

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.22

А.Б. Лоскутов, Г.Я. Вагин, Е.Б. Солнцев, А.Г. Воеводин,
Е.Н. Соснина, А.М. Мамонов, А.А. Петров

КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СОЗДАНИЯ МИНИ-ТЭЦ НА БАЗЕ ГАЗОПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ*

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В статье сформулирована концепция применения мини-ТЭЦ в различных секторах экономики России. Показаны основные технические решения при разработке типовых проектов газопоршневых мини-ТЭЦ мощностью от 0,5 до 4 МВт на базе отечественных энергоагрегатов.

Ключевые слова: мини-ТЭЦ, концепция применения, разработка типового ряда, пилотные проекты.

В России в 2007 г. на тепловых электростанциях было выработано 674 млрд кВт·ч электроэнергии, в том числе: на газовых – 490 млрд кВт·ч со средним КПД 38%; на каменном угле – 172 млрд кВт·ч со средним КПД 37%; на мазутных – 5 млрд кВт·ч со средним КПД 37% и на дизельных – 7 млрд кВт·ч со средним КПД 22% [1]. Такие низкие КПД являются результатом большой доли устаревшего оборудования (до 40%) на тепловых электростанциях России. Только 1,5% электроэнергии было выработано на станциях, соответствующих верхним границам КПД, установленным Международным энергетическим агентством (МЭА): для станций на угле 48%, на газе 60%, на жидком топливе 50%.

Из приведенных данных видно, что коэффициент использования топлива на российских электростанциях очень низок. Более высокий КПД имеют ТЭЦ. Однако крен на строительство только крупных ТЭЦ, который был взят в 70-х годах XX в., привел к тому, что их КПД составляет только 60-65%. Это связано с их необеспеченностью тепловой нагрузкой и большими расстояниями от потребителей тепла, приводящими к значительным его потерям (до 30%).

В последние годы во многих странах резко возрос интерес к мини-ТЭЦ мощностью от 1 до 20 МВт. Это объясняется тем, что их КПД удалось довести до 80-90%, малые сроки монтажа (1-2 года стационарных и 1-2 месяца на платформах), более низкие капиталовложения (срок окупаемости от 2 до 5 лет), возможность максимального приближения к потребителям электроэнергии и тепла, меньшие затраты на эксплуатацию, широкая гамма использования различных видов топлив и ряд других положительных качеств.

Большую роль малая энергетика играет в обеспечении надежности энергоснабжения и энергетической безопасности потребителей электрической и тепловой энергии, которая является важной компонентой национальной безопасности страны и трактуется как состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от обусловленных внутренними и внешними факторами угроз дефицита всех видов энергии и энергетических ресурсов.

По ситуационному признаку при анализе энергетической безопасности выделяют три основных варианта, соответствующих нормальным условиям функционирования, критическим и чрезвычайным ситуациям. Энергетическая безопасность в условиях нормального функциони-

* Исследования выполнены по государственному контракту с Федеральным агентством по науке и инновациям © Лоскутов А.Б., Вагин Г.Я., Солнцев Е.Б., Воеводин А.Г., Соснина Е. Н., Мамонов А.М., Петров А.А., 2010.

рования связывается с необходимостью обеспечения в полном объеме обоснованных потребностей в энергетических ресурсах. В критических и чрезвычайных ситуациях энергетическая безопасность требует гарантированного обеспечения жизненно важных объектов.

В связи со значительной выработкой технического ресурса объектов большой энергетики возрастает влияние на энергетическую безопасность аварий, взрывов, пожаров техногенного происхождения, а также стихийных бедствий.

События последних лет (авария на подстанции «Чагино», авария на Саяно-Шушенской ГЭС и др.) показали существенную неустойчивость в обеспечении электрической энергией потребителей от централизованных энергосистем.

В последние годы увеличивается число аварий от природных катаклизмов.

Весьма уязвимыми являются централизованные энергосистемы и с военной точки зрения. Например, с помощью сравнительно недорогих боевых блоков, разбрасывающих проводящие нити или графитовую пыль, НАТО удалось за двое суток вывести из строя до 70% электроэнергетических систем Югославии.

