

УДК 697.4

Н.В. КОЛЕСНИЧЕНКО, М.Ю. ВОДОЛАЗСКАЯ
Донецкий национальный технический университет
marina.vladi-13@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАКА-АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗОК МИНИ-ТЭЦ

Рассмотрено регулирование выдачи электрической энергии в сеть по времени суток с применением баков-аккумуляторов на мини-ТЭЦ. Бак-аккумулятор позволяет регулировать соотношение производства тепловой и электрической энергии на ТЭЦ путем накопления тепла в одно время суток и выдачи ее в тепловую сеть в другое время.

Постановка проблемы. В условиях непрерывного наращивания производств и сопутствующего этому увеличению затрат энергии и тепловых ресурсов, важнейшими проблемами человечества стали проблемы энерго- и ресурсосбережения и защиты окружающей среды. На сегодняшний день одной из наиболее эффективных технологий производства тепла и электроэнергии является когенерация. Она позволяет существенно снизить расход первичного топлива, по сравнению со схемой раздельного производства электроэнергии и тепла за счет рационального распределения его предельно необходимого количества для производства тепла и электроэнергии.

В традиционных теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) базовой нагрузкой является нагрузка электроснабжения. При этом, если тепловая энергия, которая может быть произведена в комбинированном цикле, будет превышать необходимую нагрузку теплоснабжения, то избыток тепла отдается окружающей среде в градирнях. В таком случае часть электрической энергии производится в конденсационном цикле. В случае дефицита тепловой мощности комбинированного цикла, для его покрытия используются пиковые котлы. В любом случае, необходимость регулирования соотношения производства тепла и электроэнергии на ТЭЦ снижает эффективность его производства.

Для мини-ТЭЦ, чаще всего, базовой является нагрузка теплоснабжения, а избыток производимой электроэнергии может выдаваться в энергосистему. В этом случае необходимо учитывать, что ценность электроэнергии в различное время для энергосистемы неодинакова. Это также ставит задачу регулирования соотношения производства тепла и электроэнергии с тем, чтобы сделать выдачу электрической мощности в энергосистему в ночное время минимальной.

В связи с этим, особый интерес вызывают технологии, позволяющие регулировать соотношение производства тепла и электроэнергии в условиях мини-ТЭЦ. Одной из таких технологий является использование баков-аккумуляторов (БА) с тем, чтобы в часы пиковых и полупиковых нагрузок энергосистемы производить запас тепла для теплоснабжения ночью.

Анализ исследований и публикаций. Исследования возможности использования когенерационных технологий в условиях Украины и не только велись в работах [1, 2, 3]. Вопрос регулирования нагрузок тепло- и электроснабжения на мини-ТЭЦ с применением тепловых насосов рассматривался в работе [3].

Цель статьи. Разработка методики расчета необходимых параметров схемы регулирования электрических и тепловых нагрузок на мини-ТЭЦ с помощью БА.

Результаты исследований. Разработана методика расчета режимов работы мини-ТЭЦ с регулированием нагрузок с помощью БА и на примере реконструированной отопительной котельной жилого района определены её параметры и экономические показатели эффективности предлагаемой схемы.

Предельная температура нагрева воды в баке 90-95⁰С. Для баков, работающих под давлением, она может быть выше, однако это выдвигает более высокие требования к надежности и безопасности эксплуатации бака. Таким образом, баки-аккумуляторы могут использоваться практически только в сетях с потребителями, подключенными по безэлеваторным схемам. Если бак-аккумулятор самостоятельно выполняет нагрузку отопления, то предельная температура охлаждения бака равна температуре сетевой воды в подающей линии. В таком случае тепловая емкость бака-аккумулятора будет определяться выражением, кДж:

$$Q_{\text{БА}} = V_{\text{БА}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t'_{\text{БА}} - t''_{\text{БА}}) = t_{\text{БА}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t'_{\text{БА}} - t_{\text{ол}}), \quad (1)$$

где $V_{\text{БА}}$ - емкость бака-аккумулятора, м³;

$t'_{\text{БА}}, t''_{\text{БА}}$ - температура воды в баке-аккумуляторе соответственно в заряженном и разряженном состоянии, ⁰С;

$\rho_{\text{в}}$ - плотность воды, средняя в интервале температур $t'_{\text{БА}} \div t''_{\text{БА}}$, кг/м³;

$c_{\text{в}}$ - теплоемкость воды, средняя в интервале температур $t'_{\text{БА}} \div t''_{\text{БА}}$, кДж/кг·К;

© Колесниченко Н.В., Водолазская М.Ю., 2011

τ_{ol} - температура сетевой воды в подающей линии, °С.

