

УДК 621.311.22

Г.А. Баласанян, д-р. техн. наук, доц.,
В.А. Дубковский, д-р техн. наук, проф.,
Одес. нац. политехн. ун-т

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛА ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ УСТАНОВОК КОГЕНЕРАЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Г.А. Баласанян, В.О. Дубковский. Эффективность аккумуляции тепла для интегрированных систем энергопоставки на базе установок когенерации малой мощности. Запропоновано методику визначення номінальних параметрів когенеративних установок, що використовують акумулятори тепла для узгодження графіків теплового і електричного навантаження споживача. Досліджено залежність номінальних параметрів систем когенеративної від режимів акумуляції тепла.

G.A. Balasanian, V.A. Dubkovsky. Efficiency of heat accumulation for power supply integrated systems based on low-power co-generation units. The procedure for determining nominal parameters of co-generation units using heat accumulators for the coordination of the diagrams of thermal and electrical consumer loads is proposed. Dependence of nominal parameters of the co-generation systems on the modes of heat accumulation is explored.

Суточные графики электрической и тепловой нагрузок объектов энергоснабжения, использующих когенерационные установки (КУ) малой мощности, характеризуются значительной неравномерностью, низким коэффициентом заполнения и несоответствием утилизированной тепловой мощности потребности объекта в тепле [1], что существенно снижает экономическую эффективность когенерации.

Одним из способов повышения эффективности когенерационных технологий и согласования суточных графиков электрической и тепловой нагрузок КУ является аккумуляция тепла [2]. Использование тепловых аккумуляторов дает экономию капитальных затрат от снижения номинальной мощности установки, мощности дополнительных (пиковых) источников тепла, а также экономию топлива от снижения продолжительности работы пиковых установок.

Предлагается методика определения номинальных параметров КУ и аккумуляторов тепла с учетом преобладающих графиков нагрузок потребителя.

В значительной степени номинальные параметры КУ и аккумулятора тепла зависят от режимов работы и вида преобладающей нагрузки потребителя. Типичный для коммунально-бытовых потребителей суточный график тепловой нагрузки характеризуется значительной неравномерностью и относительно низким коэффициентом заполнения $K_{\text{зап}}=0,6$ (рис. 1).

Коэффициент заполнения графика определяется выражением [3]

$$K_{\text{зап}} = \frac{\int_0^T F(t) dt}{Q_{\text{потр}}^{\text{max}} T},$$

где $F(t)$ — функциональная зависимость, описывающая изменение тепловой нагрузки потребителя $Q_{\text{потр}}(t)$, которая может задаваться интерполяционным полиномом, в табличном, графическом виде и др.;

T — период времени, сутки;

t — текущий момент времени;

$Q_{\text{потр}}^{\text{max}}$ — максимальное значение потребляемой тепловой нагрузки.

При работе КУ по электрическому графику нагрузок, т.е. при отсутствии синхронизации установки с сетью, выполняется условие равенства мгновенных значений генерируемой и потребляемой электрических мощностей: $N_{\text{потр}}(t) = N_{\text{ген}}(t)$. Графики тепловой нагрузки потребителя и утилизации тепла от КУ не совпадают во времени: $Q_{\text{потр}}(t) \neq Q_{\text{ут}}(t)$, поэтому для эффективного использования утилизированного тепла его аккумулируют. Если $Q_{\text{ут}}(t) > Q_{\text{потр}}(t)$, тепловой аккумулятор заряжается, если $Q_{\text{ут}}(t) < Q_{\text{потр}}(t)$ — разряжается. При этом емкость теплового аккумулятора зависит от суточных графиков утилизации и потребления тепла и определяется выражением

$$E_a^{\max} = \max_{t \in [0; T]} \left(\int_0^T (Q_{\text{ут}}(t) - Q_{\text{потр}}(t)) dt \eta_a \right),$$

где $0 \leq \eta_a \leq 1$ — коэффициент эффективности аккумулирования тепла.

Покрытие пиковых тепловых нагрузок на промежутке времени $[t_k, t_{k+1}] \subset [0, T]$ за счет аккумулирования тепла возможно при соблюдении условия

$$A(t_k) - D(t_k) \geq 0, \quad (1)$$

где $A(t_k) = \int_0^{t_k} (Q_{\text{ут}}(t) - Q_{\text{потр}}(t)) dt \eta_a$ — запас тепла в аккумуляторе в момент времени t_k ;

$D(t_k) = \int_{t_k}^{t_{k+1}} (Q_{\text{потр}}(t) - Q_{\text{ут}}(t)) dt$ — дефицит тепла в системе при условии, что $Q_{\text{ут}}(t) < Q_{\text{потр}}(t)$, за

промежутком времени $[t_k, t_{k+1}]$.

