

**ЭКОЛОГИЧЕСКИ
ЧИСТЫЕ
ПРОИЗВОДСТВА**



**ENVIRONMENTALLY
CONSCIOUS
FACTORIES**

Статья поступила в редакцию 30.04.15. Ред. рег. № 2251

The article has entered in publishing office 30.04.15. Ed. reg. No. 2251

УДК 621.311:620.92 (575.2) (04)

ГИБРИДНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ С КОГЕНЕРАЦИЕЙ В ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Е.В. Коваленко, М.Г. Тягунов

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
РФ 111250, Москва, Красноказарменная ул., д. 14
тел.: (495) 362-75-60, (495) 362-89-38; e-mail: universe@mpei.ac.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.10-11.015

Заключение совета рецензентов: 06.05.15 Заключение совета экспертов: 20.05.15 Принято к публикации: 03.06.15

В статье рассматриваются вопросы использования гибридных энергетических комплексов (ГЭК) в изолированных энергетических системах, в том числе на примере Тюменской области. Определяется структура энергокомплекса и его оптимизация. Отмечено, что изменение состава ГЭК путем ввода аккумуляторов электрической энергии и тепла, позволяет повысить надежность тепло- и электроснабжения потребителей, а также сократить установленную мощность гарантирующего источника энергоснабжения. Планируется рассмотреть возможность использования в качестве гарантированного источника энергоснабжения генерирующие установки, работающие от местных видов топлива, такие как котельные на твердом топливе (пеллеты, щепа).

Ключевые слова: гибридные энергетические комплексы, когенерация, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, использование накопителей.

HYBRID COGENERATION POWER COMPLEXES IN INSULATED ENERGETIC SYSTEMS

E.V. Kovalenko, M.G. Tyagunov

¹National Research University «Moscow Power Engineering Institute»
14 Krasnokazarmennaya St., Moscow, 111250 Russian Federation
ph.: (495) 362-75-60, (495) 362-89-38; e-mail: universe@mpei.ac.ru

Referred 6 May 2015 Received in revised form 20 May 2015 Accepted 3 June 2015

The article considers the using of hybrid power complexes in insulated energetic systems of the Tyumen region. Moreover the article determines the power complex structure and its optimization. It is noted that the change in the composition of HES by entering into its structure electric power battery and heat battery can increase the reliability of heat and electricity consumers, and also to reduce the installed capacity of guaranteeing power supply. It is planned to consider the possibility of use a guaranteed source of power generating plants operating on local fuels, such as solid fuel boilers (pellets, wood chips).

Keywords: hybrid power systems, cogeneration, alternative and renewable sources of energy, using of energy battery.



International Publishing House for scientific periodicals "Space"



Международный издательский дом научной периодики "Спейс"



Коваленко Елена Владимировна
Elena V. Kovalenko

Сведения об авторе: магистр, консультант, Министерство энергетики Московской области.

Образование: ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

Область научных интересов: нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.

Публикации: 4.

Information about the author: MSc, Consultant, Department of Energy Moscow region.

Education: MPEI.

Research area: alternative and renewable sources of energy.

Publications: 4.



Михаил Георгиевич Тягунов
Mihail G. Tyagunov

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии», ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

Образование: «Московский Энергетический Институт» (1970).

Область научных интересов: системный анализ процессов и систем управления энергетическими объектами.

Публикации: более 98, 3 авторских свидетельства.

Information about the author: DSc (engineering), professor of the "Hydropower and Renewable Energy" department, National Research University MPEI.

Education: Moscow Power Engineering Institute (1970).

Research area: system analysis of processes and management systems of energy facilities.

Publications: more than 98, 3 author's certificates.

Введение

Современные энергетические системы – это две частично связанные системы электроснабжения и теплоснабжения потребителей различных видов энергии.

Каждая из систем обычно рассматривается в отдельности, кроме объектов когенерации. Давно известны достоинства тепловых электростанций – когенерационных объектов, предназначенных для работы по графику теплоснабжения и производства электроэнергии в зависимом от теплоснабжения режиме. Известна и аналогичная работа гидроэлектрических станций, играющих роль регуляторов стока реки, объектов водоснабжения сельского хозяйства, населения и промышленности, включая речной транспорт.

Опыт показал эффективность теплоэлектростанций, у которых коэффициент использования первичной энергии (энергетического ресурса) существенно выше, чем у аналогичных конденсационных электростанций, ориентированных только на выработку электрической энергии [1, 2].

Учитывая вышеизложенное, важным вопросом является развитие и эксплуатация систем электро- и теплоснабжения. Электрические и тепловые сети имеют разных собственников, их эксплуатацией занимаются различные компании, каждая из которых планирует свою деятельность независимо друг от друга.

Постановка вопроса

Достоинством когенерационных установок считается то, что они относятся к объектам малой энергетики и располагаются в непосредственной близости к потребителям, т.е. имеют сравнительно короткие линии электропередачи и теплотрассы. Однако под когенерационными объектами обычно понимают только тепловые электрические станции [3]: мини-ТЭЦ и котельные, реконструируемые в ТЭЦ. Значительно реже рассматриваются варианты когенерационных установок, которые в качестве основного продукта производят электрическую энергию, а тепло генерируют путем вторичного преобразования электроэнергии (электрические бойлеры и др.). Но именно такой способ когенерации особенно актуален для повышения эффективности использования установок на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), для которых тепловые аккумуляторы систем теплоснабжения являются важным технологическим элементом повышения коэффициента использования установленной мощности (КИУМ). Такие установки называют гибридными энергетическими комплексами.

Гибридный энергетический комплекс (ГЭК) – техническая система, объединяющая в рамках единого технологического процесса генераторы электрической, тепловой и др. видов энергии различных типов, аккумуляторы энергии, средства коммутации и передачи энергии, а также активных потребителей [4].



