

УДК 621.315

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, КОЛИЧЕСТВА И МЕСТА
ПОДКЛЮЧЕНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ,
РАБОТАЮЩИХ НА МЕСТНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА
ANALYSIS OF TECHNICAL PARAMETERS, NUMBER AND CONNECTION
POINTS OF LOW POWER GENERATING DEVICES OPERATING ON LOCAL
FUELS

Короткевич М. А., д-р техн. наук, профессор,
Старжинский А. Л., к-т техн. наук, доцент,

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь
M. Korotkevich, Doctor of technical Sciences, Professor, A. Starzhinsky, Candidate of
Technical Scinces, Docent, Belarusian national technical university,
Minsk, Belarus

Аннотация. Выполнен анализ технических параметров мини-электростанций на местных видах топлива, определено рациональное количество генерирующих устройств малой мощности и место их подключения к электрической сети.
Abstract. The analysis of the technical parameters of mini-power plants using local fuels was carried out, the rational number of low-power generating devices and the place of their connection to the electrical network were determined.

Ключевые слова: мини-электростанция, местные виды топлива
Key words: mini power plant, local fuels

ВВЕДЕНИЕ

В работе рассматриваются генерирующие устройства малой мощности (суммарная мощность до 25 МВт), подключаемые к распределительным сетям энергосистемы или сетям внутреннего электроснабжения предприятия на напряжении до 110 кВ и использующие для производства электроэнергии местные первичные источники энергии.

Отмеченные генерирующие устройства, работающие на местных видах топлива (применительно к условиям Республики Беларусь – это дрова, торф), максимально приближены к узлам электропотребления и могут работать как параллельно с энергосистемой, так и в автономном режиме.

Необходимость строительства указанных генерирующих установок малой мощности для удовлетворения собственных потребностей потребителей в электроэнергии обусловлено:

– непрерывным ростом цен на нефтяное топливо и природный газ; и, следовательно, стремлением к снижению себестоимости производимой продукции и повышению ее конкурентной способности на внутреннем и внешнем рынках;

- желанием повысить надежность электроснабжения особо ответственных потребителей, не допускающих перерыва в электроснабжении по условиям технологии производства; т. е. созданием резервного питания;
- потребностями технологического процесса в тепловой энергии;
- желанием сократить зависимость от импорта энергии, а также энергоносителей за счет увеличения доли использования располагаемых топливно-энергетических ресурсов.

Подключение мини-электростанций к распределительной электрической сети энергосистемы приводит к увеличению объектов управления, большей скорости нарушения нормального режима (из-за малых значений постоянных инерции генераторов, составляющих 1–2 секунды), образованию реверсивных потоков мощности, определяемых режимами генерации и потребления электроэнергии в узлах нагрузки в данный момент времени.

Подключение в узлы нагрузки генерирующих источников малой мощности приводит к изменению надежности системы электроснабжения, необходимости обеспечения условий устойчивости параллельной работы с энергосистемой. Следовательно, эффективность подключения устройств малой генерации к узлам нагрузки должна учитывать не только количественные (стоимостные) показатели, но и показатели надежности работы.

Для этого первоначально необходимо выполнить анализ технических параметров генерирующих устройств малой мощности, работающих на местных видах топлива. Далее требуется определить рациональное количество генерирующих источников и место их подключения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Проведем анализ технических параметров генерирующих устройств малой мощности на местных видах топлива. Мини-электростанции, построенные в Республике Беларусь, с главной целью – сокращение зависимости от импорта энергоносителей – имеют мощности от 1,1 до 5,0 МВт и работают на местном биотопливе (древесные отходы, дрова, фрезерный торф). В состав древесных отходов входит щепа, опилки, тонкомерная и некондиционная древесина. Мини-теплоэлектроцентрали вырабатывают тепловую и электрическую энергию, используемую на цели технологического процесса предприятий и жилищно-коммунальных потребностей населенных пунктов.

Электростанции работают по термодинамическому циклу и содержат: паровой котлоагрегат, паровую турбину с противодавлением, синхронный турбоагрегат, систему топливоподачи, вспомогательное оборудование.