Емкость БА, которая необходима для удовлетворения нагрузки отопления в заданных условиях, то есть при соответствующей температуре наружного воздуха, зависит от температурного графика системы отопления, и может быть определена по формуле:

$$V_{БА} = \frac{R \cdot Q'_o \cdot \tau_{ноч} \cdot 3600}{\rho_v \cdot c_v \cdot (t'_{БА} - \tau_{ol})} \quad (2)$$

где R - относительная тепловая нагрузка отопления, представляющая собой отношение текущей нагрузки отопления к расчетной:

$$R = \frac{Q_{овн}}{Q'_{овн}} = \frac{t_n - t}{t_{p.o} - t} \quad (3)$$

Q'_o - расчетная нагрузка отопления, кВт, которая соответствует расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления;

Q_o - нагрузка отопления при текущей температуре наружного воздуха, кВт;

$t_{p.o}$ - расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, °С;

t_n - текущая температура наружного воздуха, °С;

$t_{вн}$ - расчетная температура внутреннего воздуха внутри отапливаемых помещений, °С;

$\tau_{ноч}$ - период ночного минимума, во время которого предполагается осуществление отопления за счет энергии, накопленной в БА, $\tau_{ноч} = 8ч$.

При анализе использования баков-аккумуляторов удобно пользоваться величиной удельного объема, приходящегося на 1 МВт расчетной отопительной нагрузки. Тогда выражение (2) преобразуем к виду, м³/МВт:

$$v_{БА} = \frac{V_{БА}}{Q'_o} = \frac{R \cdot \tau_{ноч} \cdot 3,6 \cdot 10^6}{\rho_v \cdot c_v \cdot (t'_{БА} - \tau_{ol})} \quad (4)$$

На основании выражения (4), принимая $t'_{БА} = 95^\circ\text{C}$, построим зависимость удельного объема бака-аккумулятора $v_{БА}$, необходимого для удовлетворения ночной нагрузки отопления в течение 8 часов, от относительной тепловой нагрузки R для двух расчетных температурных графиков 95/70 и 84/60. Данная зависимость показана на рис. 1.

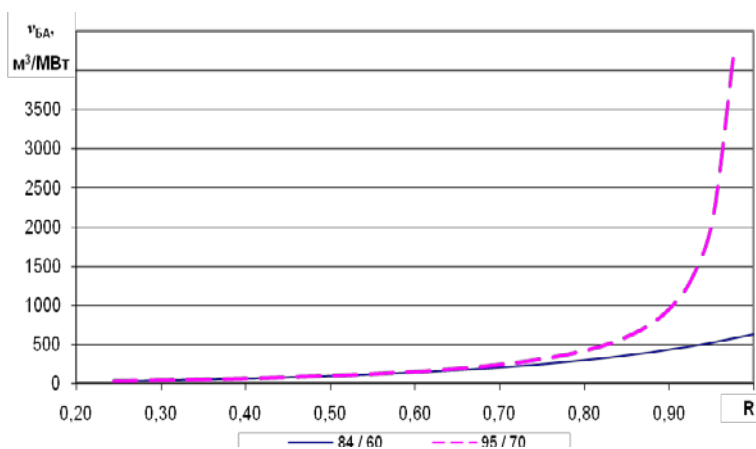


Рисунок 1 – Зависимость удельного объема бака-аккумулятора от относительной тепловой нагрузки

Как видим, в расчетных условиях при $R=1$ и температурном графике 95/70 одним баком-аккумулятором без дополнительных источников невозможно удовлетворить необходимую тепловую нагрузку. Это связано с

тем, что максимальная температура воды в БА равна температуре сетевой воды в подающей линии тепловой сети. В то же время при пониженном температурном графике такая возможность имеется. Из графика также видно, что при относительной отопительной нагрузке $R \leq 0,7$ значения необходимого удельного объема БА для обоих температурных графиков систем отопления практически одинаковы. Для донецкого региона условие: $R \leq 0,7$ соответствует температурам наружного воздуха $t_n \geq -11^\circ\text{C}$, а число часов стояния температур ниже этой составляет всего 10% продолжительности отопительного периода. Таким образом, проектирование БА возможно и на температурный график 95/70. К тому же, переход теплоснабжающих предприятий на пониженный график 84/60 потребовал бы серьезной реконструкции существующих систем теплоснабжения.