Цели и контрольные цифры развития возобновляемой энергетики и систем теплоснабжения России определены Энергетической стратегией до 2030 года. В частности, в ней по направлению «Возобновляемые источники энергии и местные виды топлива» указываются следующие стратегические ориентиры:

- развитие технологий использования ВИЭ, а также многофункциональных энергетических комплексов для автономного энергообеспечения потребителей в районах, не подключенных к сетям централизованного энергоснабжения;

- освоение эффективных технологий сетевого электро- и теплоснабжения на базе ВИЭ;

- отработка технологий комбинированного использования ВИЭ, а также технологий компенсации неравномерности выдачи мощности генерирующими объектами на основе энергии ветра и приливов.

При этом должны быть обеспечены:

- снижение темпов роста антропогенной нагрузки на окружающую среду и противодействие изменению климатическим изменениям при необходимости удовлетворения растущего потребления энергии;

- снижение темпов роста затрат на распределение и транспортировку электрической энергии и топлива и возникающих при этом потерь;

- вовлечение в топливно-энергетический баланс дополнительных топливно-энергетических ресурсов;

- повышение уровня энергетической безопасности и надежности энергоснабжения за счет увеличения уровня его децентрализации.

Для этого планируется довести к 2030 г. выработку электроэнергии с помощью установок на основе ВИЭ до 80–100 млрд кВт·ч.

Стратегическими целями развития теплоснабжения являются:

- кардинальное повышение технического уровня систем теплоснабжения на основе инновационных, высокоэффективных технологий и оборудования;

- сокращение непроектируемых потерь тепла и расходов топлива;

- обеспечение управляемости, надежности, безопасности и экономичности теплоснабжения;

- снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Таким образом, можно говорить о совместном решении задач развития электро- и теплоснабжения с использованием ВИЭ, особенно в регионах, не подключенных к системам централизованного энергоснабжения.

Для того чтобы решить поставленные Энергетической стратегией задачи, децентрализованной энергетике России требуются четкие и общие для всей страны термины, регламенты, стандарты, технические условия и законодательные акты, которые при этом не будут идти вразрез с мировой практикой. Необходимо создать типовые, доступные энергокомплексы с оптимальной структурой и параметрами для различных типов потребителей.

Здания для коммунально-бытовых и технологических нужд снабжаются теплом в основном централизованно. Опыт эксплуатации тепловых сетей централизованного теплоснабжения показывает, что тепло иногда не доходит даже до половины потребителей, а эксплуатация и ремонт тепловых сетей с каждым годом обходится всё дороже [5].

В ходе испытаний выявлено 3 повреждения в магистральных и около 30-ти в разводящих сетях. Следует отметить, что некоторые участки в это время отключались, так как заранее было известно, что они не выдержат испытательных нагрузок. Износ тепловых сетей по отдельным муниципальным образованиям и поселениям составляет от 30 до 87 % [6], значит, тепловые сети и центральные муниципальные котельные нуждаются в реконструкции и замене или переводе на децентрализованную схему энергоснабжения с использованием как альтернативных, так и традиционных видов топлива. Например, в Тюменской области, которая располагает значительными запасами неиспользуемых древесных ресурсов (санитарная рубка леса, значительный запас отходов – щепы и опила), уже рассмотрели программу замены устаревших котельных (угольных и мазутных) на работающие на отходах деревообработки [7].

Это подтверждается, в частности, испытаниями тепловых сетей Тюмени, которые проводились в мае 2013 г. [8]

Одним из способов повышения надёжности теплоснабжения может стать создание запаса тепла в тепловых аккумуляторах. Последние потребляют энергию от внешнего источника в период, когда имеется её избыток, и отдают потребителю по мере возникновения спроса. Возобновление запаса тепловых аккумуляторов производится в часы избытка произведённой энергии ГЭК.

Кроме того, при недостаточной ёмкости аккумуляторов для обеспечения надёжного энергоснабжения потребителей существует возможность использования в ГЭК на основе ВИЭ дизельных электростанций (ДГУ), а также станций на местных ископаемых источниках энергии.

Важно и то, что тепловые аккумуляторы – не менее эффективный потребитель-регулятор нагрузки, который можно размещать как вблизи генерирующих источников, так и рядом с потребителями, создавая этим децентрализованную систему. При этом индивидуальное регулирование параметров отопления позволяет экономить энергоресурсы, в том числе за счёт регулирования температуры внутри помещений.

Аргументами в пользу децентрализованной системы теплоснабжения, в том числе на основе электрических нагревательных установок, являются возможности использования когенерации, отказа от дорогостоящей прокладки и эксплуатации теплотрасс ввиду расположения генераторов тепла вблизи потребителей и др.



Эффективность теплоснабжения ГЭК с накопителями тепловой энергии оценивалась для объектов на территории Тюменской области. При этом учитывалась дифференциация потребителей энергии по типам: потребители энергии (ПЭ), потребители гарантированного энергоснабжения (ПГЭ), а также потребители-регуляторы [4]. Они могут потреблять тепловую и электрическую энергию ВИЭ в момент её прихода и накапливать в аккумуляторах. Вариантов технических решений аккумуляторов, используемых в ГЭК, множество: от электрохимических аккумуляторных батарей, до систем тепло- и хладоснабжения, оборудованных баками-аккумуляторами тепла (холода), и систем водоснабжения с гидравлическими аккумуляторами.

Эффективность использования ГЭК возрастает по мере того, как его потребляющая часть становится

менее требовательной к бесперебойности электро-снабжения, т.е. при снижении требований потребителя к бесперебойности электроснабжения появляется возможность более широкого использования ВИЭ, что приводит не только к снижению топливных затрат, но и установленной мощности ДГУ. При этом увеличивается доля свободной мощности, вырабатываемой установками на основе ВИЭ, которая может быть использована для работы потребителя-регулятора, а оптимизация структуры потребителей ГЭК позволяет снизить затраты на дизельное топливо.