Если условие (1) не выполняется, то покрытие дефицита тепла осуществляется дополнительным источником (водогрейным котлом, тепловым насосом, возобновляемым источником и т.д.) номинальной мощности

$$Q_{\text{доп}}^{\text{ном}} = \max_{t \in [0; T]} (Q_{\text{потр}}(t) - Q_{\text{ут}}(t)).$$

При работе КУ по электрическому графику нагрузок аккумулирование тепла не снижает ее номинальную мощность, которая определяется пиковым значением мощности графика электрической нагрузки потребителя $N_{\text{потр}}^{\max}$, но позволяет снизить номинальную мощность дополнительного источника. Экономическая эффективность аккумулирования будет выше при низком коэффициенте заполнения графика тепловой нагрузки.

При работе КУ по тепловому графику нагрузок, т.е. при синхронизации установки с энергосистемой, выполняется условие $Q_{\text{ут}}(t) = Q_{\text{потр}}(t)$.

Возникающий при этом излишек или дефицит генерируемой электрической мощности $\Delta N_i = N_i^{\text{ген}} - N_i^{\text{потр}}$ соответственно подается в сеть или поступает из нее. Номинальная электрическая мощность когенерационной установки определяется по пиковой нагрузке суточного графика тепловой нагрузки потребителя $N_{\text{ном}} = N(Q_{\text{потр}}^{\max})$.

Повышение коэффициента использования установленной мощности КУ и соответствующее снижение $N_{\text{ном}}$ возможно за счет замещения пиковых тепловых нагрузок аккумулированным теплом или теплом от альтернативного источника [4].

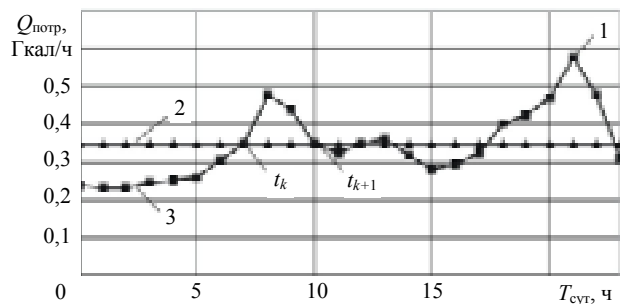


Рис. 1. Суточный график тепловой нагрузки потребителя: 1 — $Q_{\text{потр}}^{\max}$; 2 — $Q_{\text{ном}}$; 3 — $Q_{\text{потр}}^{\min}$

При аккумулировании тепла номинальная тепловая мощность установки $Q_{\text{ном}}$ определяется из уравнения баланса зарядки и разрядки теплового аккумулятора:

$$\sum_{i=0}^n \left(\int_{t_{n_i}}^{t_{k_i}} (Q_{\text{ном}} - Q_{\text{потр}}(t)) dt \right) \eta_a = \sum_{j=0}^m \left(\int_{t_{n_j}}^{t_{k_j}} (Q_{\text{потр}}(t) - Q_{\text{ном}}) dt \right), \quad (2)$$

где n — количество промежутков времени $\Delta t_i = t_{k_i} - t_{n_i}$ за сутки, в которые $Q_{\text{ном}} > Q_{\text{потр}}(t)$;

m — количество промежутков времени $\Delta t_j = t_{k_j} - t_{n_j}$ за сутки, в которые $Q_{\text{ном}} < Q_{\text{потр}}(t)$;

i, j — порядковые номера промежутков времени;

$$\sum_{i=0}^n \Delta t_i + \sum_{j=0}^m \Delta t_j = T.$$

В результате решения уравнения (2)

$$Q_{\text{ном}} = \frac{\sum_{i=0}^n \left(\int_{t_{n_i}}^{t_{k_i}} Q_{\text{потр}}(t) dt \right) \eta_a + \sum_{j=0}^m \left(\int_{t_{n_j}}^{t_{k_j}} Q_{\text{потр}}(t) dt \right)}{\sum_{i=0}^n \Delta t_i \eta_a + \sum_{j=0}^m \Delta t_j}. \quad (3)$$

Вычисление $Q_{\text{ном}}$ непосредственно по (3) связано со значительной сложностью аналитического определения входящих в него компонентов, т.к. моменты времени t_{n_i} , t_{k_i} , t_{n_j} , t_{k_j} , в

