

УДК 621.577

Г. А. БАЛАСАНЯН, д-р техн. наук, проф.; проф. ОНПУ, Одесса;
А. А. КЛИМЧУК, канд. техн. наук, доц.; доц. ОНПУ, Одесса;
М. Б. МИНЯЙЛО, директор по финансовым и экономическим вопросам
ГП «Одесская железная дорога»

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ПРЕРЫВИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

Рассмотрены вопросы комплексного подхода снижения энергопотребления в системах теплоснабжения зданий. Предложены режимы прерывистого отопления в общественных зданиях. Представлена схема комбинированного теплоснабжения с использованием теплового насоса и газового котла. Проведено моделирование режимов работы системы теплоснабжения здания с использованием тепловых насосов и прерывистого отопления. Предложены рекомендации по использованию традиционных и возобновляемых источников тепла в комбинированной системе теплоснабжения. Показана экономия от применения режима прерывистого отопления для общественных помещений.

Ключевые слова: тепловые насосы, комбинированные системы теплоснабжения, прерывистое отопление.

Введение. Мероприятия по экономии энергоресурсов должны иметь комплексный подход [1]. Задача об использовании возобновляемых источников тепла в комбинированных системах теплоснабжения (КСТ) должна решаться совместно с вопросами тепловых режимов зданий. При этом обязательным условием является согласование режимов работы источника тепла и системы отопления здания.

Комбинированные системы теплоснабжения, сочетающие традиционные и возобновляемые источники тепла (тепловые насосы, гелиосистемы и др.), находят все большее применение при проектировании и модернизации систем отопления зданий. Использование КСТ позволяет, в первую очередь, значительно снизить потребление природного газа при пиковых отопительных нагрузках и полностью заменить его альтернативным теплом в демисезонный период.

Повышение эффективности КСТ является комплексной задачей, решение которой может включать:

- повышение эффективности отдельных элементов системы;
- выбор оптимальной мощности источников тепла;
- оптимизацию параметров тепловой схемы;
- оптимизацию режимов тепловой нагрузки зданий и др.

Для административных, учебных, офисных зданий, использующих КСТ, перспективным способом получения дополнительного экономического эффекта является использование режима прерывистого отопления (программного отпуска тепла).

Поддержание заданных параметров микроклимата в помещении в рабочее время и снижение температуры в нерабочее время, как способ экономии энергоресурсов, применяется достаточно широко [2–4], однако вопрос эффективности режима прерывистого отопления для КСТ изучен недостаточно.

Целью работы является оценка эффективности использования режима прерывистого отопления для КСТ с тепловым насосом для учебного корпуса ОНПУ.

В настоящее время реализуется проект по отключению от централизованного теплоснабжения и перевода корпуса Теплотехнической лаборатории ОНПУ на автономное теплоснабжения на базе воздушно-водяного теплового насоса фирмы *Viessman-Vitocal 350-A*, мощностью 18,5 кВт, и конденсационного настенного котла *Viessman-Vitodens 200-W*, мощностью 105 кВт.

Здание корпуса Теплотехнической лаборатории имеет следующие параметры:

- 4-х этажное строение из красного кирпича постройки 50-х годов;
- толщина стен – 0,6 м, площадь внешних стен – 1500 м², объем здания – 4800 м³, отапливаемая площадь – 1200 м²;
- водотрубная система отопления с индивидуальным тепловым пунктом фирмы Данфосс, регулирование температуры воды с коррекцией по температуре внутреннего воздуха;
- тепловая мощность системы отопления при расчетной температуре наружного воздуха – 70 кВт.

Для исследования представлена схема комбинированной системы теплоснабжения с использованием теплового насоса, газового котла и бака-аккумулятора (рис. 1).

В данной схеме тепловой насос включен последовательно с газовым котлом по ходу движения теплоносителя системы отопления. Для согласования температурных режимов и рабочих давлений в контуре теплового насоса и системы отопления установлен разделительный теплообменный аппарат.

Режимы работы представленной системы зависят от периода суток, а также температуры наружного воздуха. Тепловой насос в данной системе служит базовым источником тепла. Газовый котел необходим для пикового разогрева помещения при низких температурах наружного воздуха.