Поскольку предполагается, что электроэнергия, производимая мини-ТЭЦ, будет учтена в соответствии с тарифным коэффициентом, то рассчитывать режимы работы необходимо таким образом, чтобы наибольшую мощность мини-ТЭЦ выдавала в часы пиковых нагрузок энергосистемы. Таким образом, в различных зонах суточного графика электрических нагрузок энергосистемы мини-ТЭЦ, состоящая из КГУ и БА, может работать в следующих режимах в зависимости от температуры наружного воздуха и емкости бака-аккумулятора.

В часы *пиковых* нагрузок энергосистемы:

- а) работа когенерационных установок на максимальной мощности с одновременным выполнением нагрузки отопления и зарядкой бака-аккумулятора;
- б) работа когенерационных установок с выполнением только нагрузки отопления.

В часы *полупиковых* нагрузок энергосистемы:

- а) выполнение нагрузки отопления от бака-аккумулятора с пиковым нагревом сетевой воды в когенерационных установках;
- б) выполнение нагрузки отопления только от когенерационных установок;
- в) работа когенерационных установок на максимальной мощности с одновременным выполнением нагрузки отопления и зарядкой бака-аккумулятора.

В часы *ночного минимума* нагрузок энергосистемы:

- а) выполнение нагрузки отопления только от бака-аккумулятора;
- б) выполнение нагрузки отопления от бака-аккумулятора с пиковым нагревом сетевой воды в когенерационных установках.

Подходящий режим работы мини-ТЭЦ определяется в зависимости от текущей температуры наружного воздуха и объема используемого БА и, как следствие, мощности установленной КГУ. В случае, если сочетание этих показателей позволяет, то времени зарядки БА, осуществляемой за время пиков суточных нагрузок энергосистемы, достаточно для самостоятельного удовлетворения нагрузки отопления в течение всего ночного периода времени. Таким образом, первый пик энергосистемы может использоваться для зарядки БА для выполнения части нагрузки отопления в полупиковые периоды суток.

Также, сочетание перечисленных показателей может быть таковым, что для зарядки БА на работу в ночной период времени потребуется более длительное время, нежели время дневных пиков. Тогда зарядка БА частично осуществляется и в полупиковое время. При наиболее низкой расчетной температуре для конкретного региона зарядка БА, как правило, осуществляется в течение всего пикового и полупикового периода, то есть в течение 16 часов – это время зарядки БА и является максимально возможным для того, чтобы удовлетворить полностью нагрузку отопления ночного периода времени. Однако такие температуры крайне редки, поэтому проектировать БА со значительным запасом мощности не имеет экономического смысла.

Произведем расчет для пиковой зоны суточного графика нагрузок энергосистемы. Время зарядки БА определяется по формуле, ч:

$$\tau_{зар.БА}^{макс} = \frac{V_{БА} \cdot \rho_{в} \cdot c_{в} \cdot (t'_{БА} - t''_{БА})}{q_m^{КГУ} - R} \quad (5)$$

где $q_m^{КГУ}$ - удельное значение установленной тепловой мощности когенерационных установок, отнесенное к 1МВт расчетной нагрузки отопления, МВт/МВт;

$t'_{БА}$ - температура воды в баке-аккумуляторе в заряженном состоянии, $^\circ\text{C}$;

$t''_{БА}$ - температура воды в баке-аккумуляторе в конце ночного периода использования, $^\circ\text{C}$;

При значениях $\tau_{зар.БА}^{макс} < \tau_{пик}^I$, время работы когенерационных установок на максимальной мощности в период утреннего пика будет равно $\tau_{зар.БА}^{макс}$. При $\tau_{зар.БА}^{макс} \geq \tau_{пик}^I$, это время будет определяться продолжительностью первого пика $\tau_{пик}^I$.

