

К ОБОСНОВАНИЮ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ УСТАНОВКИ СОБСТВЕННЫХ ГЕНЕРИРУЮЩИХ ИСТОЧНИКОВ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Докт. техн. наук, проф. КОРОТКЕВИЧ М. А., асп. СТАРЖИНСКИЙ А. Л.

Белорусский национальный технический университет

Целесообразность установки собственных генерирующих источников на промышленном предприятии обуславливается потребностью предприятия в тепловой энергии, необходимостью обеспечения резервного питания ответственных электроприемников, а также при значительной удаленности предприятия от энергосистемы. В настоящее время отмеченные причины дополняются необходимостью экономии энергоресурсов в связи с тем, что большое число котельных промышленных предприятий, обеспечивающих потребность технологического процесса в тепловой энергии, не в полной мере используют потенциал вырабатываемого пара высокого давления и температуры, а вынуждены понижать указанные параметры в редуционно-охладительных устройствах (РОУ). Для повышения коэффициента использования топлива в котельных вместо РОУ можно установить противодавленческие турбины, работающие, как правило, через редуктор на генератор соответствующей мощности (например, 1,5 МВт).

Эффективность отмеченной модернизации может быть установлена на основе анализа, учитывающего как требуемые капитальные затраты, ежегодные эксплуатационные расходы (на текущие и капитальные ремонты, обслуживание, стоимость потерянной энергии), так и изменение надежности системы электроснабжения промышленного предприятия при внедрении генерирующих источников. Помимо отмеченного, установка генерирующих источников на промышленном предприятии требует определения расхода тепловой энергии на производство электрической, который не должен превосходить соответствующий показатель в энергосистеме. Основные трудности, возникающие при проведении отмеченного анализа с учетом изменения показателей надежности электроснабжения потребителей, состоят в отсутствии объективной количественной оценки показателей, характеризующих стоимость недоотпуска электроэнергии потребителям, параметров потока отказов и продолжительностей восстановления отказавшего оборудования. Несопоставимость названных выше показателей не дает возможности применять при определении наилучшего решения в прямом виде критерий дисконтированных затрат. Здесь необходима оценка отдельно каждого из показателей и с помощью математических методов, например многоцелевой оптимизации или нечетких множеств, получить решение по каждому из противоречивых критериев с последующим нахождением компромиссной области и выбором результирующего варианта. Отмеченные методы позволяют учитывать многие цели, имеющие как количественную, так и качественную характеристику.

В данной статье рассматривается оценка только одного из важных влияющих факторов, а именно – изменение надежности при изменении

структуры сети из-за присоединения генератора электростанции к существующей системе электроснабжения предприятия, имеющей шины, например, напряжением 0,38; 6; 10 кВ. Следует учитывать, что надежная работа таких электростанций зависит от надежности работы котельной. Мощность указанной электростанции предприятия может не удовлетворять потребность предприятия в электроэнергии. Тогда часть нагрузки предприятие должно запитывать от подстанции энергосистемы. Определяя надежность схемы электроснабжения предприятия с собственными генерирующими источниками в виде паротурбинных установок, попытаемся установить характеристики надежности схемы по отношению к шинам напряжением 0,38 кВ, от которых питается нагрузка котельной.

Схемы электроснабжения промышленного предприятия можно отнести в зависимости от уровня надежности к высоконадежным, средней и низкой надежности [1]. Схемы высокой надежности за счет хорошо развитого резервирования и наличия собственных независимых генерирующих источников обеспечивают высокий уровень безотказности (схемы электроснабжения электроприемников особой группы первой категории по [2]). Схемы средней надежности имеют невысокую кратность резервирования (схемы электроснабжения электроприемников первой и второй категорий [2]). Схемы низкой надежности не имеют избыточных элементов (схемы электроснабжения электроприемников третьей категории [2]). При простейших схемах с последовательным и параллельным включением элементов возможен расчет надежности (частота отказов λ и вероятная продолжительность простоя ν) на основе параметрического метода с помощью выражений [3]:

- при последовательном соединении

$$\lambda^{\text{посл}} = \sum_{k=1}^n \lambda_k, \quad (1)$$

где $\lambda^{\text{посл}}$ – частота отказов последовательной цепи, 1/год; λ_k – то же k -го элемента, 1/год; n – число последовательно соединенных элементов;

$$\nu_{\text{ав}}^{\text{посл}} = 1 - \prod_{k=1}^n (1 - \nu_{\text{ав}k}), \quad (2)$$

