**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО
ЭЛЕКТРОТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА****PATTERNS OF FUNCTIONING OF THE MUNICIPAL
ELECTROHEATGENERATING COMPLEX**

**ДОЛОГЛОНЯН А.В.
МАТВЕЕНКО В.Т.
ОЛЕЙНИКОВ А.М.**

**DOLOGLONYAN A.V.
MATVEENKO V.T.
OLEYNIKOV A.M.**

*Институт природно-технических
систем*

Institute of nature and technical systems

dologlonyan@mail.ru

dologlonyan@mail.ru

doi: 10.18411/pivsn-28

idsp: pivsn-28

АННОТАЦИЯ

Для распределенной энергетики или локальных (технологически обособленных) объектов энергопотребления применение когенерационных технологий является одним из самых результативных путей повышения эффективности при создании муниципальных электротеплогенерирующих комплексов. Способность при комбинированном производстве энергии приспосабливаться к потребным объемам энергии позволяет применение гибких когенерационных технологий, которые реализуются за счет изменения рабочих процессов в газотурбинных установках позволяет сгладить неровности графика энергопотребления для энергодефицитных регионов. Включение в городское хозяйство достаточно мощных когенерационных установок позволит снизить финансовую нагрузку на объекты муниципальной инфраструктуры и таким образом замедлить темпы роста тарифов на энергоресурсы для населения.

Ключевые слова: региональная энергетика, энергоснабжение, энергодефицит, гибкие когенерационные технологии.

ABSTRACT

For the distributed power or the local (technologically isolated) objects of energy consumption use of cogeneration technologies is one of the most productive ways of increase in efficiency during creation of the municipal electroheatgenerating complexes. Ability at the combined energy production allows to adapt to required volumes of energy use of flexible cogeneration technologies which are implemented due to change of working processes in gas turbine units allows to smooth roughnesses of the schedule of energy consumption for power shortage regions. Inclusion in municipal economy enough powerful cogeneration units will allow to lower financial load of objects of municipal infrastructure and thus to slow down growth rates of tariffs for energy resources for the population.

Keywords: regional power, power supply, power shortage, flexible cogeneration technologies.

ВВЕДЕНИЕ

Общая характерная черта основных отраслей городских хозяйств (инженерных инфраструктур) – это большие удельные затраты энергии и ее стоимость в предоставляемых услугах коммунальными предприятиями. Это касается: отопления и

горячего водоснабжения; водоснабжения и водоотведения; электротранспорта; электроосвещения; социальных объектов и учреждений.

Повышение энергоэффективности генерации энергии для снабжения объектов городского хозяйства в настоящее время предлагается за счет ее распределенного (близкого к потребителю) и комбинированного производства (одновременная выработка тепловой и электрической энергии в когенерационных установках).

Распределенная генерация позволит обеспечить устойчивость работы муниципальной энергетики в особый период.

Однако не решена, в полной мере, задача управления потоками энергии при комбинированной ее генерации, связанной с суточной, сезонной изменчивостью и др. обстоятельствами.

Как правило, объекты коммунальных предприятий территориально распределены и питаются через общую электросеть. Технологически изолированная электросеть может быть на крупных электропотребляющих объектах городского хозяйства.

Поскольку объекты коммунальных предприятий территориально распределены, требуется определить интегральные характеристики энергопотребления и их закономерности.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовать закономерности функционирования муниципального электротеплогенерирующего комплекса в энергодефицитных регионах и возможности использования гибких когенерационных установок для улучшения графика энергоснабжения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Южный федеральный округ (ЮФО) в своем составе объединяет восемь субъектов Российской Федерации: Краснодарский край, Астраханскую, Волгоградскую и Ростовскую области, Республики Адыгея, Калмыкия, Крым и город Севастополь.

ЮФО располагает существенными запасами природного топлива и гидроэнергетическими ресурсами. Несмотря на это, он остается энергодефицитным. Дефицит электроэнергии восполняется за счет перетока из соседних регионов, которые входят в состав единой энергосистемы России.