Таким образом, количество тепла, произведенное КГУ за суточный период пиковых нагрузок энергосистемы при температуре наружного воздуха t_n , будет определяться системой:

$$\begin{cases} \tau_{зар.БА}^{макс} < \tau_{пик}^I : & q_{ин}^{КГУ пик.сут} = q_m^{КГУ} \cdot (\tau_{зар.БА}^{макс} + \tau_{пик}^II) + R(\tau_{пик}^I - \tau_{зар.БА}^{макс}) \\ \tau_{зар.БА}^{макс} \geq \tau_{пик}^I : & q_{ин}^{КГУ пик.сут} = q_m^{КГУ} \cdot \tau_{пик} \end{cases} \quad (6)$$

где $q_{ин}^{КГУ пик.сут}$ - удельное значение количества тепла, произведенное когенерационными установками за суточный период пиковых нагрузок энергосистемы при соответствующей температуре наружного воздуха t_n , приходящееся на 1МВт расчетной отопительной нагрузки, МВт*ч/МВт;

$\tau_{пик}$ - продолжительность пиковых периодов суточных нагрузок, ч;

$\tau_{пик}^I$ - продолжительность первого пика суточных нагрузок, ч;

$\tau_{пик}^II$ - продолжительность второго пика суточных нагрузок, ч;

Количество тепловой энергии, запасенной в БА и используемой в часы полупиковых нагрузок, может быть определено исходя из разницы общего времени зарядки БА в часы пиковых нагрузок и времени, необходимого для зарядки БА с целью использования в период ночного минимума. Общее время зарядки бака-аккумулятора в часы пиковых нагрузок ограничено или $\tau_{зар.БА}^{макс}$, либо $\tau_{пик}^I$. Зарядка БА в часы полупиковых нагрузок энергосистемы будет происходить при условии, что время зарядки БА для использования в ночной период превышает продолжительность пиковых нагрузок энергосистемы. Исходя из этого, количество тепла, произведенное КГУ за суточный период полупиковых нагрузок энергосистемы при температуре наружного воздуха t_n , будет определяться системой:

$$\begin{cases} \tau_{зар.БА}^{макс} < \tau_{пик}^I : & q_{ин}^{КГУ н.п.сут} = \tau_{н.п.} \cdot R - (q_m^{КГУ} - R) \cdot (\tau_{зар.БА}^{макс} + \tau_{пик}^II - \tau_{зар.БА}) \\ \tau_{пик}^{Iмакс} \leq \tau_{зар.БА} \text{ и } \tau_{зар.БА} \leq \tau_{пик} : & q_{ин}^{КГУ н.п.сут} = \tau_{н.п.} \cdot R^{КГУ} (q_m^{КГУ} - R) \cdot (\tau_{пик} - \tau_{зар.БА}) \\ \tau_{зар.БА} > \tau_{пик} : & q_{ин}^{КГУ н.п.сут} = \tau_{н.п.} \cdot R + (q_m^{КГУ} - R) \cdot (\tau_{зар.БА} - \tau_{пик}) \end{cases} \quad (7)$$

где $q_{ин}^{КГУ н.п.сут}$ - удельное значение количество тепла, произведенное когенерационными установками за суточный период полупиковых нагрузок энергосистемы при соответствующей температуре наружного воздуха t_n , приходящееся на 1МВт расчетной отопительной нагрузки, МВтч/МВт;

$\tau_{н.п.}$ - продолжительность полупикового периода суток, ч;

$\tau_{зар.БА}$ - время зарядки бака-аккумулятора, ч;

В выражении (7) условие $\tau_{пик}^{Iмакс} \leq \tau_{зар.БА}$ и $\tau_{зар.БА} \leq \tau_{пик}$ выписано таким образом, чтобы исключить зарядку БА в полупиковом режиме для использования тепла БА в этом же режиме.

Рассмотрим применение предложенной схемы аккумуляции для котельной, оборудованной двумя паровыми котлами ДКВР – 4–13 и одним водогрейным КСВаУ-0,63Гн. Тепловые нагрузки котельной: максимальная зимняя отопительная – 2,73 Гкал/ч, максимальная зимняя нагрузка ГВС – 0,97 Гкал/ч, средняя летняя – 0,26 Гкал/ч.