Определение параметров ГЭК

Определение параметров ГЭК происходит по следующей схеме (рис. 1):

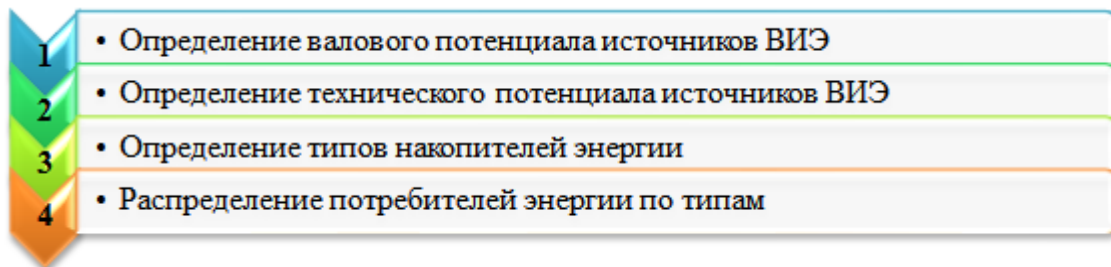


Рис. 1. Схема моделирования состава ГЭК
Fig. 1. Simulation circuit of the hybrid energy systems

В качестве расчетной точки выбран город Тюмень, квартал типовой застройки из 20-ти жилых домов, 2-х детских садов и 2-х школ. Общая площадь квартала составляет 400 000 м², площадь застройки 28 500 м², площадь улиц 1 00 000 м², зона, свободная от застройки, 271 500 м².

При расчете учитывалось, что все жилые дома – типовые 12-ти этажные 2-х подъездные здания (20 шт.); отапливаемый объем одного дома $V_{от} = 17\ 000\ м^3$. Жилые дома соответствуют нормальному классу энергоэффективности с удельной тепловой характеристикой $q_{от} = 0,290\ м^3/°C \cdot сут$. Расчетная температура в жилых домах принята равной 20 °C; градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) составляют 6 100 °C·сут [8]. Таким образом, количество тепловой энергии, требуемое для отопления двадцати жилых домов за отопительный период, составляет:

$$Q_{от} = n \cdot 0,024 \cdot ГСОП \cdot V_{от} \cdot q_{от} = 20 \cdot 0,024 \cdot 6\ 100 \times 17\ 000 \cdot 0,290 = 14\ 435\ 040\ (кВт \cdot ч)$$

где n – количество жилых домов; 0,024 – коэффициент приведения результата к заданной размерности (кВт·ч).

В состав квартала типовой застройки, как уже было сказано, входят 2 детских сада и 2 школы. Количество тепловой энергии, требуемое для отопления объектов социальной сферы, за год составляет:

$$Q_{от} = 0,024 \cdot ГСОП \cdot \sum_i (n_i \cdot V_{от-i} \cdot q_{от-i}) = 0,024 \cdot 6\ 100 \times (2 \cdot 5\ 000 \cdot 0,520 + 2 \cdot 7\ 000 \cdot 0,440) = 1\ 663\ 104\ (кВт \cdot ч),$$

где i – тип объекта социальной сферы; n_i – количество объектов одного типа; $V_{от-i}$ – отапливаемый объем одного дома (м³); $q_{от-i}$ – удельная тепловая характеристика (м³/°C·сут).

Общая нагрузка системы теплоснабжения

$$Q_{от}^{сумм} = Q_{от.1} + Q_{от.2} = 16\ 098\ 144\ (кВт \cdot ч)$$

Энергопотребление системы уличного освещения $\mathcal{E}_{ул}$, бытового электропотребления многоквартирных жилых домов (МКД), потребления в муниципальных учреждениях $\mathcal{E}_{муниц}$, а также потребление $\mathcal{E}_{коммун}$ коммунальных систем (расход электроэнергии на работу систем тепло- и водоснабжения) составляет:

$$\mathcal{E}^{\text{сумм}} = \mathcal{E}_{\text{ул}} + \mathcal{E}_{\text{МКД}} + \mathcal{E}_{\text{муниц}} + \mathcal{E}_{\text{коммун}} = \mathcal{E}_{\text{ул}} \cdot F_{\text{ул}} + \mathcal{E}_{\text{ул.МКД}} \cdot F_{\text{МКД}} + \mathcal{E}_{\text{ул.муниц}} \cdot F_{\text{муниц}} + \mathcal{E}_{\text{ул.коммун}} \cdot F_{\text{сумм}} = 1,7 \cdot 100\,000 + 50 \cdot 1\,300 \cdot 20 + 35 \cdot 2\,500 + 1,8 \cdot 28\,500 = 1\,608\,800 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)},$$

где $\mathcal{E}_{\text{ул.ул}} = 1,7 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ – удельный расход электроэнергии в системе уличного освещения [9]; $\mathcal{E}_{\text{ул.МКД}} = 50 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ – удельный расход электроэнергии в МКД [10]; $\mathcal{E}_{\text{ул.муниц}} = 35 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ – удельный расход электроэнергии в муниципальных учреждениях [9]; $\mathcal{E}_{\text{ул.коммун}} = 1,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ – удельный расход электроэнергии в коммунальных системах [9]; $F_{\text{ул}}, F_{\text{МКД}}, F_{\text{муниц}}, F_{\text{сумм}}$ – площадь соответствующих помещений и территорий.

Для проведения расчетов было принято, что система отопления относится к потребителям энергии с допустимым перерывом питания до 24 часов, поэтому в ней необходимо предусмотреть накопитель тепловой энергии, который должен обеспечивать надежность работы системы теплоснабжения рассматриваемого жилого квартала в течение суток.

Почасовое потребление электрической энергии для 4-х сезонов года, а также годовой график среднемесячного потребления тепловой энергии представлены на рисунках 2–5.