Уязвимыми они и для террористических актов. Поэтому опасность потери энергоснабжения ответственных объектов весьма значительна.

Повысить энергетическую безопасность потребителей можно за счет более широкого применения мини-ТЭЦ. Рынок применения мини-ТЭЦ в России охватывает следующие направления:

1. *Все добывающие отрасли ТЭК*, особенно в отдаленных районах (Север, Дальний Восток и др.). Стоимость передачи 1 кВт электрической энергии в Северные районы по линиям 110 кВ и выше в 3-10 раз дороже стоимости 1 кВт мощности мини-ТЭЦ. Кроме того, ЛЭП 110 кВ и выше в этих районах имеют большую повреждаемость. Наличие в добывающих отраслях собственного топлива (газ, попутный газ, метан, и др.) делают мини-ТЭЦ в этих районах безальтернативными.

2. *Промышленность*. Значительный потенциал для сооружения мини-ТЭЦ имеется в следующих отраслях промышленности: металлургическая, химическая, нефтехимическая, нефтеперерабатывающая, строительная, целлюлозно-бумажная, текстильная, пищевая.

Основные назначения мини-ТЭЦ:

- максимальное использование на предприятиях вторичных энергоресурсов, особенно низкопотенциальных;
- повышение надежности электроснабжения технологий, перерыв в электроснабжении которых может привести к взрывам, пожарам, опасности для жизни людей, большому ущербу от повреждения оборудования и браку продукции;
- снижение стоимости покупаемых энергоносителей и соответственно снижение себестоимости выпускаемой продукции;
- возможность расширения предприятий при недостатке мощностей в энергосистемах.

3. *Предприятия и объекты оборонного комплекса*. Основные назначения – повышение надежности энергоснабжения и энергоснабжение удаленных от энергосистем объектов.

4. *Коммунальное хозяйство*. Снабжение теплом и электричеством поселков, домов отдыха и санаториев, а также районов новой застройки больших городов.

В настоящее время электрическую энергию городские объекты получают от ЕЭС или от ТЭЦ, а тепловую – от ТЭЦ или котельных. В ряде городов тепловые трассы от ТЭЦ до потребителей исчисляются десятками километров, а потери тепловой энергии в таких сетях достигают до 20-30% от передаваемой теплоэнергии.

В последнее время бурное строительство новых домов и офисов привело в ряде городов к нехватке мощностей существующих систем электро- и теплоснабжения. Стоимость подключения 1 кВт новых мощностей электроэнергии в г. Москва достигла 31 тыс. рублей. Коэффициент полезного использования теплоты на существующих ТЭЦ составляет 60-65%. Срок службы многих котельных превышает 20 лет, и нужна их модернизация. Количество аварий в системах теплоснабжения в зимнее время с каждым годом возрастает. Большое

число аварий в системах электро- и теплоснабжения возникает и от климатических факторов (бури, ураганы, сильные снегопады, обледенение проводов ЛЭП и т.д.).

Таким образом, надежность электро- и теплоснабжения городов с каждым годом падает, поэтому основным критерием необходимости сооружения мини-ТЭЦ в городах является обеспечение надежности и энергетической безопасности потребителей тепловой и электрической энергии.

Для городских объектов возможны следующие направления внедрения мини-ТЭЦ:

- снабжение электрической и тепловой энергией вновь строящихся городских объектов при отсутствии резервов электрической мощности в районах новой застройки. В качестве агрегатов мини-ТЭЦ необходимо применять газопоршневые, так как газотурбинные агрегаты требуют сооружения газокompрессорных дожимных станций, минимально допустимое расстояние которых от жилых домов должно быть не менее 500 м;
- замена котельных, срок эксплуатации которых составляет 20 и более лет (таких котельных в России около 20 тыс);
- повышение надежности электро- и теплоснабжения центров крупных городов. Мини-ТЭЦ позволяют разгрузить электрические и тепловые сети центра города, обеспечить стабильное качество тепловой и электрической энергии и делают возможными подключение новых потребителей.