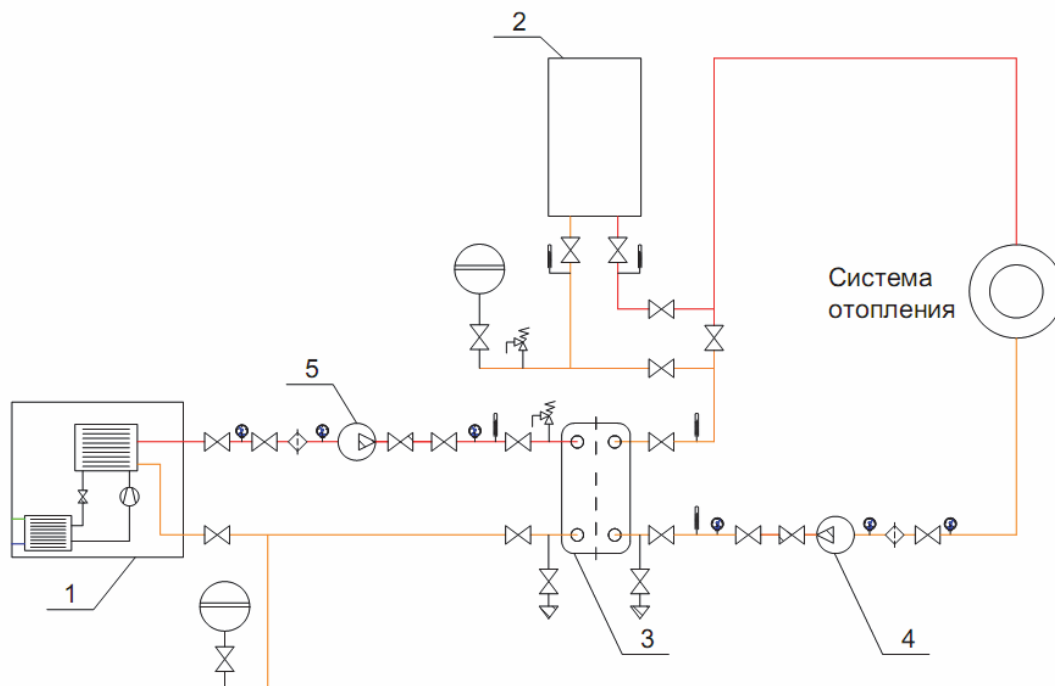


Рис. 1 – Схема комбинированного теплоснабжения с использованием теплового насоса:
1 – тепловой насос; 2 – газовый котёл; 3 – теплообменник; 4, 5 – циркуляционные насосы

Режим программного отпуска тепла рассчитывался для следующих условий:

– температура воздуха в помещении поддерживается на уровне 18 °С в рабочий период с 8.00 до 15.00 (время занятий 1–4-я пары);

– в период натопа и рабочего времени теплоснабжение обеспечивается от газового котла и теплового насоса, в нерабочий период (с 15.00 до начала натопа на следующий день) – теплоснабжение только от теплового насоса;

– режимные параметры котла и теплового насоса определялись по паспортным характеристикам соответствующего оборудования фирмы *Viessman* в переменных режимах.

Расчет динамических свойств здания и системы отопления проводился на основе системы дифференциальных уравнений и соответствующих граничных условий [5].

В качестве инструмента для решения задачи использовался пакет *MS Excel*, что позволило компактно запрограммировать методику расчета и выполнить многомерную оптимизацию с учетом ограничений и граничных условий в системе.

Критерием оптимизации режимов нагрузки КСТ были выбраны суммарные затраты тепла от газового котла и теплового насоса $\sum_{i=0}^{23} Q_i$, обеспечивающие заданный температурный режим здания и приведенные к определенному интервалу времени (суткам).

Выражение для целевой функции задачи оптимизации суточного режима нагрузки КСТ можно записать в виде:

$$\sum_{i=0}^{23} Q_i = \sum_{i=0}^{23} (Q_i^{\text{ГК}} + Q_i^{\text{ТН}}),$$

где i – время суток, ч;

$Q_i^{\text{ГК}}$ – среднечасовая тепловая мощность газового котла, кВт;

$Q_i^{\text{ТН}}$ – среднечасовая тепловая мощность теплового насоса, кВт.