Годовой дефицит электроэнергии по Южному федеральному округу за 2014 г. – 11380,1 млн. кВт час, за 2015 г. – 7299,9 млн. кВт час, за 2016 г. – 8540,6 млн. кВт час, за 2017 г. – 5442,9 млн. кВт час с учетом потерь в электросетях [1]. И хотя он год от года уменьшается структура энергопотребления остается неудовлетворительной.

Из таблицы 1 следует, что все субъекты ЮФО кроме Ростовской и Волгоградской областей являются энергодефицитными. Кроме того, эти области характеризуются хорошей структурой энергопотребления – высоким относительным производством и низким относительным потреблением электроэнергии населением, что позволяет иметь высокую плотность графика потребления электроэнергии и высокое качество электроснабжения (отсутствие сильных пиков, провалов и сбоев в электропотреблении) вследствие развитой промышленной инфраструктуры. Очевидно, что относительное потребление и относительное производство электроэнергии населением связаны между собой, что проиллюстрировано на рис. 1

Таблица 1

Элементы структуры электропотребления ЮФО за 2017 г.

Наименование региона РФ	Произведено электроэнергии, млн. кВт час	Потреблено всего электроэнергии, млн. кВт час	Потреблено городским и сельским населением электроэнергией, млн. кВт час	Относительное производство электроэнергии, % *	Относительное потребление электроэнергии населением, % **
Ростовская область	37114,9	18762,9	3900,3	197,8	20,8

Волгоградская область	18381,8	13269,6	1605,6	138,5	12,1
Астраханская область	4259,1	4316,8	943,9	98,7	21,9
Краснодарский край	11925,6	23233	6240,4	51,3	26,9
Республика Крым	1868,8	5861,1	2155,2	31,9	36,8
г. Севастополь	384,2	1358,1	656,7	28,3	48,4
Республика Адыгея	164,6	1434,6	399,3	11,5	27,8
Республика Калмыкия	49,3	504,4	169,2	9,77	33,5
* – отношение количества произведенной в субъекте ЮФО электроэнергии к потребленной. ** – отношение количества потребленной населением электроэнергии к общему количеству электроэнергии, потребленной в субъекте ЮФО.

Рис. 1 Зависимость относительного потребления от относительного производства электроэнергии населением

График нагрузки представляет собой графическое изображение изменения нагрузки потребителя во времени. Различают суточные, сезонные, годовые графики нагрузки. Суточные графики отражают изменение мощности нагрузки в течение суток. На рис. 2 показан вид суточных графиков нагрузки различных потребителей городского хозяйства.

P – активная нагрузка; Q – реактивная нагрузка

Рис. 2 Суточные графики активной и реактивной (пунктир) нагрузки: а) – односменного предприятия; б) – двухсменного предприятия; в) – трехсменного предприятия; г) – коммунально-бытовой нагрузки; д) – уличного освещения; е) – водопровода и насосных станций.

По форме графиков нагрузок различают пять групп промышленной нагрузки, коммунально-бытовое потребление, электрический транспорт, уличное освещение, сельскохозяйственные нужды. Промышленная нагрузка за счет одно- и двухсменных предприятий снижается в ночное и вечернее время.

Коммунально-бытовое потребление, значительно возрастает в утреннее и вечернее время, вечерний пик – более продолжителен. Транспортные перевозки имеют пики в утренние и вечерние часы. Уличное освещение имеет максимум в ночные часы. Сельскохозяйственные графики потребления достаточно равномерны с сезонным изменением его величины.

Суммарный график нагрузок получают путем почасового сложения нагрузок всех потребителей для типично зимних и типично летних месяцев. Типичные графики таких нагрузок представлены на рисунках 3 и 4.

Рис. 3 Суммарный график нагрузки в зимние сутки: а) – типичный; б) – г. Севастополя

Рис. 4 Суммарный график нагрузки в летние сутки: а) – типичный; б) – г. Севастополя

Зимний график имеет 2 пика (рис 3), летний – 3 (рис 4), что объясняется более длинным, световым днем (освещение включается после окончания работы на односменных предприятиях и снижения транспортных перевозок). Летние нагрузки меньше по абсолютной величине.

