

УДК 621.311.22

Баласанян Г.А., Мазуренко А.С.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛА ПРИ СОГЛАСОВАНИИ  
ГРАФИКОВ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗОК  
КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК**

*Одесский национальный политехнический университет*

Суточные графики электрической и тепловой нагрузок объектов энергоснабжения, использующих когенерационные установки 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 когенерации и согласования суточных графиков электрической и тепловой нагрузок 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.

В значительной степени номинальные параметры когенерационной и аккумулирующей установок зависят от режимов работы и вида преобладающей нагрузки потребителя, из которых можно выделить следующие:

**1. Работа когенерационной установки по электрическому графику нагрузок**

*Режим 1.1.* Тепловая нагрузка потребителя  $Q_i^{потр}$  значительно меньше утилизированного тепла  $Q_i^{ут}$ :

$$Q_i^{ут} > Q_i^{потр}, N_i^{потр} = N_i^{ген}, i = \overline{0, 23},$$

где  $i$  – время суток, ч.

Аккумуляция тепла не используется, т.к. образуется излишек утилизированного тепла, который сбрасывается в окружающую среду.

*Режим 1.2.* Тепловая нагрузка потребителя соизмерима с количеством утилизированного тепла.

$$Q_i^{ут} \approx Q_i^{потр}, N_i^{потр} = N_i^{ген}, i = \overline{0, 23},$$

если  $Q_i^{ут} > Q_i^{потр}$  — тепловой аккумулятор заряжается;

если  $Q_i^{ут} < Q_i^{потр}$  — тепловой аккумулятор разряжается.

Емкость аккумулятора:

$$E_a^{max} = \max_{j=0, 23} \left( \sum_{i=0}^j (Q_i^{ут} - Q_i^{потр}) \cdot \eta_a \right), \quad (1)$$

где  $j$  – время суток;  $0 \leq \eta_a \leq 1$  – коэффициент эффективности аккумулирования тепла.

Возможность покрытия пиковых тепловых нагрузок за счет аккумулирования тепла определяется из условия:

$$A_k - D_k \geq 0, \quad (2)$$

где  $A_k = \sum_{i=0}^k (Q_i^{yt} - Q_i^{потр}) \cdot \eta_a$  – запас тепла в аккумуляторе в момент времени  $k$ ;

$D_k = Q_k^{потр} - Q_k^{yt}$  – дефицит тепла в момент времени  $k$ , если  $Q_k^{yt} < Q_k^{потр}$ .

Если условие (2) не выполняется, то покрытие дефицита тепла осуществляется за счет дополнительного источника (водогрейного котла, теплового насоса, возобновляемого источника и т.д.), мощность которого:

$$Q_{доп} = \max_{i=0,23} (Q_i^{потр} - Q_i^{yt}). \quad (3)$$

Номинальная мощность установки определяется по пиковому значению электрической мощности  $N_i^{max}$  графика электрической нагрузки:  $N_{ном} = N_i^{max}$ .

*Режим 1.3.* Тепловая нагрузка потребителя значительно больше использованного тепла.

$$Q_i^{потр} > Q_i^{yt}, N_i^{потр} = N_i^{ген}, i = \overline{0,23}.$$

Покрывание дефицита тепла осуществляется за счет дополнительного источника, мощность которого определяется из выражения (3).

Применение аккумулирования тепла не снижает номинальную мощность когенерационной установки, но позволяет снизить номинальную мощность дополнительного источника. Экономическая эффективность аккумулирования будет выше при низком коэффициенте заполнения графика тепловой нагрузки, однако общая эффективность рассматриваемого режима невысока, т.к. значительная часть тепла производится при раздельной генерации.