Децентрализация источников энергоснабжения позволит снизить пиковый расход топлива примерно в четыре раза по сравнению с вариантом использования возможностей энергосистем, а с вариантом крышных котельных – в два раза. Принцип энергообеспечения жилых микрорайонов от мини-ТЭЦ сочетает два важнейших элемента – экономическую эффективность и экологическую безопасность, он относится к энергосберегающим технологиям.

Экономия бюджетных средств при децентрализованном электро- и теплоснабжении городов обеспечивается за счет:

- отказа от строительства относительно дорогостоящих линий электропередач, пониженных подстанций, тепловых пунктов и крышных котельных;
- резкого снижения стоимости инженерных коммуникаций за счет значительного уменьшения их протяженности и исключения теплотрасс с следовательно снижением эксплуатационных и ремонтных издержек;
- уменьшения удельного расхода природного газа для получения электрической и тепловой энергии за счет более высокого КПД агрегатов и коэффициента полезного использования топлива и, соответственно, экономии этого вида топлива.

5. *Сельское хозяйство.* Использование биогаза и снабжение теплом и электричеством удаленных сельскохозяйственных объектов деревень.

По прогнозам [2], в 2012 г. потребление электроэнергии в России достигнет уровня 1990 г. – 1073 млрд кВт·ч. Учитывая, что за период с 1990 по 2009 гг. ввод новых мощностей электростанций был минимальным, а износ оборудования на многих действующих достигает 60%, может возникнуть угроза энергетической безопасности России и снижение темпов роста ВВП, так как потребителям не будет хватать электрической энергии.

Чтобы избежать этого, в «Прогнозе развития электроэнергетики России на период до 2020 – 2030 годов» предусмотрено ввести до 2015 г. 101 млн кВт новых мощностей электростанций. Упор сделан на крупные электростанции. Для ввода такой мощности потребуется 12 трлн рублей. Учитывая, что сроки строительства крупных электростанций составляют 4–5 лет и влияния мирового экономического кризиса, можно сказать, что эти планы не будут выполнены, и угроза энергетического кризиса к 2012 г. вполне реальна.

Уйти от энергетического кризиса можно путем строительства мини-ТЭЦ. Малые сроки их сооружения и минимальные капитальные затраты делают их привлекательными для инвесторов и крупных промышленных предприятий. Затраты на ввод в эксплуатацию мини-ТЭЦ мощностью 100 млн кВт будут в 3-4 раза меньше, чем на крупные электростанции.

В соответствии с теорией техноценозов, которая широко применяется в Японии, США и других странах, любая техническая система в условиях рынка эффективно функционирует, если производительность или мощность входящих в нее элементов (предприятий, электростанций и т.д.) изменяется по экспоненте. Применительно к электроэнергетике это означает, что должно быть разумное сочетание мощностей электростанций (крупные, средние, мелкие). В бывшем СССР этот принцип никогда не выполнялся: содержались лишь крупные электростанции, так как считалось, что они более экономичны. Доведение КПД мини-ТЭЦ до 80–90% полностью опровергают этот довод.

Возможными вариантами мини-ТЭЦ являются:

- на базе газотурбинных установок;
- на базе паротурбинных установок;
- на базе парогазовых установок;
- на базе газопоршневых двигателей;
- на базе дизельных двигателей;
- на базе возобновляемых ТЭР (опилки, биотопливо, этанол и т.д.).

Большую работу по разработке и применению газотурбинных и газопоршневых энергоагрегатов ведет ОАО «Газпром». В настоящее время на объектах работает более 1200 таких энергоустановок.

Как показывают исследования, в диапазоне мощностей от 3 до 6000 кВт газопоршневые энергетические установки обладают лучшими экономическими, надежностными и экологическими характеристиками [3].

Учитывая большую актуальность применения мини-ТЭЦ в России, Нижегородским государственным техническим университетом им. Р.Е. Алексеева при участии авторов данной статьи по контракту с Федеральным агентством по науке и инновациям была выполнена НИОКР на тему «Разработка проектно-конструкторской и технологической документации на типовые проекты газопоршневых мини-ТЭЦ мощностью 0,5; 1,0; 2,0; и 4,0 МВт на базе отечественных энергоагрегатов».

