

стоит задача разработать методологию, позволяющую достоверно определять значения удельного технологического потребления ТЭР на выпуск продукции и общезаводских расходов, а также приоритетные направления энергосбережения.

Существенным резервом снижения расхода электрической энергии является уменьшение потерь в электрических сетях и аппаратах. В связи с этим нами рассмотрены виды потерь в электрических машинах (генераторы, двигатели, трансформаторы). Изучены основные пути снижения этих потерь [2, 5]: совершенствование конструкции, обоснованный выбор установленной мощности, числа параллельно работающих агрегатов, параметров, оптимизация режимов и др.

#### Выводы

1. Нормирование расхода ТЭР может и должен использоваться как действенный инструмент энергосбережения с прямыми и косвенными функциями. Эффективность данного инструмента существенно может быть повышена при использовании его в комплексе с грамотным энергоаудитом и обоснованной разработкой мероприятий по энергосбережению.

2. Корректный расчет норм потребления ТЭР предполагает: оптимизацию загрузки технологического оборудования и объемов выпускаемой продукции в условиях меняющейся производственной программы, экономически обоснованное снижение потерь в аппаратах и сетях.

#### Литература

1. Положение о нормировании расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве Республики Беларусь // Энергоэффективность. – 2002. – № 9.
2. Поспелова, Т.Г. Основы энергосбережения. – Мн.: УП «Технопринт», 2000.
3. Токочакова, Н.В., Мороз, Д.Р. Расчетно-статистические модели режимов потребления электроэнергии как основа нормирования и оценки энергетической эффективности // Энергоэффективность. – 2006. – № 1.
4. Токочакова, Н.В., Мороз, Д.Р. Расчетно-статистические модели режимов потребления электроэнергии как основа нормирования и оценки энергетической эффективности // Энергоэффективность. – 2006. – № 2.
5. Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины: Учебник для вузов. В 2-х т. – М.: Изд-во МЭИ, 2004.

УДК 621.31

## КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ МИНИ-ТЭЦ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*Артюх А.Е., Рынгель Д.И., Трус М.П.*

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор ПОСПЕЛОВА Т.Г.

Эволюция источников и сетей энергоснабжения, значительный рост стоимости традиционных энергоносителей, определяют перспективу формирования энергосистем (ЭС) на ближайшие десятилетия. В структуре ЭС будущего [1] предполагается иерархия трех концентрически расположенных замкнутых подсистем (уровней), параллельно работающих и радиально связанных между собой:

– подсистема, включающая мощные источники электрической, тепловой энергии (электростанции с трансформацией на напряжении 110 кВ и выше), сети высокого и сверхвысокого напряжения, крупные центры потребления;

– подсистема, к распределительным сетям 6–35 кВ которой присоединены установки распределенной генерации, в том числе малые ТЭЦ, малые ГЭС, основная масса промышленных потребителей;

– подсистема, объединяющая мини- и микро-установки (мини- и микро-ГЭС, ВЭУ, газопоршневые установки, солнечные электростанции, топливные элементы и т. п.), которые подключаются на напряжении 0,4 кВ и устанавливаются непосредственно у небольших потребителей (дома, усадьбы, квартиры); данная подсистема находится на самой начальной стадии зарождения.

К высокоэффективным установкам распределенной (децентрализованной) энергетики (2-ой и 3-ий уровень описанной структуры ЭС) на современном этапе относятся когенерационные установки (КГУ) малых и мини-ТЭЦ. Когенерация – комбинированный процесс одновременного производства электрической и тепловой энергии внутри одного устройства – КГУ. Согласно прогнозам Европейской Ассоциации Когенерации (Cogen Europe) доля когенерационных систем в выработке электроэнергии в ЕЭС к 2010 году достигнет 17–19 %. В последние годы интенсивно внедряются малые и мини-ТЭЦ на базе газотурбинных установок (ГТУ) и газопоршневых агрегатов (ГПА) в России и Беларуси. К достоинствам КГУ относятся:

– энергоэффективность: использование энергетических ресурсов на 30–40 % выше, меньший расход топлива для производства того же количества энергии в сравнении с отдельным производством электрической и тепловой энергии;

– экономичность: быстрая окупаемость (2–5 лет) инвестиций на закупку и монтаж КГУ за счет меньшей себестоимости производимой энергии при сроке эксплуатации 25–30 лет;

– высокая надежность энергоснабжения (альтернативы работы параллельно с внешней сетью, в автономном режиме, в режиме аварийного энергоснабжения);

– наличие режима автономности энергоснабжения;

– возможность встраивания КГУ в уже существующую систему энергоснабжения потребителя;

– блочно-модульное исполнение;

– совместимость с иными источниками распределенной энергетики, в т. ч. с ВЭУ.