Разумеется, чем выше развита промышленная инфраструктура города, тем ниже относительное потребление электроэнергии населением, выше плотность графика потребления электроэнергии и меньше величина пиковых нагрузок. На рисунках 3б и 4б показаны суммарные графики потребления электроэнергии для г. Севастополя, которые показывают, что высокое относительное потребление электроэнергии населением (48,4 %) и низкое относительное производство (28,3 %) создают большие провалы и пики (более 40 %) потребления электроэнергии. Таким образом, к общему дефициту энергии добавляется пиковый.

Тепловой рынок тесно связан с электрическим, и любые нарушения в теплоснабжении компенсируются в первую очередь путем использования электронагревателей. Компенсация пикового теплотребления электронагревательными приборами сегодня экономически выгодна. Более высокая стоимость электроэнергии по отношению к тепловой с лихвой компенсируется меньшими затратами на оборудование и его эксплуатацию. В результате величина пикового потребления электрической мощности определяется в основном погодой. Сегодня при прочих сопоставимых условиях, похолодание на 1°C приводит к увеличению электропотребления в Европейской части России на 0,6%. Таким образом, до трети электрической мощности используется на термические цели [2].

Снижение энергодефицита и пика – выравнивание графиков нагрузок в разрезе суток, недели, времени года является важным шагом к экономии капиталовложений, снижению темпов роста тарифов на энергоресурсы, повышению эффективности использования первичного топлива и улучшения экологической обстановки. В условиях напряжённого энергоснабжения городского хозяйства ликвидацию обычного и пикового энергодефицита целесообразнее всего осуществить двумя путями:

1. Установкой в непосредственной близости к дефицитным районам автономных источников теплоты и электроэнергии, работающих по принципу когенерации. При включении их в энергетический баланс они позволят в несколько раз дешевле и быстрее, по сравнению со строительством крупных электростанций и линий электропередач, решить проблему в наиболее напряжённых узлах. При этом, приближая производство энергии к потребителю, необходимо использовать наиболее экологичные энергетические ресурсы.

2. Снижением пикового потребления в периоды максимума нагрузок в том числе за счет проведения мероприятий по энергосбережению и применения гибких когенерационных технологий, то есть управление потоками энергии, можно осуществлять за счет изменения рабочего процесса в первичном двигателе [3, 4]. Наибольшую финансовую эффективность среди проектов по энергосбережению имеют наукоемкие технологии комбинированного производства электроэнергии и теплоты в уже существующих отопительных котельных [5].

Ключевым фактором обеспечения устойчивого социально-экономического развития большинства регионов является цена электроэнергии. Следовательно, повышение эффективности использования существующих мощностей и снижения сетевых издержек на основе гармонизации интересов всех участников единой технологической цепочки «производство – потребление энергетических ресурсов» является приоритетной задачей, это означает что энергоисточники необходимо создавались в точках, максимально приближенных к потреблению [6].

Энергоснабжение регионов, где сформировался дефицит энергоснабжения, в значительной степени может быть обеспечено на основе распределенной генерации. В настоящее время наиболее распространенными среди когенерационных являются газотурбинные, газопоршневые и микротурбинные установки. Общий коэффициент использования топлива в подобных агрегатах может достигать 85-90%, т.е. даже выше, чем у больших ТЭЦ [7]. Такие энергоисточники сочетают преимущества теплофикации и индивидуального энергоснабжения, поскольку из-за малой протяженности тепловых и электрических сетей потери в них сводятся к минимуму, в то же время сохраняется экономия, возникающая при осуществлении когенерации. Мини-ТЭЦ могут быть перспективными для объектов городского хозяйства, требующих повышенной надежности энергообеспечения, в том числе резервные источники, а также для рассредоточенных потребителей и в случае нехватки пропускной способности существующих сетей, затрудняющей новое подключение.