В качестве топлива могут использоваться только древесные отходы (мощность электростанции 1,1 и 1,5 МВт) или прессованная щепа, получаемая из древесины (мощность электростанции 3,8 МВт) или древесные отходы (40 %) и фрезерный торф (60 %) (мощность электростанции 2,7; 4,2 МВт), или древесное топливо (60 %) и фрезерный торф (40 %) (мощность электростанции 3,7 МВт). Древесные отходы имеют малую плотность и низкую теплоту сгорания ($9403 \cdot 10^3$ Дж/кг или 2244 ккал/кг), при сгорании развивают невысо-

кую температуру горения при низком коэффициенте полезного действия (к.п.д.) котельной установки.

Включение в состав топлива фрезерного торфа позволяет получить температуру пара до 485 °С давлением 6,4 МПа с к.п.д. котлоагрегата 88 % [1].

Необходимо отметить, что все оборудование мини-ТЭЦ – импортное (в Республике Беларусь не производится) и, следовательно, дорогое. В качестве рабочего тела, воспринимающего энергию от сжигания топлива в топочном устройстве котла, служит не только вода, но и силиконовое масло, отличающееся тем не менее повышенной пожароопасностью.

Удельный расход условного топлива на производство электроэнергии на мини-ТЭЦ составляет 164,2–189,1 г.у.т./кВт·ч, что ниже на 20 %, чем в энергосистеме (235,5 г.у.т./кВт·ч), а себестоимость производства 3,59 цент/кВт·ч = 9 коп/кВт·ч.

Для обеспечения функционирования мини-ТЭЦ необходимо создание инфраструктуры заготовок и транспортировки топливного сырья (древесины и торфа), производства топлива из древесного сырья и торфа и подготовки к его сжиганию (измельчение на фракции, прессование).

Одна тонна условного топлива из местного сырья почти в 2 раза дешевле природного газа и составляет примерно 0,125 руб/кг.

Эффективность работы установок на местных видах топлива может быть обеспечена, если тариф на электроэнергию, производимую присоединенными к сети указанными установками будет определен с учетом повышающего коэффициента.

Таким образом, основные технические характеристики действующих в Республике Беларусь миниэлектростанций, вырабатывающих тепловую и электрическую энергию на местных видах топлива следующие:

- мощность электростанций – 1,1–4,2 МВт;
- топливо: древесные отходы, фрезерный торф;
- удельный расход условного топлива на производство одного киловатт часа электроэнергии – 164,2–189,1 г.у.т./кВт·ч;
- себестоимость производства электроэнергии 0,09 бел. руб/кВт·ч;
- постоянная времени инерции генератора – 1–2 секунды;
- температура пара перед турбиной (250–485) °С;
- давление пара перед турбиной (1,3–6,4) МПа;
- срок реализации проекта (от выбора площадки для строительства до ввода в эксплуатацию) около 2 лет;
- объем капитальных вложений не менее 1200 руб/кВт.

Определим рациональное количество генерирующих источников и места их подключения. Работа генератора малой мощности (например, 3,7 МВт, 3,8 МВт, 4,2 МВт) электростанций на местных видах топлива параллельно с энергосистемой должно приводить к повышению надежности работы энергосистемы. Снижение единичной мощности генераторов мини-электростанций и увеличение их количества может означать повышение надежности работы

мини-электростанции, если надежность генератора меньшей мощности выше показателей надежности генераторов большой мощности.

Оценим необходимое количество генераторов различной мощности, обеспечивающие максимум надежности работы. При этом, надежность отдельных генераторов одинакова. При известной вероятности аварийного состояния q вероятность рабочего состояния можно определить:

$$p = 1 - q. \quad (1)$$

Пусть мини-электростанция имеет один генератор, тогда вероятность безотказной работы генератора p в течении одного года определяется как:

$$p = e^{-\lambda}, \quad (2)$$

где λ – параметр потока отказов, отказ/год.

Для генератора напряжением 10 кВ $\lambda = 0,06$ 1/год тогда:

$$p = e^{-0,06} = 0,9418, \quad q = 1 - p = 0,0582.$$

Сравним вероятности безотказной работы миниэлектростанции при наличии у нее двух генераторов мощностью 2,1 МВт или одного генератора мощностью 4,2 МВт. Примем, что надежность генераторов мощностью 4,2 МВт и 2,1 МВт одинакова и равна $\lambda = 0,06$ 1/год и $p = 0,9418$. Считая повреждения генераторов независимыми событиями определим вероятность передачи (100 %, 50 %, 0 %) мощности потребителю.