Кроме КГУ высокоэффективными являются тригенерационные установки, одновременно вырабатывающие электричество, тепло и холод; тригенерация находит все большее распространение в индустриально развитых странах.

КГУ состоит из следующих основных блоков: первичный двигатель (ПД) (паровая или газовая турбина, газопоршневой двигатель, микротурбина), электрогенератор, система утилизации тепла, система контроля и управления. Классифицируются КГУ по типу ПД, генератора, типу потребляемого топлива. В таблице представлены диапазоны электрических мощностей и значения электрического КПД для КГУ с различными видами ПД.

Электрические характеристики ПД КГУ

Наименование ПД	Диапазон электрических мощностей, МВт	Соотношение тепло / электро-энергия	КПД электрический, %	КПД общий, %
Паровая турбина	1–100 (500)	3/1–8/1	7–20	до 80
Газовая турбина	5–200	1,5/1–5/1	25–35	65–87
Поршневые двигатели	0,003–15 (20)	0,5/1–3/1	25–40	70–94
Микротурбины	0,025–0,2	–	28–30	до 96

Потенциальными объектами для применения когенерации в республике являются промышленные производства, больницы, объекты ЖКХ, газоперекачивающие и компрессорные станции, котельные и т. д. Внедрение распределенных мини-ТЭЦ позволяет избежать сооружения новых мощных линий электропередачи и теплотрасс, прибли-

зисть источники энергии к потребителям и тем самым снизить потери на передачу энергии, улучшить ее качество, и в целом – повысить коэффициент использования энергии природного газа. КГУ удачно вписываются в параллельную работу с электрической сетью городов. Имеет место практика строительства мини-ТЭЦ на крышах зданий, что позволяет разгрузить электрические сети и повысить надежность энергоснабжения.

В настоящее время наибольший практический интерес в качестве конкурирующих вариантов ПД для мини-ТЭЦ имеют газовые турбины (ГТУ) и газопоршневые агрегаты (ГПА). ГТУ наиболее выгодны на крупных промышленных предприятиях, имеющих электрические нагрузки более 8 МВт, ввод газа высокого давления, высококвалифицированный персонал для эксплуатации ГТУ. В КГУ на базе ГПА утилизируется тепло отработанных газов, масляного холодильника и охлаждающей жидкости двигателя; при этом на 100 кВт электрической мощности потребитель получает 150–160 кВт тепловой мощности. Генераторы в КГУ предназначены для преобразования механической энергии вращающегося вала ПД в электроэнергию. Различают 4 альтернативных режима работы генераторов мини-ТЭЦ:

– если потребность в электроэнергии потребителей выше, чем количество энергии, производимой КГУ, то имеет место параллельный режим работы с электрической сетью ЭС, при этом КГУ производит энергию для собственных нужд;

– при мощности КГУ, соответствующей мощности потребителей, КГУ подключается на параллельную работу с сетью ЭС и используется не на полную мощность, а в случае аварии на линии связи с ЭС, КГУ служит источником электроэнергии;

– если мощность КГУ меньше мощности подключенных потребителей, то КГУ присоединяется на параллельную работу с сетью ЭС и используется в номинальном режиме в течение суток, при этом излишек электроэнергии продается в ЭС;

– если у потребителя отсутствует потребность в использовании внешней энергии, то предусматривается автономный режим работы КГУ.

На выбор типа электрического генератора КГУ влияют назначение и мощность установки, необходимость выполнения функции резервирования электрической сети, финансовые соображения. Для работы распределенных когенерационных систем параллельно с сетью ЭС (первые три из вышеперечисленных режимов работы генераторов) в КГУ, как правило, используются синхронные генераторы с микропроцессорными системами управления, обеспечивающими автоматизацию процессов синхронизации. При автономном режиме работы КГУ могут использоваться асинхронные генераторы. Поэтому при выборе по условию меньшей стоимости, отсутствии необходимости в резервном энергоснабжении предпочтительны асинхронные генераторы.