## **2. Работа когенерационной установки по тепловому графику нагрузок**

*Режим 2.1.* Электрическая нагрузка потребителя меньше генерируемой электрической мощности когенерационной установки на тепловом потреблении.

$$N_i^{потр} < N_i^{ген}, Q_i^{yt} = Q_i^{потр}, i = \overline{0,23}.$$

Излишек генерируемой электрической мощности  $\Delta N_i = N_i^{ген} - N_i^{потр}$  продается в сеть. Номинальная электрическая мощность установки определяется по пиковой тепловой нагрузке суточного графика тепловой нагрузки потребителя:  $N_{ном} = N(Q_{i max}^{потр})$ .

Повышение коэффициента использования установленной мощности когенерационной установки и соответствующее снижение  $N_{\text{НОМ}}$  возможно за счет замещения пиковых тепловых нагрузок аккумулированным теплом.

Так как в дальнейшем приведен анализ параметров теплового графика нагрузки (рис. 1), то целесообразней в выражениях использовать номинальное значение тепловой мощности установки  $Q_{\text{НОМ}} = f(N_{\text{НОМ}})$ , однозначно определяемое электрической нагрузкой.

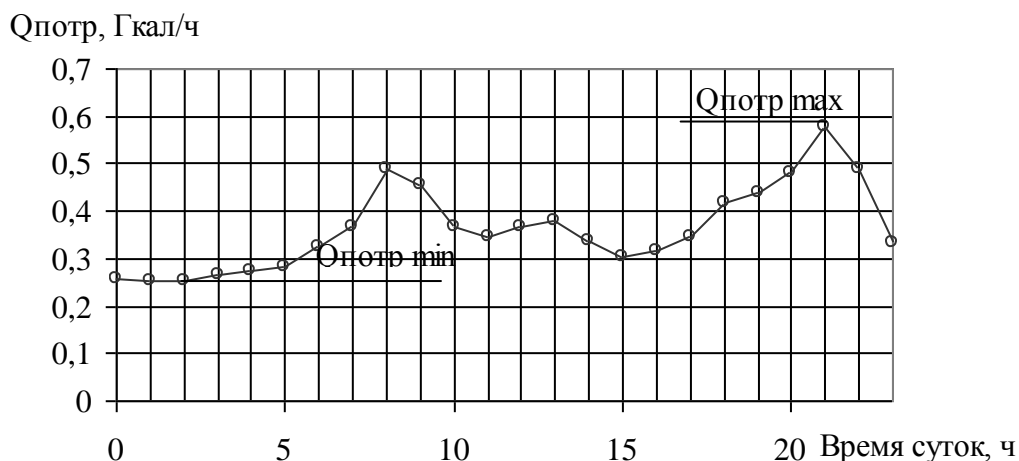


Рисунок 1 – Суточный график тепловой нагрузки потребителя

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

$$\sum_{i=0}^n (Q_{\text{НОМ}} - Q_i^{\text{потр}}) \cdot \eta_a = \sum_{i=0}^m (Q_i^{\text{потр}} - Q_{\text{НОМ}}), \quad (4)$$

где  $n$  – количество часов в сутки, в которые  $Q_{\text{НОМ}} > Q_i^{\text{потр}}$ ;  $m$  – количество часов в сутки, в которые  $Q_{\text{НОМ}} < Q_i^{\text{потр}}$ ;  $m + n = 24$ .

В результате решения уравнения (4) получим:

$$Q_{\text{НОМ}} = \frac{\sum_{i=0}^m Q_i^{\text{потр}} + \eta_a \cdot \sum_{i=0}^n Q_i^{\text{потр}}}{n \cdot \eta_a + m}. \quad (5)$$

В предельном случае (при  $\eta_a = 1$ )  $Q_{\text{НОМ}}$  принимает минимальное значение, равное:

$$Q_{\text{НОМ}}^{\text{min}} = K_{\text{зап}} \cdot Q_{i \text{max}}^{\text{потр}},$$

где  $K_{\text{зап}}$  – коэффициент заполнения графика нагрузки [3], а выражение (5) упрощается к виду:

$$Q_{\text{НОМ}}^{\text{мин}} = \frac{\sum_{i=0}^{23} Q_i^{\text{потр}}}{24}. \quad (6)$$

В другом предельном случае (при  $\eta_a = 0$ )  $Q_{\text{НОМ}}$  принимает максимальное значение, равное  $Q_{i_{\text{max}}}^{\text{потр}}$ .