С математической точки зрения задача оптимизации может быть рассмотрена, как задача поиска экстремума функции многих переменных (по 24 переменные — соответствующие среднечасовые тепловые нагрузки $(Q_i^{\text{ГК}}, Q_i^{\text{ТН}} \ i = \overline{0,23})$) с учётом ограничений и граничных условий, которые накладываются на систему и оптимизируемые переменные.

Учитывая характер зависимости между переменными, задача оптимизации относится к классу задач нелинейного программирования и в общем виде может быть записана:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=0}^{23} Q_i = \sum_{i=0}^{23} (Q_i^{\text{ГК}} + Q_i^{\text{ТН}}) \rightarrow \min \\ \left\{ \begin{array}{l} Q_{i\min} \leq Q_i^{\text{ГК}} \leq Q_{i\max} \\ Q_{i\min} \leq Q_i^{\text{ТН}} \leq Q_{i\max} \\ i = \overline{0,23} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Результатом решения задачи оптимизации являются суточные графики тепловых нагрузок газового котла и теплового насоса, обеспечивающие минимум затрат тепла, а также суточный график изменения температуры воздуха в помещении (рис. 2, 3).

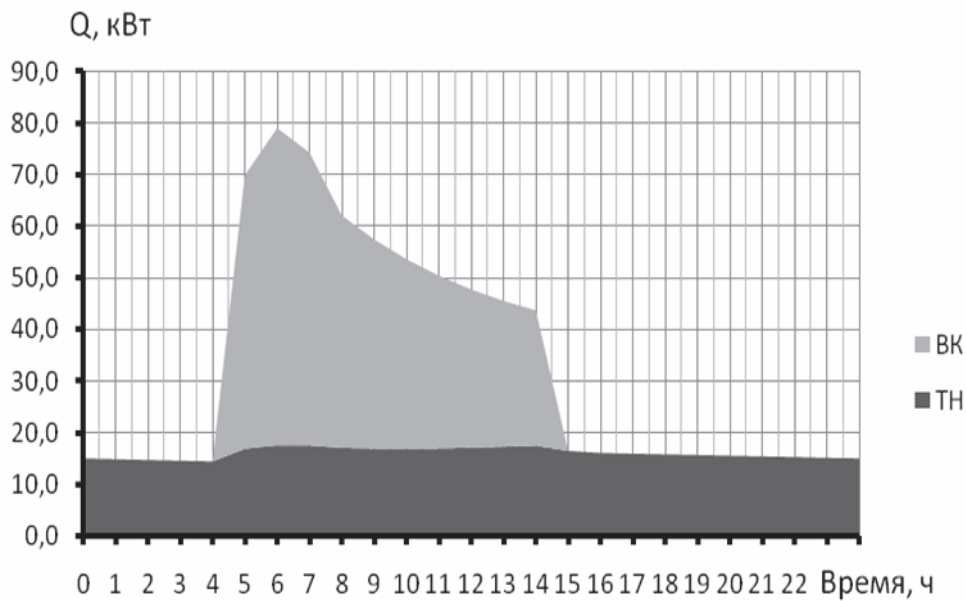


Рис. 2 – График нагрузки системы отопления при постоянной времени аккумулирования $T = 30$ ч и температуры наружного воздуха $t = -5$ °С: ВК – водогрейный газовый котёл; ТН – тепловой насос