При работе 2-х генераторов мощностью 2,1 МВт:

$$\begin{aligned} p(100) &= (1 - q_z)^2 = (1 - 0,0582)^2 = 0,887; \\ p(50) &= p_z^2 + 2 \cdot p_z \cdot q_z = 0,9418^2 + 2 \cdot 0,9418 \cdot 0,0582 = 0,887 + 0,1096 = 0,9966; \\ p(0) &= q_z^2 = 0,0582^2 = 0,00338. \end{aligned}$$

При работе одного генератора мощностью 4,2 МВт:

$$\begin{aligned} p(100) &= p = 0,9418; \\ p(0) &= q = 0,0582. \end{aligned}$$

При 2-х генераторах меньшей мощности ($P_r = 2,1$ МВт) снижается вероятность безотказной работы (при получении 100 % мощности потребителем) в 1,06 раза в сравнении с работой одного генератора большей мощности ($P_r = 4,2$ МВт). Здесь учитывалась надежность генераторов меньшей и большей

мощности. Следовательно, на мини-электростанции, работающей на местном топливе, большая надежность обеспечивается при одной генерирующей установке. Дробление ее на несколько менее мощных приводит к снижению надежности работы мини-электростанции.

Определим место подключения генерирующих источников напряжением 0,38 и 10 кВ при отборе мощности с шин напряжением 10 и 0,38 кВ. Для этого рассмотрим две простейшие схемы подключения генератора на шины 0,38 кВ рис. 1 и на шины 10 кВ рис. 2.

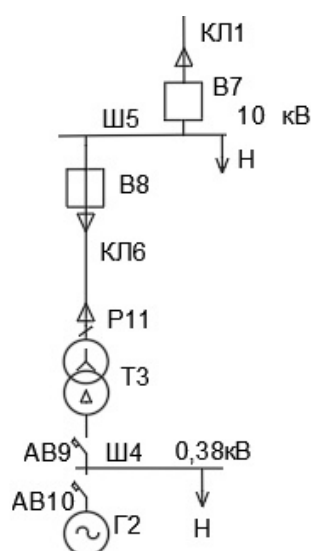


Рисунок 1 – Схема подключения генератора на шины 0,38 кВ

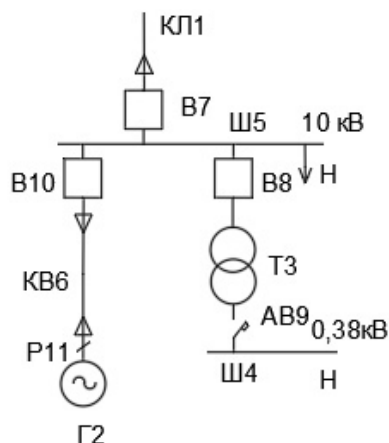


Рисунок 2 – Схема подключения генератора на шины 10 кВ

Расчет частоты и длительности перерыва электроснабжения потребителей проведем методом дерева отказов [1]. Метод строится на систематическом анализе событий, которые могут вызвать отказ системы. В результате анализа строится так называемое дерево отказов; структура дерева позволяет легко воспроизводить алгоритмы, при помощи которых можно вычислить вероятность отказа системы.

Компьютерная реализация расчетов надежности схем электроснабжения с помощью метода дерева отказов реализована в программе REISS" [1].

Значения λ и T в общем виде определяются по выражениям [1]:

$$\lambda = \sum_{k=1} \lambda(k), \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{\lambda} \cdot \sum_k T(k) \cdot \lambda(k), \quad (2)$$

где $\lambda(k)$ и $T(k)$ – соответственно частоты и длительности смоделированных аварий к-то вида, приводящих к расчетному погашению:

$$\lambda(k) = q(k, j) \cdot \lambda(k, m) \cdot \prod_s Q(k, s);$$

$$T(k) = q(k, j) \cdot \lambda(k, m) \min \left\{ \frac{t(k, j)}{2}; t(k, m); t_{\text{о.п.}} \right\} \cdot \prod_s Q(k, s),$$

где $q(k, j)$ – относительная длительность ремонтного простоя j -го элемента, о.е;

$\lambda(k, m)$ – частота повреждения m -го элемента схемы, 1/год;

$t(k, m)$, $t(k, j)$ – длительности послеаварийного восстановления m -го и j -го элементов схемы, ч;

$t_{\text{о.п.}}$ – время оперативных переключений, ч;

$Q(k, s)$ – вероятность отказа в срабатывании s -го устройства релейной защиты, коммутационного аппарата или автоматического ввода резерва.