Если существуют ограничения емкости аккумулятора ( $E_a < E_a^{\text{max}}$ ), то  $Q_{\text{НОМ}}^{\text{мин}}$  определяется из выражения:

$$Q_{\text{НОМ}}^{\text{мин}} = \frac{\sum_{i=0}^m Q_i^{\text{потр}} - E_a}{m}, \quad (7)$$

где  $m$  – количество часов в сутки, в которые  $Q_{\text{НОМ}} < Q_i^{\text{потр}}$ .

Зависимость  $Q_{\text{НОМ}} / Q_{\text{НОМ}}^{\text{max}}$  от  $\eta_a$  (рис. 2) для суточного графика тепловой нагрузки потребителя с коэффициентом заполнения  $K_{\text{зап}} = 0,6$  (рис. 1), рассчитанная в соответствии с (5), позволяет сделать вывод о высокой эффективности применения аккумуляторов тепла, особенно при низких значениях коэффициента заполнения графиков нагрузки.

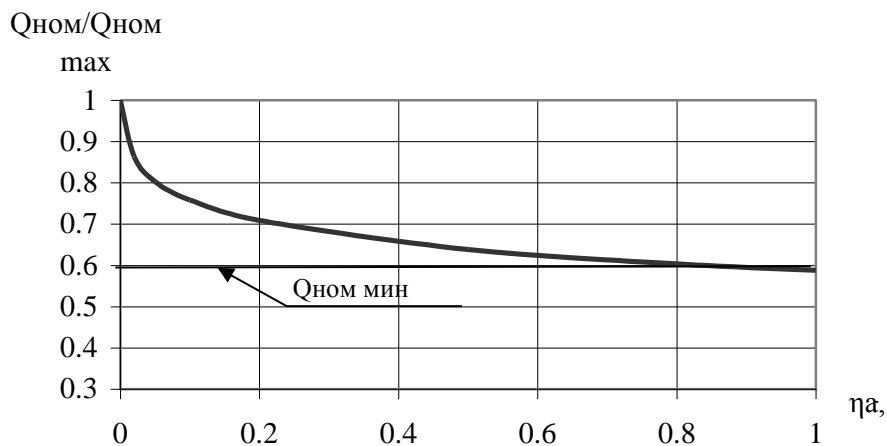


Рисунок 2 – Зависимость номинальной мощности когенерационной установки от эффективности аккумуляции тепла

Зависимость  $Q_{\text{НОМ}}^{\text{мин}} / Q_{\text{НОМ}}^{\text{max}}$  от  $E_a / E_a^{\text{max}}$  (рис. 3) для суточного графика тепловой нагрузки (рис. 1), рассчитанная в соответствии с (7), показывает, что использование теплового аккумулятора даже небольшой емкости позволяет значительно снизить  $Q_{\text{НОМ}}$ .

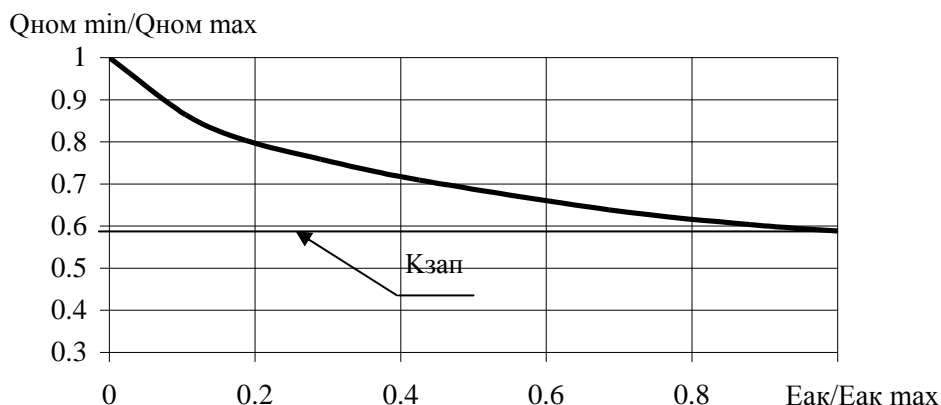


Рисунок 3 – Зависимость номинальной мощности когенерационной установки от емкости аккумулятора тепла

