций на промышленных предприятиях в условиях Республики Беларусь в прошлом периоде была обусловлена или потребностями технологического процесса в тепловой энергии или требованиями обеспечения резервного питания ответственных потребителей. В настоящее время отмеченные причины дополнены высокими тарифами на тепловую и электрическую энергию, получаемую от энергосистем, а также необходимостью экономии топливно-энергетических ресурсов из-за роста их стоимости. Это относится и к тем уникальным случаям, когда не в полной мере используется энергия, вырабатываемая собственными энергетическими источниками предприятия для целей технологического процесса. Примером является наличие избыточного потенциала пара (высокое давление и температура), произведенного, но не полностью используемого в технологическом процессе. Установка собственных генерирующих мощностей актуальна для предприятий с непрерывным технологическим процессом, которые имеют ограниченные возможности по изменению технологических циклов и, следовательно, по уменьшению электропотребления.

Создание собственных генерирующих источников на промышленном предприятии требует решения ряда технических и организационных вопросов:

- определение единичной мощности и количества генерирующих источников;
- выбор типа генераторов (синхронные или асинхронные);
- выбор способа включения генераторов на параллельную работу с энергосистемой (несинхронное или синхронное включение);

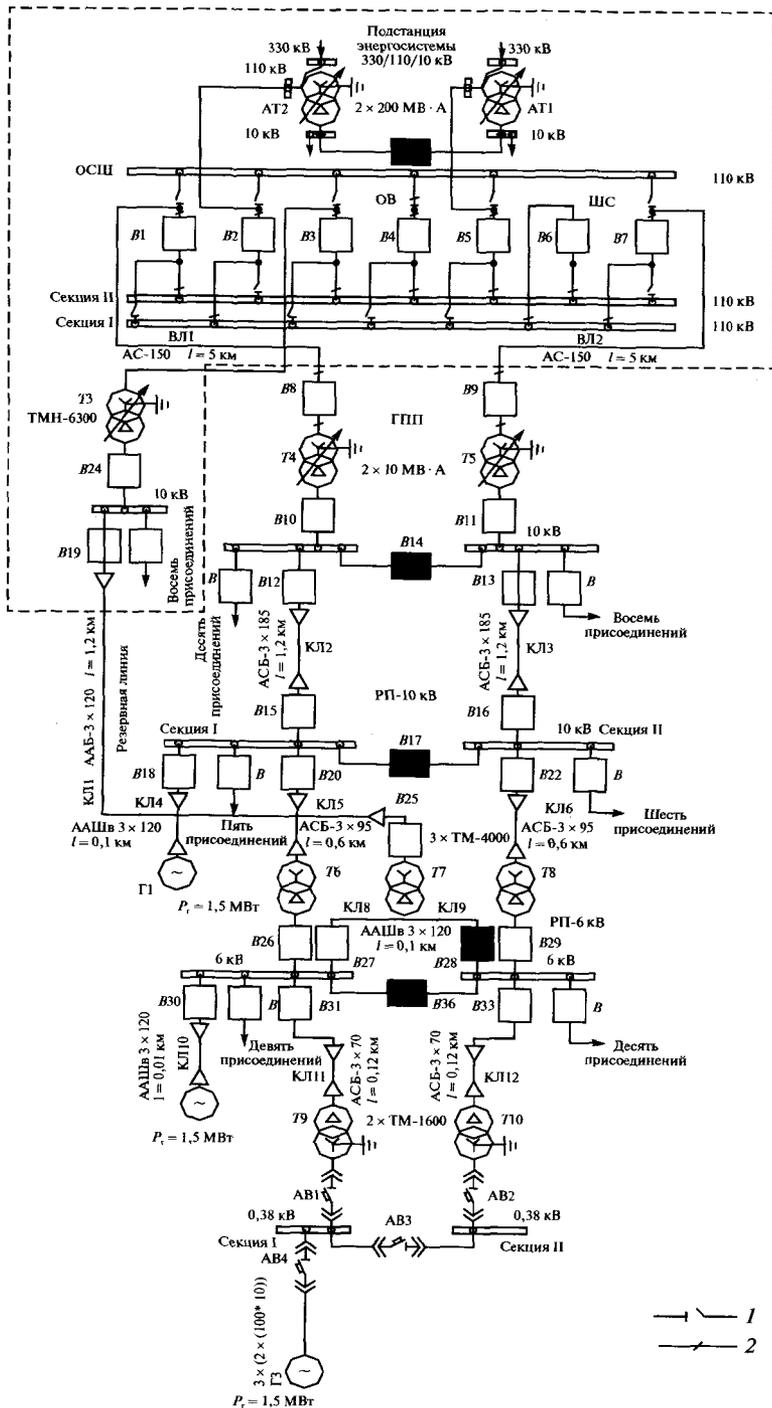


Схема электроснабжения промышленного предприятия, принятая в качестве тестовой: 1 и 2 – нормально отключенный и включенный разvedитель; АТ1, АТ2 – автотрансформаторы; ГПП – главная понизительная подстанция; РП – распределительный пункт; ОСШ – обходная система шин; ОВ – обходной выключатель; ШС – шинносоединительный выключатель; АВ – автоматический выключатель; КЛ – кабельная линия; АСБ 3 × 120 – марка и сечение жил кабеля; $l = 2,8$ км – длина линии, км; В36 – нормально отключенный выключатель

– выбор места подключения генераторов к системе электроснабжения промышленного предприятия, т.е. на шины какого номинального напряжения (система электроснабжения предприятия может содержать шины напряжением 6, 10 и 0,38 кВ);

– оценка изменения надежности системы электроснабжения при вводе собственных генерирующих источников;

– оценка возможностей и условий устойчивости параллельной работы миниэлектростанции с энергосистемой;

– оценка изменения влияния промышленного предприятия на окружающую среду;