Зима

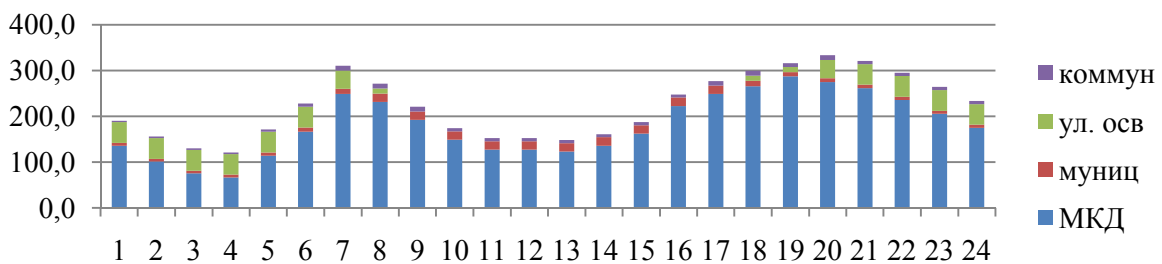


Рис. 2. График среднечасового потребления системы электроснабжения для зимнего периода, кВт·ч
Fig. 2. Diagram of the average hourly consumption of electricity for the winter period, kWh

Лето

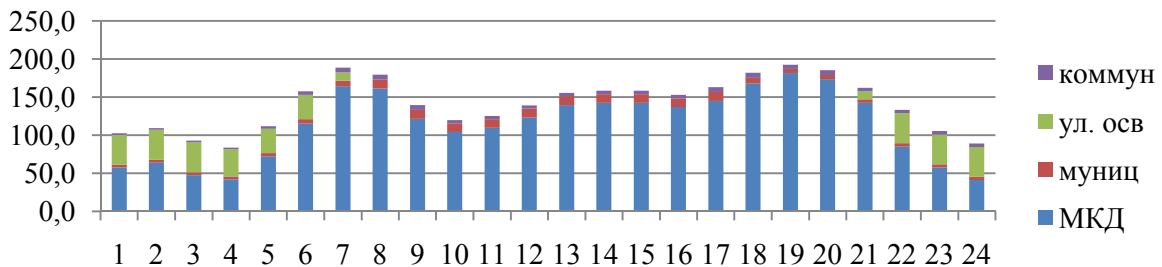


Рис. 3. График среднечасового потребления системы электроснабжения для летнего периода, кВт·ч
Fig. 3. Diagram of the average hourly consumption of electricity for the summer period, kWh

Весна/осень

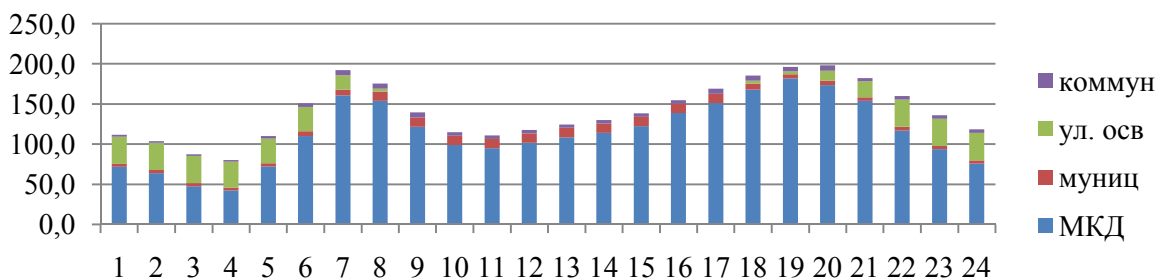


Рис. 4. График среднечасового потребления системы электроснабжения для переходного весеннего/осеннего периода, кВт·ч
Fig. 4. Diagram of the average hourly consumption of the power supply system for a transitional spring / autumn period, kWh



Жилой комплекс

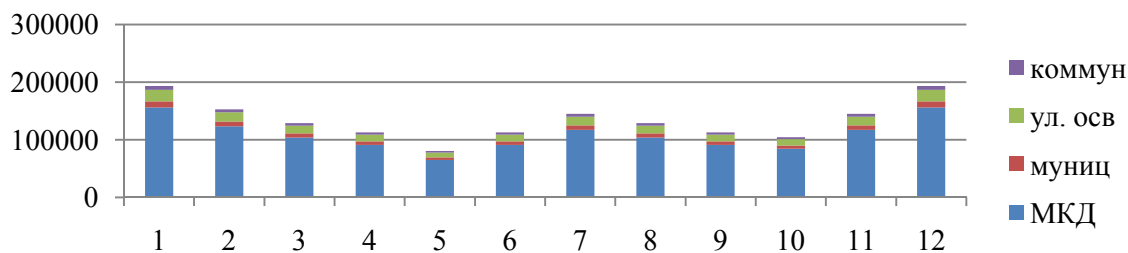


Рис. 5. График среднемесячного потребления системы электроснабжения, кВт·ч
 Fig. 5. Diagram of the average monthly consumption of electricity, kWh

Максимальное часовое потребление системы электроснабжения составляет 333,3 кВт·ч (рис. 3, значение для 20:00), соответственно, если электроснабжение осуществляется от ДГУ, то максимальная рабочая мощность (без резервирования) 350 кВт. Поскольку минимальное часовое потребление системы электроснабжения 80,1 кВт·ч (рис. 5, зна-

чение для 04:00), дизельная установка будет состоять из 5-ти ДГУ мощностью по 70 кВт для обеспечения максимального диапазона регулирования нагрузки 30–100 %.

Суточные и годовые графики потребления систем теплоснабжения и горячего водоснабжения представлены на рис. 6–9.

Зима

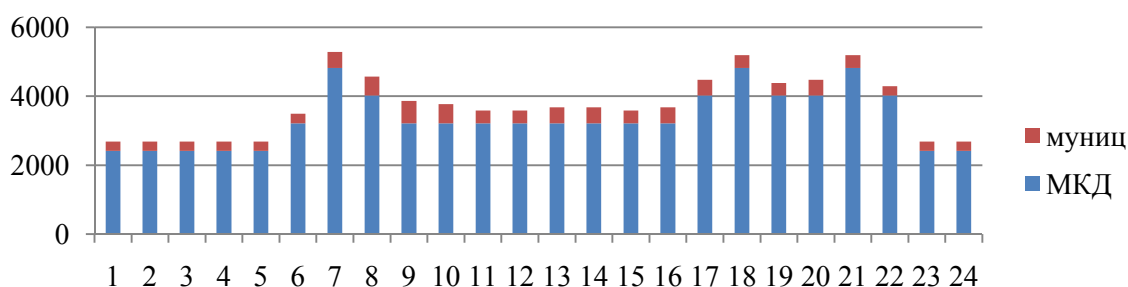


Рис. 6. График среднечасового потребления системы теплоснабжения и горячего водоснабжения для зимнего периода, кВт·ч
 Fig. 6. Diagram of the average hourly consumption of heat and hot water for the winter period, kWh