Рис. 5 Структура электротеплогенерирующего комплекса городского хозяйства с использованием когенерационных установок и электросети в качестве передаточного звена

Однако не всегда есть возможность создавать автономные энергоисточники для распределенных объектов городского хозяйства, кроме того удельная стоимость таких источников теплоты и электроэнергии резко возрастает по мере снижения мощности (не ниже 750 долл. США за 1 кВт установленной мощности, а для микротурбинных – около 2000 долл. США [7]). В этом случае можно создавать достаточно мощные гибкие когенерационные установки (до 25 МВт эл. мощности, производимые в РФ) в районах дефицита тепловой энергии и передавать выработанную электроэнергию на объекты городского хозяйства через электрическую сеть, используя последнюю в качестве передаточного звена (см. рис. 5). Например, суммарное потребление электроэнергии за 2017 г. городского хозяйства г. Севастополя (см. таблицу 2) составило 157,4 млн. кВт·час. В случае установки городом когенерационной газотурбинной блочно-модульной электростанция ГТЭС-25ПА ОДК «Пермские моторы» мощностью 25 МВт она выработает за год 219 млн. кВт·час, что полностью обеспечит городское хозяйство электроэнергией и создаст задел на перспективу, а также 326 Гкал теплоты, которую можно продать населению или передать социальным объектам.

Таблица 2

Структура потребления электроэнергии городским хозяйством г. Севастополя

Отрасль городского хозяйства	Потребление электроэнергии, млн. кВт·час	
	2016 год	2017 год
Теплогенерация	29,2	31,3
Водоснабжение и водоотведение	55,6	58,7
Горсвет	7,9	8,5
Электротранспорт	29,9	30,6
Социальные объекты	28,0	28,3
Всего:	150,6	157,4

Применение мощных гибких когенерационных установок в составе городского хозяйства позволит решить две задачи:

1. Обеспечить дефицитный район тепловой энергией, чем снизить объем электропотребления, за счет отказа от использования электронагревателей и сгладить неровности графика электропотребления, а излишки электроэнергии продавать по оптовым ценам.

2. Снизить финансовую нагрузку на объекты городского хозяйства и таким образом замедлить темпы роста тарифов на энергоресурсы для населения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

1. Наличие собственных генерирующих мощностей электрической и тепловой энергии в городском хозяйстве обеспечивает экономическую и экологическую эффективность функционирования коммунальных предприятий.

2. Муниципальная энергетика должна строиться в основном на комбинированном и интегрированном принципах производства энергии.

3. Гибкие когенерационные технологии обеспечивают энергоэффективность энергетики городского хозяйства при сезонном режиме потребления видов энергии.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города
Севастополь в рамках научного проекта № 18-48-920005*

1. Электробаланс Российской Федерации. Интернет ресурс: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/industrial/# (время доступа: 19.11.2018)
2. Стратегия повышения энергоэффективности в муниципальных образованиях. Интернет ресурс: <http://www.energosovet.ru/stenergo.php> (время доступа: 19.11.2018)
3. Матвеев В.Т. Гибкие когенерационные технологии в газотурбинной установке сложного цикла с турбиной перерасширения/ В.Т. Матвеев, В.А. Очеретяный// Промышленная теплотехника. - Киев. - 2007. - Т.29. - №7. - С.97-101.
4. Матвеев В.Т. Управление теплотехническими характеристиками ГТД со свободным турбокомпрессорным утилизатором/ В.Т. Матвеев// Авиационно-космическая техника и технология, Сборник научн. трудов – Харьков: НАУ «ХАИ», 2009. – Вып. 7/64. — С. 35–38.
5. Федоров В.А., Мильман О.О. Приоритетные направления развития энергосберегающих технологий в жилищно-коммунальном хозяйстве России. - М.: МГТУ им. Баумана. 2004. 32 с.
6. Некрасов С. А., Зейгарник Ю. А., Шевченко И. С. Гармонизация интересов производителей и потребителей энергии как одно из условий эффективного развития энергетики // Энергетика Татарстана. 2012. № 3. С. 74–77.
7. Брюханов О.Н., Жила В.А., Плужников А.И. Газоснабжение. - М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 448 с.