– составление договора с энергосистемой о возможности покупки ею избыточной электроэнергии, производимой на промышленном предприятии (в Республике Беларусь нормативным актом, регулирующим взаимоотношения производителей электроэнергии, служит постановление Министерства экономики от 31.05.2006 «О тарифах на электрическую энергию, производимую в Республике Беларусь юридическими лицами, не входящими в состав концерна “Белэнерго”, и индивидуальными предпринимателями и отпускаемую энергоснабжающим организациям данного концерна»).

При технико-экономическом обосновании целесообразности сооружения собственной электростанции на промышленном предприятии следует учитывать не только снижение зависимости предприятия от энергосистемы, но и дополнительную нагрузку на персонал, обслуживающий вращающееся энергосиловое оборудование.

В данной работе с помощью аналитического метода и метода непараметрической оценки были определены значения показателей надежности электроснабжения промышленного предприятия с непрерывным технологическим процессом при подключении генератора миниэлектростанции к шинам различных номинальных напряжений при полном или частичном покрытии им нагрузки секции шин с учетом режима работы трансформаторов районной подстанции АТ1 и АТ2 (см. рисунок). Присоединение генератора миниэлектростанции к системе внутреннего электроснабжения предприятия при полном покрытии мощности присоединенной нагрузки обеспечивает снижение частоты отказов и вероятной продолжительности аварийного простоя схемы (снижает частоту отказов в три и более раз, а вероятную продолжительность простоя более, чем в 15 раз). Еще большее снижение частоты отказов и вероятной продолжительности аварийного простоя обеспечивается при подключении генератора к шинам 0,38 и 6 кВ [1].

В то же время автономная работа миниэлектростанции промышленного предприятия на полное покрытие собственной нагрузки сопровождается значительным ростом вероятной продолжительности аварийного простоя потребителей. Для генераторов мощностью 0,75; 1,5 и 2,5 МВт напряжением 10 кВ ($x_d'' = 0,141$ о.е.; $I_{нг} = 51,6$ А; $I_{нв} = 1264,4$ А; $x_d'' = 0,1376$ о.е.; $I_{нг} = 103,2$ А; $I_{нв} = 1312$ А и $x_d'' = 0,091$ о.е.; $I_{нг} = 171,8$ А, $I_{нв} = 2107,5$ А) установлено, что несинхронное их включение невозможно, так как не выполняется условие

$$I_{нв}/I_{нг} < 0,625/x_d'', \quad (1)$$

где $I_{нв}$ – ток несинхронного включения, А; $I_{нг}$ – номинальный ток генератора, А; x_d'' – сверхпереходное сопротивление генератора, о.е.