При параллельном режиме работы генераторов мини-ТЭЦ лучше решаются вопросы обеспечения качества электроэнергии (частота, уровни и колебания напряжения, симметрия напряжения и токов по фазам статора генератора). В автономном режиме поддержание требуемых параметров качества электроэнергии проблематичнее. Шкафы КИПиА, входящие в единую структуру мини-ТЭЦ на базе КГУ в виде отдельного блока-модуля, обеспечивают высокую надежность эксплуатации, в т. ч. автоматический пуск-останов агрегатов, регулирование частоты вращения и мощности агрегата, стабилизацию напряжения и частоты тока. При выборе электрической схемы подключения мини-ТЭЦ учитываются предполагаемый режим работы ее генераторов и уже существующая схема электроснабжения потребителя (в т. ч., питающей подстанции самого предприятия, строящего мини-ТЭЦ, или ЭС, количество и пропускная способность отходящих линий, токоограничивающие и коммутационные устройства). Факторами, которые при этом принимаются во внимание, являются минимум изменений в существующей схеме, ее простота и надежность, обеспечение устойчивости генераторов, ограничение токов короткого замыкания.

Одно из основных условий эффективности использования мини-ТЭЦ в децентрализованной системе энергоснабжения – обоснованный выбор оптимальных соотношения тепловой и электрической мощности КГУ, а также количества параллельно работающих агрегатов. Прежде всего, при этом следует исходить из прогнозируемых режимов работы по тепловому или электрическому графикам нагрузки, уровней тарифов на оба вида энергии, анализа рационального соотношения потребления электрической и тепловой энергии от собственных источников и от ЭС. Производители мини-ТЭЦ рекомендуют выбор типоразмеров и мощности КГУ осуществлять с учетом следующих факторов: номинального напряжения, электрической мощности, места расположения. суточного потребления электроэнергии, режима работы (островного или резервного). наличия лимитов газа, давления газа, климатических условий, конструктивного исполнения, необходимости работы электростанции с ЭС.

В настоящее время критерии и условия обоснованного выбора оптимальных параметров распределенных источников энергоснабжения, в том числе мини-ТЭЦ на базе КГУ, активно дискутируются [2–5]. Методика и алгоритм решения данной проблемы должны основываться на балансе экономических интересов государства и потребителя-собственника распределенного энергоисточника, учитывать технические факторы (надежность и качество энергоснабжения) и экологическую безопасность.

#### Литература

1. Тенденции развития централизованной и распределенной энергетики / Воропай Н.И., Кейко А.В., Санеев Б.Г. и др. // Энергия: экономика, техника, экология. – 2005. – № 7.
2. Седнин, В.А., Седнин, А.В., Шимукович, А.А. Перевод отопительных котельных в мини-ТЭЦ // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2005. – № 5.
3. Седнин, В.А., Седнин, А.В., Шимукович, А.А. Перевод отопительных котельных в мини-ТЭЦ // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2005. – № 6.
4. Хлебалин, Ю.М., Николаев, Ю.Е., Андреев, Д.А. Оптимизация электрической мощности ГТУ при реконструкции котельных в малые ТЭЦ // Промышленная энергетика. – 1998. – № 9.
5. Федяев, А.В., Федяева, О.Н. Комплексные системы развития теплоснабжающих систем. – Новосибирск: Наука, 2000.

УДК 621.316

## АЛГОРИТМИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Трушников А.Л.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент РАДЖЕВИЧ В.Н.

Вопрос оптимизации работы систем электроснабжения (СЭС) в целом и её отдельных элементов всегда оставался актуальным. Потери активной энергии в элементах СЭС в конечном итоге компенсируются выработкой дополнительной электрической энергии на электростанциях и, как следствие, приводит к непроизводительному расходу природных ресурсов.

Существуют различные методы и способы снижения потерь электроэнергии в элементах СЭС. Одним из таких способов является оптимизация работы силовых трансформаторов напряжением 6–10/0,4 кВ [1]. В частности, иногда своевременное отключение части трансформаторов, работающих с низким коэффициентом загрузки, может привести к снижению потерь активной мощности в СЭС за счет исключения по-