где $\nu_{\text{ав}}^{\text{посл}}$ – вероятная продолжительность простоя последовательной цепи, о. е.; $\nu_{\text{ав}k}$ – то же нахождения k -го элемента, входящего в последовательную цепь, в аварийном простое, о. е.;

- при параллельном соединении

$$\lambda^{\text{пар}} = \lambda_1 \nu_{\text{ав}2} + \lambda_2 \nu_{\text{ав}1}, \quad (3)$$

где $\lambda^{\text{пар}}$ – частота отказов параллельных цепей, 1/год; λ_1, λ_2 – то же каждой параллельной ветви, состоящей из последовательных элементов, 1/год; $\nu_{\text{ав}1}, \nu_{\text{ав}2}$ – вероятная продолжительность аварийного простоя каждой параллельной ветви, состоящей из последовательных элементов, о. е.;

$$\nu^{\text{пар}} = \nu_{\text{ав}2}^{(1)} + \nu_{\text{ав}1}^{(2)}, \quad (4)$$

где $v^{\text{пар}}$ – вероятная продолжительность аварийного простоя, о. е.; $v_{\text{ав}2}^{(1)}$ – то же первой ветви в периоды аварийного простоя второй ветви цепи, о. е.; $v_{\text{ав}1}^{(2)}$ – то же второй ветви в периоды аварийного простоя первой ветви цепи, о. е.

В случае ограниченной пропускной способности элементов значение $v^{\text{пар}}$ находится как [3]

$$v^{\text{пар}} = \varepsilon_1 v_{\text{ав}1} + (1 - \varepsilon_1) v_{\text{ав}2}^{(1)} + \varepsilon_2 v_{\text{ав}2} + (1 - \varepsilon_2) v_{\text{ав}1}^{(2)}, \quad (5)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – коэффициенты ограничения нагрузки потребителей при отключении элементов соответственно первой и второй ветвей.

Известное нам предприятие пищевой промышленности с непрерывным технологическим процессом получает питание от энергосистемы по трем линиям – двум воздушным и одной кабельной (резервная линия). На этом предприятии предполагается установка собственной паротурбинной электростанции. Схема электроснабжения предприятия относится к высокой степени надежности и показана на рис. 1. Необходимость сооружения собственной электростанции на данном объекте объясняется главным образом потребностью технологического процесса в тепловой энергии в виде низкотемпературного пара, что и позволяет установить паротурбинный агрегат вместо РОУ. Для предприятия характерно наличие двух распределительных устройств напряжением 10 и 6 кВ (рис. 1). График нагрузки предприятия трехсменный с плотностью суточного графика, близкой к 1. Отношение максимальной выдаваемой мощности одним турбогенератором к мощности нагрузки одной секции находится в пределах 0,6–0,75. Характеристики надежности схемы будем определять для нормального режима работы сети относительно шин 0,38 кВ котельной для случаев присоединения генератора электростанции к шинам 0,38; 6; 10 кВ. Схема замещения для расчета надежности представлена на рис. 2. Частота отказов λ (табл. 1) определялась суммированием значений $\lambda^{\text{посл}}$ и $\lambda^{\text{пар}}$, найденных по формулам (1) и (3). Вероятная продолжительность отключений v (табл. 1) вычислялась суммированием значений $v^{\text{посл}}$ и $v^{\text{пар}}$, определенных по (2) и (4) или (5). При этом показатели надежности элементов электрической сети взяты из [4, 5].

Как видно из приведенного расчета, для сложных схем с высокой степенью резервирования расчет надежности может давать неопределенные результаты при количестве источников питания три и более, так как частота отказов λ и вероятная продолжительность отключений v стремятся к нулю.

Воспользуемся непараметрической оценкой надежности схемы [1], где не требуется знать точных значений λ_k и v_k . Высокая степень неопределенности в оценках надежности элементов сетей оправдывает допущение об их равной надежности. Алгоритм вычисления непараметрической оценки (НО) создан на основе ряда аксиом и предназначен для различения схем по надежности для случаев равнонадежных элементов и абсолютно надежных элементов. Непараметрическая оценка позволяет вычислить значение безразмерной величины в зависимости от количества элементов и схемы

их соединения. Чем надежнее схема, тем больше значение НО. Расчетная схема составляется аналогично рис. 2, т. е. как и при использовании метода параметрической оценки.