Определение тока $I_{нв}$ производилось по сверхпереходному реактивному сопротивлению для случая включения при ЭДС $E = 1,05$ о.е. с учетом влияния нагрузки. Включение генератора на шины напряжением 10 и 6 кВ по способу самосинхронизации также сопровождается токами, превышающими допустимые. Здесь подключение генератора по способу самосинхронизации возможно лишь на шины напряжением 0,38 кВ.

Эффективность сооружения электростанции на промышленном предприятии может быть установлена на основе анализа, учитывающего как требуемые капитальные

Варианты оценки важности целей

Номер цели	Наименование цели	Номер варианта оценки				
		1	2	3	4	5
1	Максимум финансовой эффективности	0,33	0,8	0,1	0,1	0,4
2	Максимум надежности электроснабжения	0,33	0,1	0,8	0,1	0,4
3	Минимальная зависимость от внешних источников электроснабжения	0,34	0,1	0,1	0,8	0,2

затраты, ежегодные эксплуатационные расходы (на текущие и капитальные ремонты, обслуживание, стоимость потерянной энергии), так и показатели качества системы электроснабжения (изменение надежности системы электроснабжения промышленного предприятия при внедрении генерирующих источников, степень зависимости предприятия от поставок электроэнергии из энергосистемы). Здесь необходима оценка отдельно каждого из показателей с помощью математических методов, например, многоцелевой оптимизации или нечетких множеств [2].

Оценим эффективность сооружения миниэлектростанции мощностью 1,5 МВт на промышленном предприятии и определим место ее включения (на шины 10, 6 или 0,38 кВ) [1] с помощью метода многоцелевой оптимизации. Сформулируем задачу: требуется оценить эффективность применения собственных генерирующих источников при обеспечении:

- максимума финансовой эффективности (цель № 1);
- максимума надежности электроснабжения (цель № 2);
- минимальной зависимости от внешних источников электроснабжения (цель № 3).

Структуру целевой функции E представим в виде среднеарифметического значения [3]

$$E = \sum_{i=1}^n \nu_i e_i \rightarrow \max, \quad (2)$$

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

При этом

$$\sum_{i=1}^n \nu_i = 1. \quad (3)$$

Показатель (2) выражает требование максимизации выполнения совокупности поставленных целей [4].

Любому невыгодному варианту соответствует $E = 0$, а идеальному – $E = 1$ [5].

Положим, что если $\nu_i < 0,1$, то происходит обесценивание цели, т.е. нижний предел $\nu_i = 0,1$. Тогда максимально возможное значение ν_i для наиболее важной цели при условии, что все остальные имеют коэффициенты 0,1, найдется как [3]

$$\nu_{i\max} = 1 - \nu_{i\min}(n - 1), \quad (4)$$

где $\nu_{i\min}$ – нижний предел ν_i ; n – количество целей. При $n = 3$, $\nu_{i\max} = 0,8$. Таким образом, $0,1 \leq \nu_i \leq 0,8$ (табл. 1).

Относительная эффективность e_i i -й цели определяется [3]:

- для минимизируемой цели

Значения критерия оптимизации

Варианты	Коэффициент загрузки k_3	Номер варианта оценки важности цели				
		1	2	3	4	5
При отсутствии собственной электростанции	0	0,36	0,11	0,56	0,40	0,34
Включение генератора на шины напряжением 10 кВ	0,8	0,78	0,71	0,82	0,80	0,77
	1	0,95	0,98	0,87	0,98	0,94
Включение генератора на шины напряжением 6 кВ	0,8	0,80	0,72	0,88	0,81	0,80
	1	0,97	0,99	0,93	0,99	0,97
Включение генератора на шины напряжением 0,38 кВ	0,8	0,82	0,70	0,95	0,81	0,82
	1	0,99	0,96	0,99	0,99	0,98

$$e_i = \min x_i / x_i; \quad (5)$$

– для максимизируемой цели

$$e_i = x_i / \max x_i, \quad (6)$$

где x_i – текущее значение показателя i -й цели; $\min x_i$, $\max x_i$ – минимальное и максимальное значения показателя i -й цели.

Значения показателей x_i (цель № 1) финансовой эффективности от включения турбогенератора в систему электроснабжения предприятия рассчитывались из удельного расхода топлива на производство электроэнергии на миниэлектростанции, равного 0,2316 кг у. т./кВт · ч [6], количества часов работы турбогенератора в году, равного 8064 ч, стоимости 1 т у. т., равной 124 у.е., удельных капиталовложений, составляющих 557,65 у. е./кВт, расчетного периода, равного 25 годам, ставке дисконта – 0,1. При расчете финансовой эффективности учитывалась также стоимость потерь электрической энергии, которая определялась при различных вариантах подключения генератора. Значения показателей x_i (цель № 2) вероятности безотказной работы получены на основе расчета надежности системы электроснабжения предприятия при подключении генератора миниэлектростанции на шины различных номинальных напряжений 10(6) и 0,38 кВ [1].