Произведем расчет реконструкции котельной в мини-ТЭЦ на основе газопоршневых установок с применением БА. Расчеты по отоплению велись в диапазоне температур от -23 до +8°C. Для каждой температуры определялась расчетная мощность КГУ, необходимый объем БА, режимы его работы и, в конечном счете, сроки окупаемости данных мероприятий. Результаты расчетов можно проследить в следующих зависимостях (рис. 2-4).

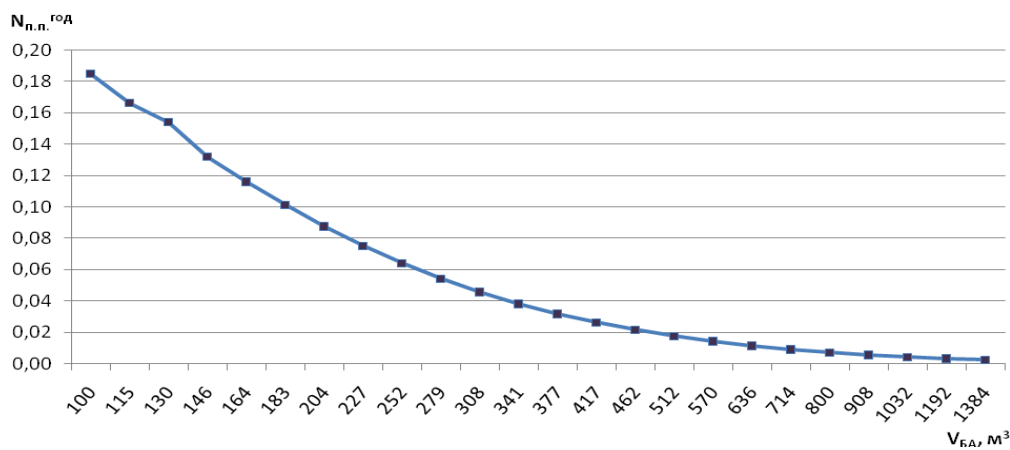


Рисунок 2 – Зависимость доли производства электроэнергии в часы ночного минимума нагрузок энергосистемы от объема БА