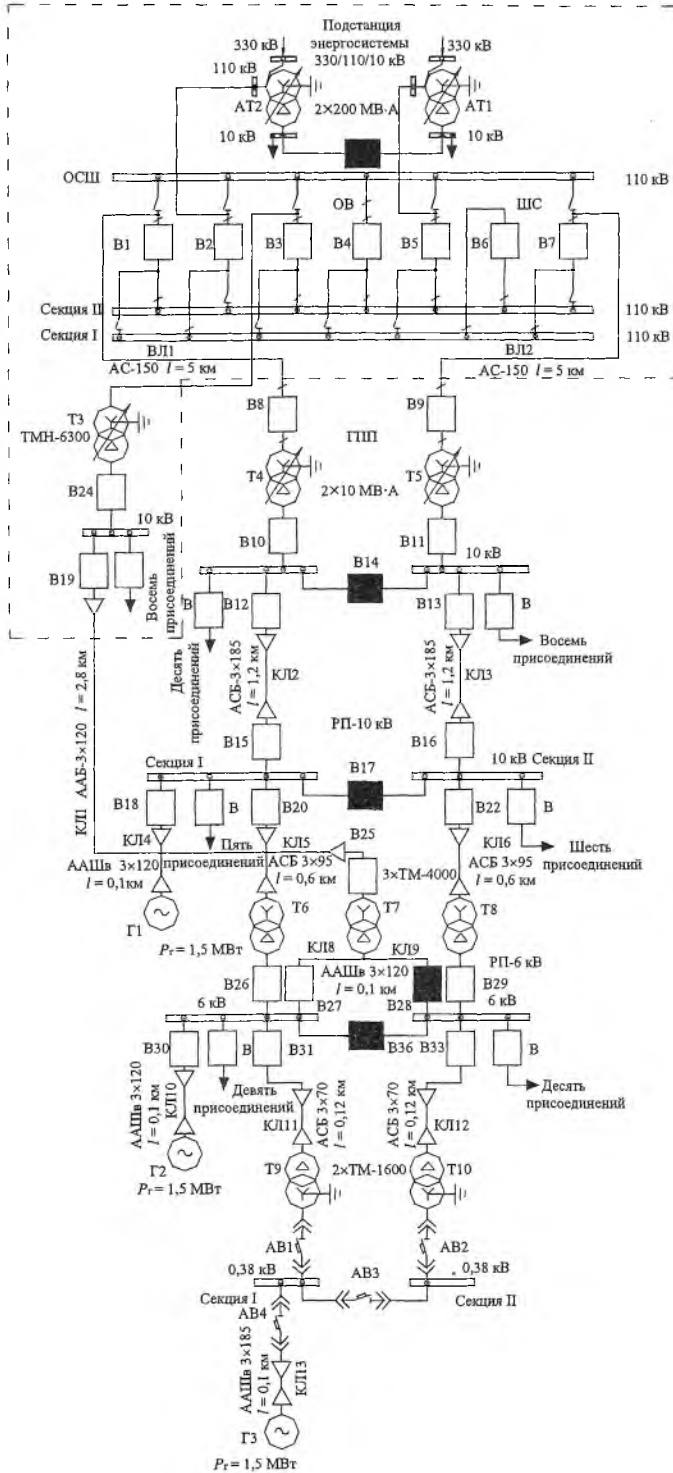


Рис. 1. Схема электроснабжения предприятия: — — нормально отключенный разъединитель; — — нормально включенный разъединитель; ГПП — главная понизительная подстанция; РП — распределительный пункт