Цель № 3 – минимальная зависимость от внешних источников электроэнергии.

Значение показателя x_i цели № 3

$$Y = Y_1 Y_2, \quad (7)$$

где Y_1 – отношение мощности, потребляемой из энергосистемы, к мощности, заявляемой предприятием, о. е; Y_2 – отношение количества электроэнергии, потребляемой из энергосистемы, к суммарному электропотреблению предприятия, о. е.

$$Y_1 = 1 - (P_{\text{эст}} / P_{\text{заявл. пред}}), \quad (8)$$

где $P_{\text{эст}}$ – мощность, выдаваемая генератором электростанции, МВт; $P_{\text{заявл. пред}}$ – мощность, заявляемая предприятием, МВт.

При $P_{\text{эст}} = 0$ значение $Y_1 = 1$, т.е. предприятие потребляет мощность только от сетей энергосистемы, при $P_{\text{эст}} = P_{\text{заявл. пред}}$, значение $Y_1 = 0$, предприятие питается только от собственной миниэлектростанции.

$$Y_2 = 1 - (W_{\text{эст}} / W_{\text{потр. пред}}), \quad (9)$$

где $W_{\text{эст}}$ – количество электроэнергии, отпущенной с шин электростанции, кВт · ч;
 $W_{\text{потр. предпр}}$ – количество электроэнергии, потребляемое предприятием, кВт · ч.

При $W_{\text{эст}} = 0$ значение $Y_2 = 1$, т.е. предприятие получает электроэнергию только от сетей энергосистемы, при $W_{\text{эст}} = W_{\text{потр. предпр}}$, значение $Y_2 = 0$, предприятие получает электроэнергию только от собственной миниэлектростанции.

Определялись показатели e_i по формуле (5) для цели – минимальной зависимости от внешних источников электроснабжения (цель № 3), по формуле (6) – для двух целей – максимума финансовой эффективности (цель № 1) и максимума надежности электроснабжения (цель № 2). Далее по формуле (2) определялось значение критерия многоцелевой оптимизации E для всех рассматриваемых вариантов (табл. 2). Вариант с наибольшим значением критерия E наиболее целесообразен.

Как видно из табл. 2, значение критерия оптимизации E при включении собственного генерирующего источника в систему электроснабжения промышленного предприятия превышает соответствующий критерий оптимизации при электроснабжении предприятия только от сетей энергосистемы в 2,1–4,6 раза, что свидетельствует об эффективности применения собственных генерирующих источников на промышленном предприятии.

Заключение. По максимальному значению комплексного критерия эффективности сооружения электростанций на промышленном предприятии, включающего максимум финансовой эффективности, максимум надежности электроснабжения и минимум зависимости от внешних источников электроснабжения, подтверждено, что подключение собственных генерирующих источников целесообразно выполнять на шины более низких напряжений системы электроснабжения промышленного предприятия, а именно, на шины напряжением 0,38 кВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Короткевич М.А., Старжинский А.Л.* К обоснованию целесообразности установки собственных генерирующих источников на промышленном предприятии // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). 2006. № 1. с. 15–20.
2. *Короткевич М.А.* Оценка целесообразности модернизации электросетевого оборудования // Электрические станции. 1989. № 10. С. 64–66.
3. *Короткевич М.А.* Эксплуатация электрических сетей. Минск: Вышэйшая школа, 2005. 364 с.
4. Основы управления энергетическим производством: Учеб. для вузов / В.Р. О कोरोков и др. М.: Высшая школа, 1987. 334 с.
5. *Артюгина И.М., О कोरोков В.Р.* Методы технико-экономического анализа в энергетике. Л.: Наука, 1988. 264 с.
6. *Старжинский А.Л.* Оценка удельного расхода топлива для производства электроэнергии на электростанциях промышленных предприятий // Вестник ГГТУ. 2006. № 2. С. 82–87.

Минск

Поступила в редакцию
12.03.2009