Лето

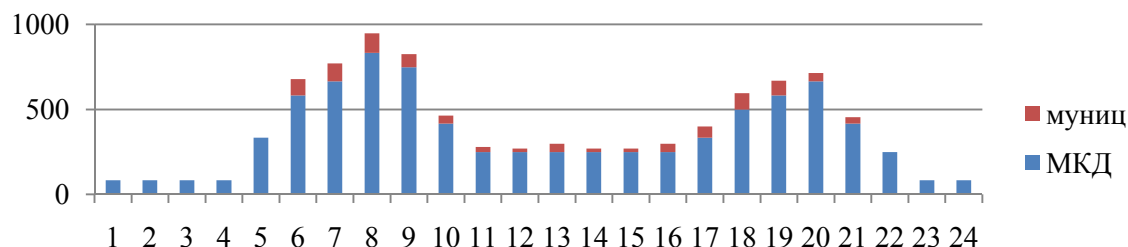


Рис. 7. График среднечасового потребления системы теплоснабжения и горячего водоснабжения для летнего периода, кВт·ч
 Fig. 7. Diagram of the average hourly consumption of heat and hot water for the summer period, kWh



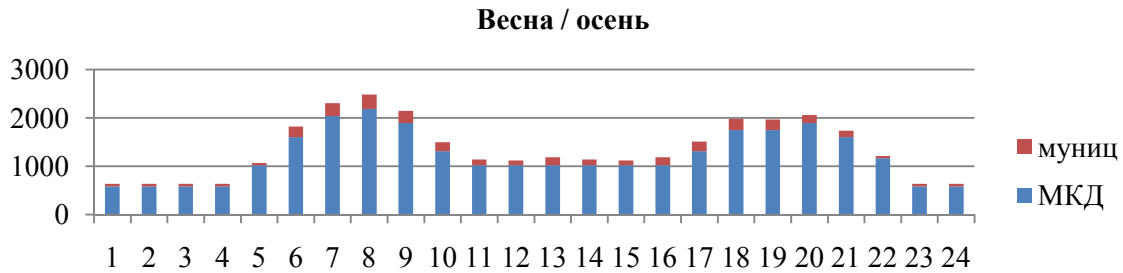


Рис. 8. График среднечасового потребления системы теплоснабжения и горячего водоснабжения для переходного весеннего/осеннего периода, кВт·ч

Fig. 8. Diagram of the average hourly consumption of heat and hot water for the transition of the spring / autumn period, kWh

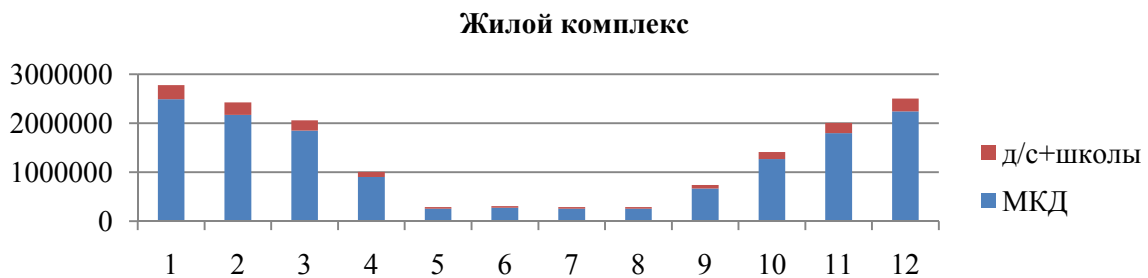


Рис. 9. График среднемесячной мощности потребления систем теплоснабжения и горячего водоснабжения, кВт·ч

Fig. 9. Diagram of the average power consumption of heating systems and hot water, kWh

Жилой комплекс, тепловая нагрузка

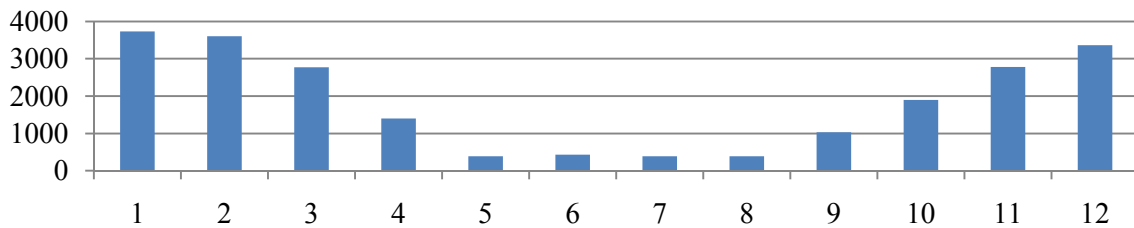


Рис. 10. График максимального суммарного часового потребления системы теплоснабжения, кВт·ч

Fig. 10. Diagram of the maximum total hourly consumption of heating, kWh

Из графика, представленного на рис. 10, видно, что максимальный часовой расход энергии на отопление составляет 3,8 МВт·ч, а минимальный часовой расход системы теплоснабжения 0,390 МВт·ч. Для обеспечения надежной работы систем теплоснабжения жилого комплекса по критерию минимизации расхода топлива (работа ДГУ при максимальном КПД) выбран вариант с установкой 3-х котлов на дизельном топливе, мощностью 1 000 кВт, а также двух котлов, мощностью 400 кВт (для работы на систему горячего водоснабжения). Таким образом, мощность ДГУ для теплоснабжения и горячего водоснабжения составит 3,8 МВт, а общая мощность ДГУ, обеспечивающая гарантированное электро- и теплоснабжение, 4,15 МВт.

Для того чтобы оценить эффективность использования энергокомплекса с ВИЭ и аккумуляторами в целях энергообеспечения рассматриваемого объекта, необходимо определить структуру и оптимальный состав данного энергокомплекса по следующей схеме:

1. Определить в расчетной точке технический потенциал энергоресурсов для всех возможных вариантов оборудования.

2. Определить состав потребителей изолированной энергосистемы.