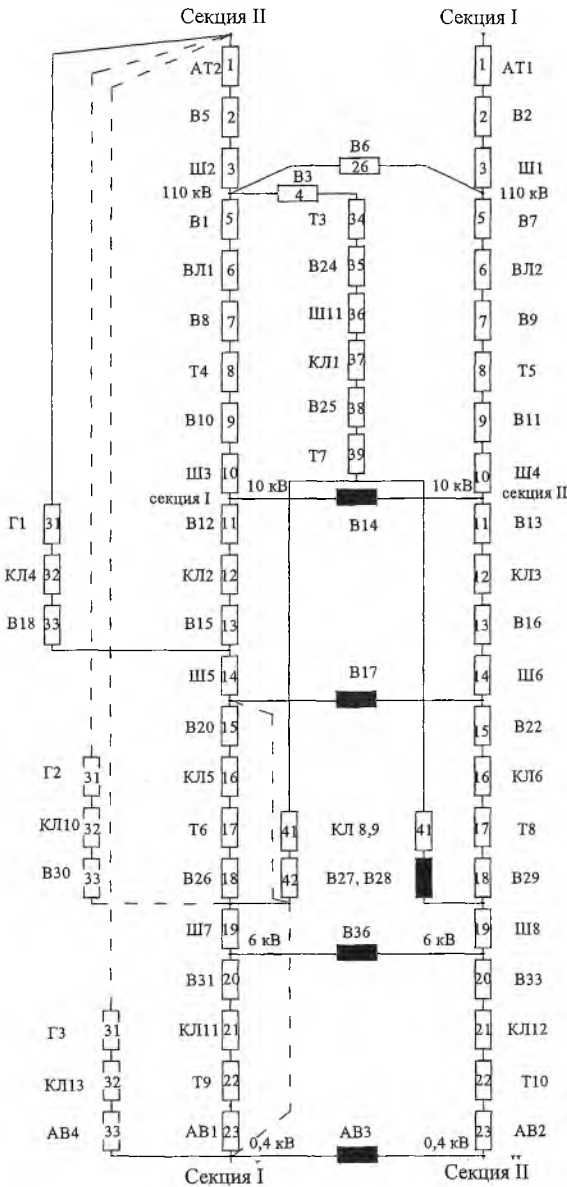


Рис. 2. Схема замещения для расчета надежности

Выполним расчет характеристик НО надежности в случае присоединения генераторов к шинам различного номинального напряжения схемы электроснабжения промышленного предприятия. Результаты расчета значений НО представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, параметрическая и непараметрическая оценка надежности дают одинаковые результаты. В случае высоконадежных схем значения λ и ν стремятся к нулю и практически неразличимы, в то время как значения НО вполне различимы. В частности, наибольшую надежность имеет схема электроснабжения в случае присоединения генератора к шинам напряжением 0,38 кВ.

**Результаты расчета характеристик надежности схемы
электропитания предприятия**

Количество питающих цепей	Параметр оценки надежности	Генератор включен на секции шин напряжением, кВ												Резервная линия включена на секцию шин напряжением, кВ		
		10				6				0,38				10	6	0,38
		P_r/P_c , о. е.				P_r/P_c , о. е.				P_r/P_c , о. е.				$P_{лин}/P_c$, о. е.		
		0	0,6	0,75	1	0	0,6	0,75	1	0	0,6	0,75	1	1		
1	λ , 1/год	0,534	0,177	0,177	0,177	0,534	0,088	0,088	0,088	0,534	0,0008	0,0008	0,0008	0,28	0,191	0,00507
	ν -8760, ч	100,8	44,12	29,96	6,38	100,8	42,18	27,54	3,15	100,8	40,33	25,2	0,0086	93,5	90,32	87,2
	НО, о.е.	0,045	0,078	0,079	0,081	0,045	0,125	0,128	0,133	0,045	0,318	0,346	0,379	0,06	0,066	0,11
2	λ , 1/год	0,436	0,176	0,176	0,176	0,436	0,087	0,087	0,087	0,436	0,00015	0,00015	0,00015	0,18	0,094	0,00756
	ν -8760, ч	14,6	9,65	8,42	6,37	14,6	7,735	6,01	3,14	14,6	5,84	3,64	0,00125	7,28	4,09	0,00011
	НО, о.е.	0,048	0,079	0,08	0,081	0,048	0,125	0,129	0,133	0,048	0,321	0,348	0,382	0,06	0,082	0,128

Примечание. P_r , P_c – номинальная мощность генератора и мощность нагрузки секции шин с присоединенным генератором; $P_{лин}$ – пропускная способность резервной линии.

ВЫВОД

Расчет надежности системы электропитания с помощью непараметрической оценки позволяет различить высоконадежные схемы при неопределенных исходных данных и наличии собственных генерирующих источников на предприятии.

Присоединение генератора электростанции к системе внутреннего электропитания и полное покрытие мощности нагрузки предприятия повышают надежность схемы в два и более раз; большее увеличение надежности обеспечивается при работе генератора на шины более низких напряжений, а именно 0,38 или 6 кВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гук Ю. Б. Теория надежности в электроэнергетике: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
2. Правила устройств электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.
3. Поспелов Г. Е., Федин В. Т. Электрические системы и сети: Проектирование. – Мн.: Вышэйш. шк., 1988. – 308 с.
4. Гук Ю. Б. Теория и расчет надежности систем электропитания / Под ред. Р. Я. Федосенко. – М.: Энергия, 1970. – 117 с.
5. Электротехнический справочник: В 3 т. – Т. 3: В 2 кн. – Кн. 1: Производство и распределение электрической энергии / Под общ. ред. И. И. Орлова и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 880 с.

Представлена кафедрой
электрических систем

Поступила 15.04.2005