Коэффициент неготовности электроснабжения потребителей k_H вычисляется по выражению:

$$k_H = \frac{T \cdot \lambda}{8760}. \quad (3)$$

В табл. 1 приведены данные по надежности элементов схем электроснабжения [1].

Таблица 1 – Показатели надежности элементов схем электроснабжения

Элемент	Частота отказа, 1/год	Время послеаварийного восстановления T_B , ч	Частота планового ремонта, 1/год	Длительность планового ремонта $T_{\text{РЕМ}}$, ч
Силовой трансформатор напряжением 6–20 кВ	0,014	42	0,25	6

Продолжение табл. 1

Элемент	Частота отказа , 1/год	Время послеаварийного восстановления T_B , ч	Частота планового ремонта , 1/год	Длительность планового ремонта $T_{РЕМ}$, ч
Кабельные линии	0,018	11	1	2
Генератор	0,06	12	1	10
Вакуумный выключатель	0,004	8	0,14	6,8
Автоматический выключатель	0,01	4	—	—
Разъединитель напряжением 10 кВ	0,01	12	0,166	3,4

Результаты расчета надежности схем при подключении генератора на шины 0,38 кВ и 10 кВ представлены в табл. 2

Таблица 2 – Результаты расчета надежности схем

Место подключения генератора		Суммарная частота события , 1/год	Средняя продолжительность отключения T , ч	Коэффициент неготовности, о.е.
Шины 0,38 кВ (рис. 1)	0,38 кВ	0,07118	5,982	$0,4861 \cdot 10^{-4}$
	10 кВ	0,08647	7,544	$0,7446 \cdot 10^{-4}$
Шины 10 кВ (рис. 2)	0,38 кВ	0,1523	9,865	$0,1715 \cdot 10^{-4}$
	10 кВ	0,09859	6,435	$0,7243 \cdot 10^{-4}$

Из табл. 2 видно, что при подключении генератора на шины 0,38 кВ повышается надежность электроснабжения потребителей, подключенных к этим шинам, по сравнению с работой генератора на шины напряжением 10 кВ. Надежность электроснабжения потребителей, подключенных к шинам напряжением 10 кВ, при включении генератора как на шины 0,38 кВ, так и на шины 10 кВ практически не изменяется.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отмечено, что мини-электростанции, работающие по термодинамическому циклу, построенные в Республике Беларусь для сокращения зависимости от импорта энергоносителей, имеют мощность (1,1–5) МВт. Удельный расход условного топлива на производство электроэнергии на указанных мини-ТЭЦ достигает 190 г.у.т./кВт·ч), что ниже на 20 % чем в целом по Белорусской энергосистеме (235,5 г.у.т./кВт·ч), использующей для производства электроэнергии природный газ. Однако себестоимость производства электроэнергии на мини-ТЭЦ достаточно высокая (до 0,09 руб/кВт·ч) из-за высокой стоимости импортируемого энергетического оборудования.

Доказано, что на мини-электростанциях, работающих на местном топливе, большая надежность работы обеспечивается при одной генерирующей установке. Дробление ее на несколько менее мощных приводит к снижению надежности работы электростанции.

Установлено, что при подключении генератора мини-электростанции на шины напряжением 0,38 кВ повышается надежность электроснабжения потребителей, подключенных к этим шинам по сравнению с работой генератора на шины напряжением 10 кВ. При этом надежность электроснабжения потребителей, подключенных к шинам напряжением 10 кВ, практически не изменяется при включении генератора как на шины 0,38 кВ, так и на шины 10 кВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гук Ю. Б. Теория надежности. Введение: учеб. пособие / Ю. Б. Гук, В. В. Карпов, А. А. Памидус. Спб.: Изд-во политехнич. ун-та, 2009. 171 с.