3. Произвести расчеты режима работы ГЭК для разных составов генерирующего оборудования.

4. Провести анализ различных вариантов конфигурации ГЭК, сопоставить их по выбранным критериям эффективности (надежность энергоснабжения, экономичность – снижение потребления топлива, снижение установленной гарантирующей мощности ДГУ).

5. Произвести оценку оптимального состава генерирующего оборудования.

Кроме того, разработать предложения по развитию потребителей и генерирующего оборудования в изолированной энергосистеме.

В состав ГЭК энергоснабжения жилого комплекса, рассмотренного выше, входят: гарантированный источник энергоснабжения – дизель-генераторная установка (ДГУ), а также ветроустановки, солнечные фото-

электрические установки и малые ГЭС, аккумуляторы тепла и электроэнергии, потребители различных типов.

Были проанализированы имеющиеся ресурсы ВИЭ в месте расположения потребителя, затем произведена оптимизация состава установок и их параметров по критерию максимального использования установленной мощности ВИЭ, и, соответственно, доли замещения установленной мощности резервирующей ДГУ при условии выполнения баланса среднесуточной мощности с учетом того, что в составе

ГЭК рассмотрен вариант использования накопителей тепловой и электрической энергии.

Тюменская область отличается большим потенциалом ВИЭ. Так, здесь в течение года практически постоянная среднемесячная скорость ветра с мало изменяющейся повторяемостью. Ниже представлены диаграммы среднемесячной скорости ветра, а также график повторяемости скорости ветра для г. Тюмень (зависимость частоты появления скорости v (м/с) в течение года $t_i(v)$ в часах или относительных единицах) (рис. 11–13).

Скорость ветра, м/с

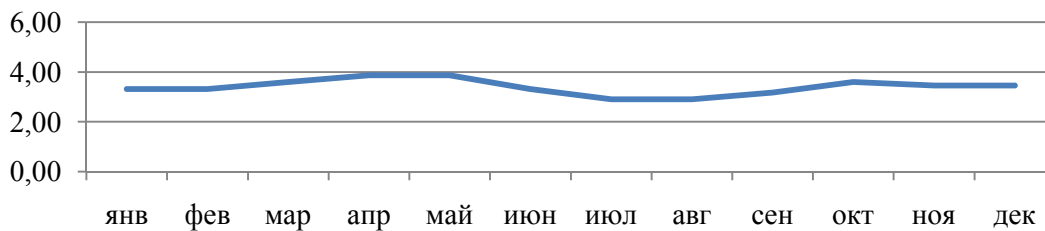


Рис. 11. График среднесуточной месячной скорости ветра
Fig. 11. Diagram of the long-term average annual wind speed



Рис. 12. Повторяемость среднесуточных скоростей ветра за год
Fig. 12. The recurrence of daily average wind speeds for the year

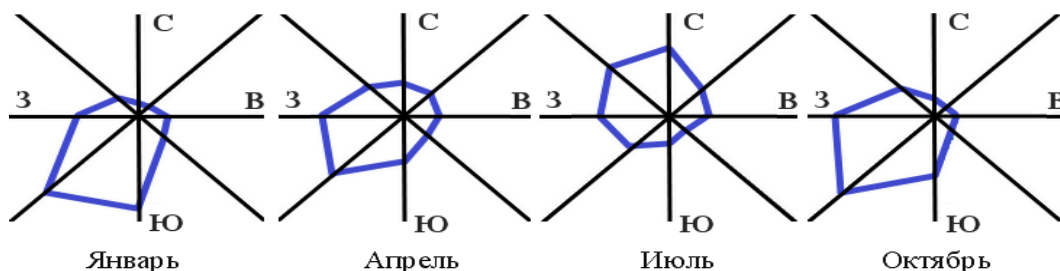


Рис. 13. Роза ветров в г. Тюмень для 4-х сезонов года
Fig. 13. Wind rose in Tyumen for 4 seasons

Изменение розы ветров, а также уменьшение среднемесячной скорости ветра в летние месяцы, компенсируется увеличением прихода солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния с апреля по август.

Графики прихода солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния в течение года представлены ниже (рис. 14–15).

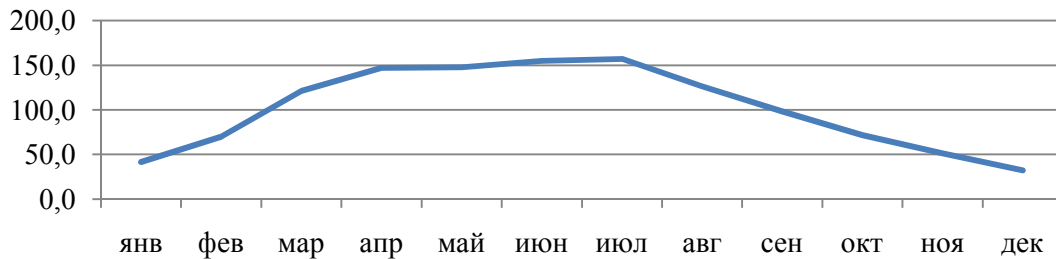
Приход солнечной радиации, кВт·ч/м²

Рис. 14. График прихода солнечной радиации
Fig. 14. Diagram of solar radiation

Число часов солнечного сияния в месяц

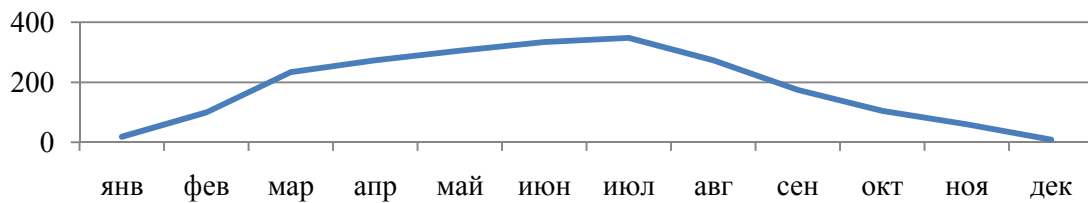


Рис. 15. График продолжительности солнечного сияния в течение года
Fig. 15. Diagram of the sunshine duration per year

Кроме того, гидропотенциал Уральского федерального округа один из самых высоких в России [11]: валовой потенциал составляет 42,6 млрд. кВт·ч, технический – 13,6 млрд. кВт·ч в год. Река Тура, протекающая по территории Тюменской области, является основным источником воды для системы водоснабжения города; её гидропотенциал составляет 81 млн. кВт·ч в год, технический – 14,3 млн. кВт·ч.