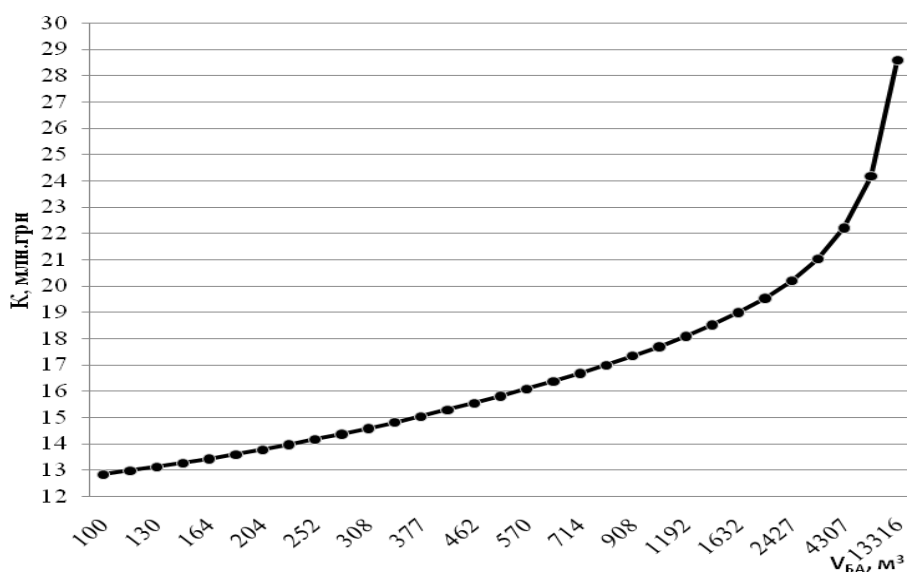


Рисунок 3 – Зависимость капиталовложений от объема БА

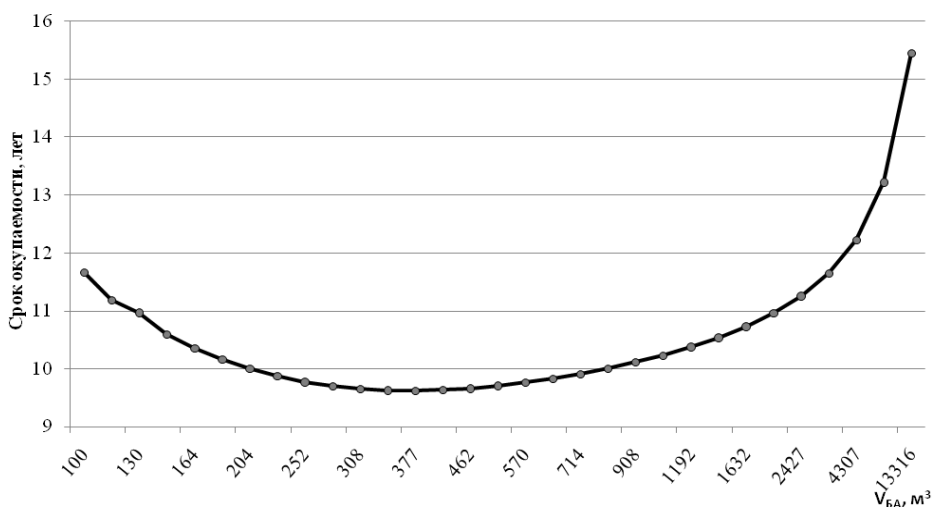


Рисунок 4 – Зависимость срока окупаемости от объема БА

В результате было установлено, что наиболее экономичный БА – 376,8 м³ и расчетная тепловая мощность КГУ – 3,792 МВт при -4°С и температурном графике работы КГУ 95/70, и при этом долю производства электроэнергии в часы ночного минимума удалось сократить практически до нуля – 0,032. Срок окупаемости данных мероприятий составит – 9,6 лет.

Выводы. Внедрение когенерационных технологий имеет в системах теплоснабжения преследует цель экономии топливных ресурсов. Однако на реконструируемом объекте потребление топлива, часто природного газа, в связи с генерацией электроэнергии возрастает. По части производства электроэнергии мини-ТЭЦ должна конкурировать с другими источниками, что вызывает необходимость регулировать соотношение производства тепла и электроэнергии. В работе рассмотрен вопрос использования бака-аккумулятора в тепловой схеме мини-ТЭЦ для удовлетворения нагрузки отопления ночью с целью снижения производства электроэнергии в это время. Разработан алгоритм определения режимов работы мини-ТЭЦ и показано, что в современных условиях срок окупаемости преобразования котельной в мини-ТЭЦ по указанной схеме составляет около 10 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баласанян Г.А. Анализ эффективности интегрированных систем энергоснабжения на базе установок когенерации малой мощности и возобновляемых источников энергии / Г.А. Баласанян, А.С. Мазуренко // Энергетика та електрифікація. – 2008. – №1.
2. Шавров Э. Н. О проблеме комбинированного производства тепла и электроэнергии / Э. Н. Шавров // Энергетик. – 2007. – №9.
3. Баласанян Г.А. Оптимизация режимов нагрузок интегрированной системы энергоснабжения на базе когенерационной установки и теплового насоса / Г.А. Баласанян // Экологические и ресурсосбережение. – 2007. – №1.

Надійшла до редколегії 29.09.2010

Рецензент: С.Ф.Артюх

Н.В. КОЛЕСНИЧЕНКО, М.Ю. ВОДОЛАЗСЬКА
Донецький національний технічний університет

N. KOLESNYCHENKO, M. VODOLAZSKAYA
Donetsk National Technical University

Використання баків-аккумуляторів для забезпечення нічного навантаження опалення. Розглянуто регулювання видачі електричної енергії в мережу протягом доби з використанням баків-аккумуляторів на міні-ТЕЦ, оснащеної когенерационними установками. Бак-аккумулятор дозволяє здійснювати виробництво і видачу електричної енергії в пікові та напівпікові періоди доби, продаючи її за максимальними тарифами і компенсуючи нестачу електроенергії від великих атомних та електростанцій.

The Use of Tank-Accumulators for Satisfying the Night Loading of Heating. Regulation of distribution of electric energy in a network during the day with the use of tank-accumulator on mini-CHP equipped with cogeneration installations is considered. The tank-accumulator allows carrying out production and distribution of electric energy of cogeneration installations in prime and half-prime time of the periods of day, selling it under the maximum tariffs and compensating shortage of the electric power from large nuclear or power stations.