В выполнении данной НИОКР также принимали участие:

- Институт высоких температур РАН (г. Москва);
- ООО НПО «Термэк» (г. Москва);
- ОАО «РУМО» (г. Н. Новгород).

В процессе проведения НИОКР были проведены следующие исследования:

1. Разработаны технические требования и критерии для создания типового ряда отечественных мини-ТЭЦ мощностью 0,5; 1,0; 2,0 и 4,0 МВт.

Основными требованиями контракта являются:

- срок службы оборудования – не менее 200 000 ч;
- удельная стоимость оборудования не должна превышать 19 000 руб. за 1 кВт мощности;
- электрический КПД должен быть не менее 37%;
- коэффициент использования топлива должен быть не менее 86%;
- срок окупаемости строительства мини-ТЭЦ должен быть не более 3 лет;
- все оборудование должно быть российского производства.

Основными критериями являются: требования надежности, компактности, быстроты пуска и приема нагрузки, простоты эксплуатации и длительности работы без обслуживания, высокая степень автоматизации, малый срок окупаемости, экологичность.

2. Разработана конструкторская документация на тепловой ряд мини-ТЭЦ мощностью 0,5 и 1,0 МВт с газопоршневыми агрегатами электрической мощностью 0,2 и 0,3 МВт производства ОАО «ЯМЗ» (г. Ярославль).

3. Проведены стендовые испытания и отработаны оптимальные режимы работы мини-ТЭЦ мощностью 0,5 и 1,0 МВт с газопоршневыми агрегатами производства ОАО «ЯМЗ» в соответствии с разработанной программой и методикой. Испытания показали высокую эф-

фективность, надежность и экологическую безопасность продукции и соответствие предъявляемым требованиям технического задания. По результатам испытаний оформлены соответствующие протокол и акт, а также внесены корректировки в проектную документацию с целью повышения эффективности и надежности эксплуатации энергоустановки.

4. Разработана конструкторская документация на типовой ряд мини-ТЭЦ мощностью 2,0 и 4,0 МВт с газопоршневыми агрегатами единичной мощностью 1,0 МВт производства ОАО «РУМО» (г. Н. Новгород). По данной конструкторской документации планируется строительство опытных образцов энергоустановок с целью их дальнейшего тиражирования.

5. Проведены стендовые испытания газопоршневого агрегата мощностью 1 МВт производства ОАО «РУМО» с улучшенными техническими характеристиками. Испытания показали высокую эффективность, надежность и соответствие требованиям, предъявляемым техническим заданием.

6. Выполнено обобщение экспериментальных данных и доработка схемных решений для тепломеханических блоков мини-ТЭЦ. Используемые схемы позволяют безопасно эксплуатировать энергоустановку при различных режимах эксплуатации (номинальном или долевом режимах, при отсутствии потребности в тепловой энергии и т.д.), оповещать обслуживающий персонал о неполадках в работе и отключать агрегаты при возникновении критических ситуаций. По результатам исследований разработан альбом схемных решений.

7. Разработана проектная документация на тепломеханические блоки мини-ТЭЦ единичной мощностью 0,3 МВт и 1,0 МВт в контейнерном исполнении, включающая ведомости комплектующих изделий, гидравлические и электромеханические схемы, а также альбом чертежей, в котором приводятся чертежи общего вида, сборочные, узловые и детальные. На основании приведенной документации планируется изготовление серийных образцов.

8. Выполнена сертификация тепломеханического оборудования мини-ТЭЦ (газопоршневых агрегатов и теплогенераторов) в соответствии с действующим законодательством. Получено шесть сертификатов соответствия Госстандарта России.