В практике обоснования эффективности установок на основе ВИЭ в составе комплексов с ДГУ обычно

рассматривается экономия топлива ДГУ, т.е. уменьшение выработки ДГУ. В качестве показателя эффективности внедрения системы децентрализованного отопления с тепловыми аккумуляторами в данной работе выбран показатель снижения установленной мощности гарантирующей ДГУ, а также показатель экономии топлива. Баланс среднемесячной мощности жилого комплекса представлен на рисунке 16.

Баланс среднемесячной мощности жилого комплекса

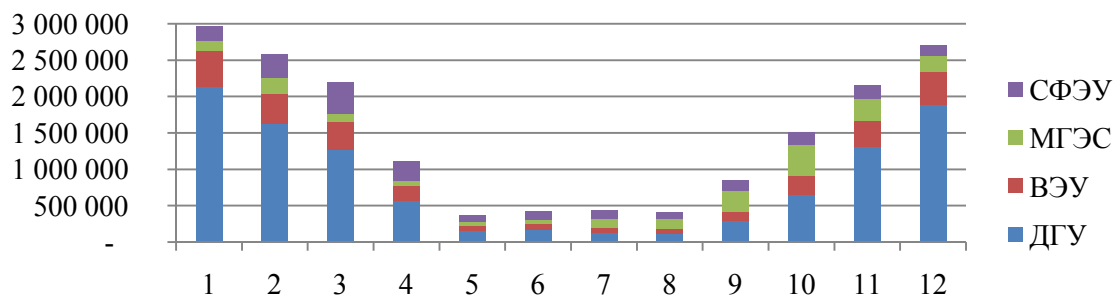


Рис. 16. Баланс среднемесячной мощности, кВт
Fig. 16. The average power balance, kW

Для оценки стоимости сооружения ГЭК авторами данной статьи использовались средние цены за кВт установленной мощности агрегатов ВИЭ, которые представлены в мировом отчете по Возобновляемым источникам энергии [12]:

• Малые гидроэлектростанции (МГЭС):
(1 750÷6 000) \$/кВт;

- Солнечные фотоэлектрические установки (СФЭУ) в децентрализованных энергосистемах: (1 400÷2 000) \$/кВт;
- ВЭУ в децентрализованных энергосистемах: (1 900÷6 000) \$/кВт;
- Солнечные энергетические установки (СЭУ) для производства тепловой энергии: (460÷780) \$/кВт;
- ДГУ: (500÷1 000) \$/кВт.

Параметры теплового аккумулятора были рассчитаны для обеспечения теплом и горячей водой зданий жилого комплекса в течение 24 часов при температуре наружного воздуха $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температура воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92).

$$Q_{от} = 0,024 \cdot (t_{вн} - t_{нар}^{0,92}) \cdot V_{от} \cdot \rho_{от} = 0,024 \cdot (20 - (-38)) \times 1 \cdot 17\,000 \cdot 0,290 = 6862,56 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)},$$

где $t_{вн}$ – температура воздуха внутри помещений, ($^{\circ}\text{C}$); $t_{нар}^{0,92}$ – температура воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92, ($^{\circ}\text{C}$).

При этом объем теплового аккумулятора составляет порядка 80 000 л или 80 тонн воды.

В результате оптимизации состава ГЭК, были выбраны следующие установки:

- ВЭУ мощностью 50 кВт в количестве 20 шт., 2 625 тыс. \$;
- СФЭУ общей мощностью 35 кВт, размещаемые на крышах зданий, 57,75 тыс. \$;

- МГЭС, установленная мощность которой 600 кВт, 1 320 тыс. \$;
- ДГУ установленной мощностью 2,2 МВт, 1 540 тыс. \$.
- Аккумулятор электрической энергии, 300 тыс. \$.
- Аккумулятор тепловой энергии, 450 тыс. \$.
- Расход топлива составит около 5 200 т.
- Затраты на топливо в год 3 630 тыс. \$.

Таким образом, стоимость оборудования оценивается в 6 982,9 тыс. \$, а годовой расход энергии составит 17 702 МВт·ч.

Заключение

В результате расчетов параметров ГЭК различной конфигурации были получены значения показателей, демонстрирующие долю замещения установленной мощности ДГУ, а также увеличение коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) ВИЭ (таблица 1 и рисунок 17):

Эффективность применения системы аккумуляторов в ГЭК

Таблица 1

Efficiency of the system battery in HES

Table 1

Состав энергокомплекса	Установленная мощность ДГУ, кВт	Доля замещения установленной мощности ДГУ, %	КИУМ, %
ДГУ	4150	0	-
ДГУ + МГЭС + ВЭУ + СФЭУ	3622,95	12,7	14,70
ДГУ + МГЭС + ВЭУ + СФЭУ + аккумулятор ЭЭ	3365,65	18,9	17,36
ДГУ + МГЭС + ВЭУ + СФЭУ + аккумулятор ТЭ	2647,7	36,2	31,58
ДГУ + МГЭС + ВЭУ + СФЭУ + аккумулятор ЭЭ + аккумулятор ТЭ	2114,56	59,8	48,40