*Режим 2.2.* Электрическая нагрузка потребителя соизмерима с генерируемой электрической мощностью когенерационной установки на тепловом потреблении.

$$N_i^{\text{потр}} \approx N_i^{\text{ген}}, Q_i^{\text{ут}} = Q_i^{\text{потр}}, i = \overline{0, 23}.$$

При таком режиме, если  $N_i^{\text{потр}} < N_i^{\text{ген}}$ , то излишек электроэнергии продается в сеть, в противном случае ( $N_i^{\text{потр}} > N_i^{\text{ген}}$ ), для покрытия пиковых электрических нагрузок, электроэнергия покупается из сети.

Номинальная электрическая мощность установки определяется по пиковой тепловой нагрузке суточного графика нагрузки потребителя:  $N_{\text{ном}} = N(Q_{i \text{ max}}^{\text{потр}})$ .

Если не существует ограничений по продаже или покупке электроэнергии из сети, то применение аккумулирования тепла позволит снизить номинальную мощность установки согласно выражениям, приведенным для *режима 2.1*. При наличии ограничений согласование графиков тепловой и электрической нагрузок выполняется по методике, изложенной в [4].

*Режим 2.3.* Электрическая нагрузка потребителя больше генерируемой электрической мощности когенерационной установки на тепловом потреблении.

$$N_i^{\text{потр}} > N_i^{\text{ген}}, Q_i^{\text{ут}} = Q_i^{\text{потр}}, i = \overline{0, 23}.$$

Дефицит электрической мощности  $\Delta N_i = N_i^{\text{потр}} - N_i^{\text{ген}}$  покрывается за счет покупки электроэнергии из сети. Использование аккумулирования тепла позволит снизить номинальную мощность установки, однако данный режим неэффективен, т.к. предполагает выработку значительной части электроэнергии при отдельной генерации.

Таким образом, предложена методика определения номинальных параметров систем когенерации, использующих аккумуляторы тепла для согласования графиков тепло-

вой и электрической нагрузок объекта энергоснабжения, определены режимы, обеспечивающие наивысшую эффективность применения аккумулирования тепла при эксплуатации установок когенерации, на математической модели исследована зависимость номинальных параметров систем когенерации от режимов аккумулирования тепла.

#### Литература

1. Кузнецов С.В. Опыт применения поршневых двигателей для комбинированной выработки электрической и тепловой энергии // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – № 3. – С. 27-31.
2. Бекман Г. Тепловое аккумулирование энергии / Бекман Г., Гилли П., перевод с английского, – М.: Мир, 1987. – 275 с.
3. Б.Н. Николаев. Электрическая часть электростанций и подстанций, – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 640 с.
4. Баласанян Г.А. Согласование графиков тепловой и электрической нагрузок для систем когенерации малой мощности / Баласанян Г.А., Мазуренко А.С. // Пром. теплотехника. – 2005. – № 3. – С. 71-76.

УДК 621.311.22

Баласанян Г.А., Мазуренко А.С.

#### **ВИКОРИСТАННЯ АКУМУЛЮВАННЯ ТЕПЛА ПРИ УЗГОДЖЕННІ ГРАФІКІВ ТЕПЛООВОГО І ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК**

Пропоновано методику визначення номінальних параметрів систем когенерации, які використовують акумулятори тепла для узгодження графіків теплового і електричного навантаження об'єкта енергозабезпечення. Визначені режими, які забезпечують найвищу ефективність використання акумулювання тепла при експлуатації установок когенерации.