9. Выполнена разработка технологического проекта для постановки мини-ТЭЦ на серийное производство и технологической документации по серийному изготовлению модульных теплогенераторов и газопоршневых агрегатов для мини-ТЭЦ. За основу были приняты опытно отработанные технологические процессы серийного изготовления мини-ТЭЦ ООО «Электро-ЛТ» (совместно с ОИВТ РАН, г. Москва), теплогенераторов ООО «Термэк» (г. Москва) и газопоршневых агрегатов завода «РУМО» (г. Н. Новгород), продукция которых в течение многолетней эксплуатации доказала высокую надежность и простоту изготовления и ремонта.

10. Разработан проект типовой региональной программы развития малой энергетики на базе мини-ТЭЦ с учетом энергетического баланса региона (на примере Нижегородской области), предусматривающий внедрение энергоустановок различных электрических и тепловых мощностей для замены (или при отсутствии) централизованных источников снабжения с целью повышения экономичности и надежности энергообеспечения.

11. Разработана проектная документация пилотных проектов мини-ТЭЦ нового поколения электрической мощностью 0,5; 1,0; 2,0 и 4,0 МВт на базе газопоршневых агрегатов ОАО «ЯМЗ» и «РУМО», теплогенераторов и интенсифицированных теплообменных аппаратов ООО «Термэк». Строительство данных энергоустановок позволит существенно повысить эффективность и надежность их эксплуатации.

12. Проведены маркетинговые исследования по использованию отечественных мини-ТЭЦ в различных регионах России, которые показали экономическую целесообразность строительства энергоустановок с газопоршневыми агрегатами при возможности использования топливного природного или попутного газа. Разработаны рекомендации по строительству и эксплуатации когенерационных установок, предусматривающие различные схемы подключения к тепловым и электрическим сетям с учетом сложившейся инфраструктуры потребления и существующих источников энергии.

Внедрение результатов данной НИОКР

Смонтирована мини-ТЭЦ в поселке Нижний Архыз в Карачаево-Черкессии мощностью 0,5 МВт на базе газопоршневых агрегатов фирмы ОАО «ЯМЗ».

Смонтированы и выполнена отладка режимов работы мини-ТЭЦ мощностью по 4,0 МВт в г. Павлово Нижегородской области и в г. Белгород на базе газопоршневых агрегатов фирмы ОАО «РУМО» (рис. 1 и рис. 2).



Рис. 1. Опытно-промышленная установка на Павловском автобусном заводе

(г. Павлово, Нижегородская область, Россия):
 мини-ТЭЦ 4 МВт; двигатель ДГ98М; $N_{эл} = 1000$ кВт;
 $N_T = 1300$ кВт; электрический КПД – 34%;
 коэффициент использования топлива – 80%



Рис. 2. Опытно-промышленная установка на Белгородском комбинате ЖБК

(г. Белгород, Россия):
 мини-ТЭЦ 4 МВт; двигатель 8ДГ22Г1;
 $N_{эл} = 1000$ кВт; $N_T = 1400$ кВт; электрический КПД –
 37 %; коэффициент использования топлива – 86 %

Библиографический список

1. Государственная программа энергосбережения в Российской Федерации на 2020–2020 гг. – М.: Минэнерго РФ, 2009. – 340 с.
2. Основные параметры прогноза социально-экономического развития РФ на период до 2020–2030 гг. – М.: Минэкономразвития РФ, 2008. – 210 с.
3. Технические и экономические критерии выбора мощности мини-ТЭЦ на промышленных предприятиях / Г. Я. Вагин [и др.] // Промышленная энергетика. 2006. №4. С. 38 – 43.

*Дата поступления
в редакцию 15.01.2010*

A. Loskutov, G. Vagin, E. Solntsev, A. Voevodin, E. Sosnina, A. Mamonov, A. Petrov

**CONCEPTION OF APPLICATION AND MAIN TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF
CREATION OF MINI HEAT-ELECTRIC GENERATION STATIONS AT THE BASIS OF
GAS RECIPROCATING ENGINES**

The article formulates conception of application of mini heat-electric generation stations in different economy sectors in Russia. The article demonstrates basic technical solutions at development of typical projects of gas reciprocating mini heat-electric generation stations with the capacity from 0.5 up to 4MW at the basis of home-produced power plants.

Key words: heat-electric generation stations, conception of application, development of a typical range, pilot projects