Установленная мощность ДГУ, кВт

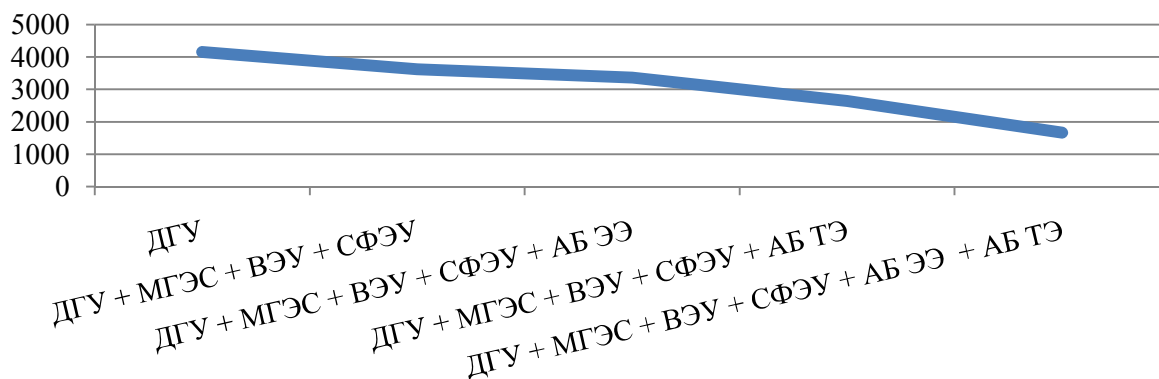


Рис. 17. Уменьшение установленной мощности ДГУ в зависимости от состава энергокомплекса
 Fig. 17. The reducing of diesel generator set installed capacity depending on the composition of the energy complex



Таким образом, изменение состава ГЭК путем ввода аккумуляторов электрической энергии и тепла позволит не только повысить надежность тепло- и электроснабжения потребителей, но и сократить установленную мощность гарантирующего источника энергоснабжения (ДГУ), из чего следует, что ГЭК в приведенной конфигурации обладает гарантированной мощностью, что меняет концепцию использования данного типа энергоустановок.

В перспективе планируется рассмотреть возможность полной или частичной замены ДГУ, которые выступают в роли гарантированного источника энергоснабжения, на генерирующие установки, работающие от местных видов топлива, такие как котельные на твердом топливе (пеллеты, щепа). Такой вариант будет принят к рассмотрению по результатам анализа мирового отчета по Возобновляемым источникам энергии GlobalStatusReportREN 2014 [12].

Список литературы

1. Мартынов А.В. Децентрализованные системы теплоснабжения // Новости теплоснабжения. 2006. № 7. С. 24–27.
2. Хараим А.А., Ильич В.Н. Современная история теплофикации, заслуживающей лучшей судьбы // Новости теплоснабжения. 2008. № 5. С. 37–41.
3. Портал «Когенерация.ру» [Электронный ресурс]: <http://www.cogeneration.ru/base-benefits/base.html>
4. Васьков А.Г., Коваленко Е.В., Тягунов М.Г., Шарапов С.А. Использование гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии в распределенной энергетике // Энергетик. 2014. № 2. С. 25–27.
5. Машенков А.Н., Филимонов А.В. О контроле состояния тепловых сетей // Новости теплоснабжения. 2003. № 10. С. 27–29.
6. Комплексная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Тюменской области» на 2010–2020 годы. Приложение к распоряжению Правительства Тюменской области от 11 октября 2010 г. № 1521-рп.
7. В Тюменской области отходы деревообработки будут использовать в теплоснабжении. [Электронный ресурс]: <http://www.t-l.ru/161269.html>
8. Башмаков И.А. Анализ основных тенденций развития систем теплоснабжения России (Часть 2) // Новости теплоснабжения. 2008. № 3. С. 91–111.
9. Приказ департамента тарифной и ценовой политики Тюменской области от 20 августа 2012 г. № 183/01-05-ос.

10. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Минрегион России, 2012.

11. Возобновляемые источники энергии как объекты инвестиций «Проекты строительства малых ГЭС». ОАО «УК ГидроОГК». Москва, 2008.

12. Renewables 2014 Global Status Report [Электронный ресурс]: <http://ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx>

References

1. Martynov A.V. Decentralizovannye sistemy teplosnabzheniâ. *Novosti teplosnabzheniâ*, 2006, no. 7, pp. 24–27 (in Russ.).
2. Haraim A.A., Ilich V.N. Sovremennââ istoriâ teplofikacii, zasluživaûšej lučšej sud'by. *Novosti teplosnabzheniâ*, 2008, no. 5, pp. 37–41 (in Russ.).
3. Website «Kogeneracija.ru» Available at: <http://www.cogeneration.ru/base-benefits/base.html>
4. Vaskov A.G., Kovalenko E.V., Tyagunov M.G., Sharapov S.A. Ispol'zovanie gibridnyh ènergokompleksov na osnove vozobnovlâemyh istočnikov ènergii v raspredelennoj ènergetike. *Ènergetik*, 2014, no. 2, pp. 25–27 (in Russ.).
5. Mashenkov A.N., Filimonov A.V. O kontrole sostoâniâ teplovyh setej. *Novosti teplosnabzheniâ*, 2003, no. 10, pp. 27–29 (in Russ.).
6. Kompleksnââ programma «Ènergosbereženie i povyšenie ènergetičeskoj èffektivnosti v Tûmenskoj oblasti» na 2010–2020. Priloženie k rasporaženiû Pravitel'stva Tûmenskoj oblasti 11 October 2010, no. 1521-rp (in Russ.).
7. V Tûmenskoj oblasti othody derevoobrabotki budut ispol'zovat' v teplosnabzhenii. Available at: <http://www.t-l.ru/161269.html> (in Russ.).
8. Bashmakov I.A. Analiz osnovnyh tendencij razvitiâ sistem teplosnabzheniâ Rossii (Part 2). *Novosti teplosnabzheniâ*, 2008, no. 3, pp. 91–111 (in Russ.).
9. Prikaz departamenta tarifnoj i cenovoj politiki Tûmenskoj oblasti 20 August 2012, no.183/01-05-os.
10. SP 50.13330.2012 Teplovaâ zašita zdaniy. Aktualizirovannââ redakciâ SNIp 23-02-2003. Minregion Rossii, 2012 (in Russ.).
11. Vozobnovlâemye istočniki ènergii kak ob'ekt yinvesticij «Proekty stroitel'stva malyh GÈS». ОАО «УК ГидроОГК». Moscow, 2008 (in Russ.).
12. Renewables 2014 Global Status Report Available at: <http://ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx> (in Eng.).

Транслитерация по ISO 9:1995