свою очередь, зависят от η_a и $Q_{\text{потр}}(t)$. Поэтому для определения $\sum_{i=0}^n \left(\int_{t_{n_i}}^{t_{k_i}} Q_{\text{потр}}(t) dt \right)$ и

$\sum_{j=0}^m \left(\int_{t_{n_j}}^{t_{k_j}} Q_{\text{потр}}(t) dt \right)$ использовался численный метод решения [5], в соответствии с которым пери-

од времени $[0, T]$ был разбит на L элементарных участков Δt_l . Вычисление указанных сумм и

промежутков времени $\sum_{i=0}^n \Delta t_i$, $\sum_{j=0}^m \Delta t_j$ численными методами позволило однозначно определить

$Q_{\text{ном}}$ при заданном η_a .

В предельном случае при $\eta_a = 1$ $Q_{\text{ном}}$ принимает минимальное значение

$$Q_{\text{ном}}^{\min} = K_{\text{зап}} Q_{\text{потр}}^{\max},$$

а выражение (3) упрощается к виду

$$Q_{\text{ном}}^{\min} = \frac{\int_0^T Q_{\text{потр}}(t) dt}{T}.$$

В другом предельном случае при $\eta_a = 0$ $Q_{\text{ном}} = Q_{\text{потр}}^{\max}$.

Если существуют ограничения емкости аккумулятора тепла $E_a < E_a^{\max}$, то

$$Q_{\text{НОМ}}^{\text{min}} = \frac{\sum_{j=0}^m \left(\int_{t_{\text{н}_j}}^{t_{\text{к}_j}} Q_{\text{ПОТР}}(t) dt \right) - E_{\text{а}}}{\sum_{j=0}^m [t_{\text{н}_j}, t_{\text{к}_j}]}$$

Зависимость относительной номинальной мощности $Q_{\text{НОМ}}/Q_{\text{НОМ}}^{\text{max}}$ от $\eta_{\text{а}}$ при изменении коэффициента заполнения $K_{\text{зап}}$ суточного графика тепловой нагрузки потребителя от 0,5 (пиковый режим) до 0,9 (базовый режим), рассчитанная в соответствии с (3), свидетельствует о высокой эффективности применения аккумуляторов тепла для снижения номинальной мощности КУ, особенно при низких значениях коэффициента заполнения графиков нагрузки (рис. 2).

Таким образом, предложена методика определения номинальных параметров КУ, использующих аккумуляторы тепла для согласования графиков тепловой и электрической нагрузок объекта энергоснабжения, определены режимы, обеспечивающие наивысшую эффективность применения аккумуляторов тепла при эксплуатации КУ. Исследована зависимость номинальных параметров систем когенерации от режимов аккумуляторов тепла, выполнена оценка эффективности применения аккумуляторов тепла для снижения номинальной мощности КУ.

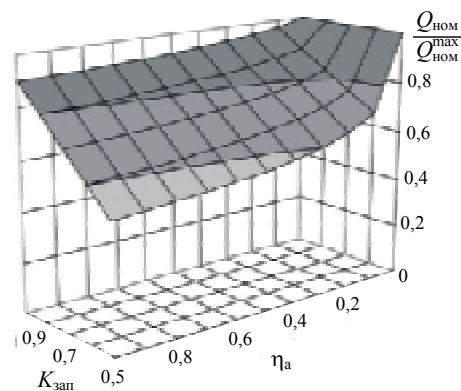


Рис. 2. Зависимость относительного значения номинальной мощности когенерационной установки от эффективности аккумуляторов тепла

Литература

1. Баласаян Г.А. Согласование графиков тепловой и электрической нагрузок для систем когенерации малой мощности / Баласаян Г.А., Мазуренко А.С. // Пром. теплотехника. — 2005. — № 3. — С. 32 — 39.
2. Бекман Г. Тепловое аккумулярование энергии: Пер. с англ. / Бекман Г., Гилли П., — М.: Мир, 1987. — 275 с.
3. Николаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 640 с.
4. Баласаян Г.А. Повышение эффективности системы энергоснабжения на базе установки когенерации малой мощности / Баласаян Г.А., Мазуренко А.С., Сычова Е.А. // Новини енергетики. — 2005. — № 3. — С. 34 — 38.
5. Численные методы / Зварыкин В.М. и др.: Учеб. пособие. — М.: Просвещение, 1990. — 176 с.

Поступила в редакцию 7 ноября 2007 г.