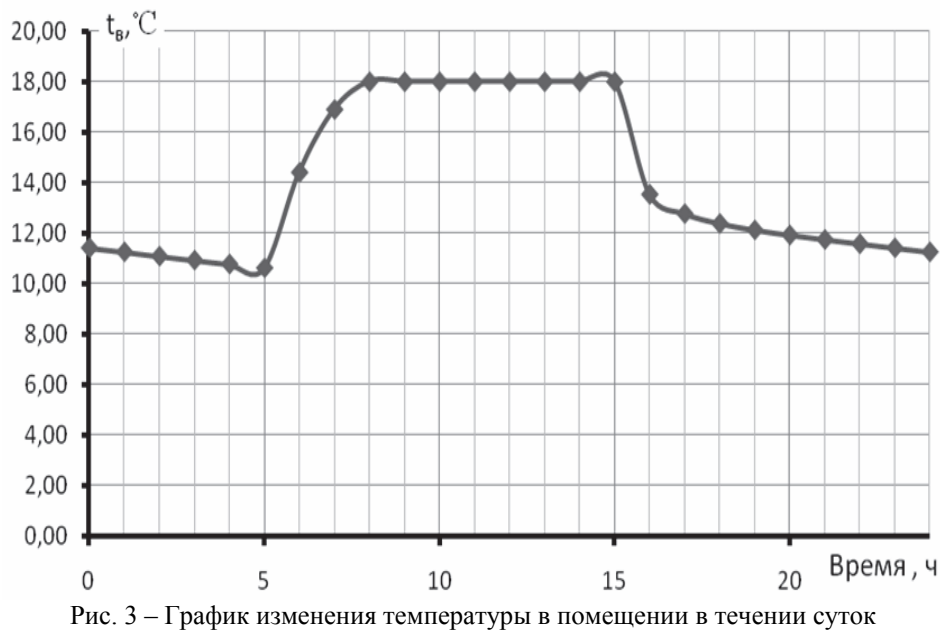


Рис. 3 – График изменения температуры в помещении в течении суток

При расчётах варьировалась температура наружного воздуха в пределах $t_{н} = 5 - (-10)$ °С и постоянная времени аккумулирования здания $T_{в} = 30 - 200$ ч, рассчитанная по методике [6].

Также была рассчитана экономия тепла при использовании режима программного отпуска тепла по сравнению с режимом постоянного отопления для КСТ (рис. 4).

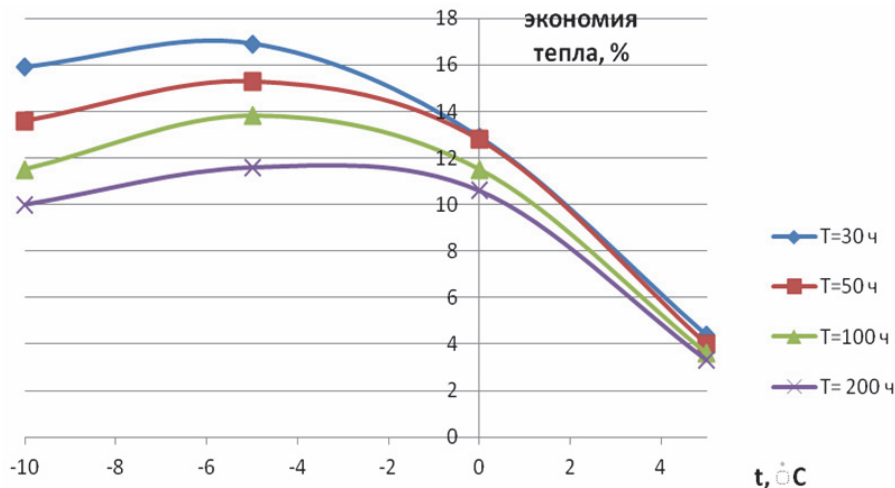


Рис. 4 – Графік залежності економії тепла в КСТ в режимі прерывистого опілення с различными постоянными времени аккумуляирования

Анализ графиков на рис. 4 позволяет оценить пределы ожидаемой экономии тепла при использовании режима прерывистого опілення, а также определяет зависимость снижения затрат тепла от значения постоянной времени аккумуляирования здания $T_{\text{в}}$. Характерным также является наличие экстремума экономии тепла от наружной температуры $t_{\text{н}}$. Наличие экстремума, в отличие от традиционных систем прерывистого опілення, характерно только для КСТ с тепловым насосом, т.к. при понижении температуры наружного воздуха снижается эффективность теплового насоса.

Следует отметить, что эффективность использования теплового насоса при низких температурах наружного воздуха для КСТ в режиме программного отпуска тепла (ПОТ) выше, чем для такой же КСТ в обычном режиме (рис. 5). Это объясняется более высоким значением коэффициента трансформации тепла (COP) теплового насоса в режиме ПОТ, т.к. при отключении газового котла значительно снижается температура теплоносителя в системе опілення и, соответственно, температура в конденсаторе теплового насоса.

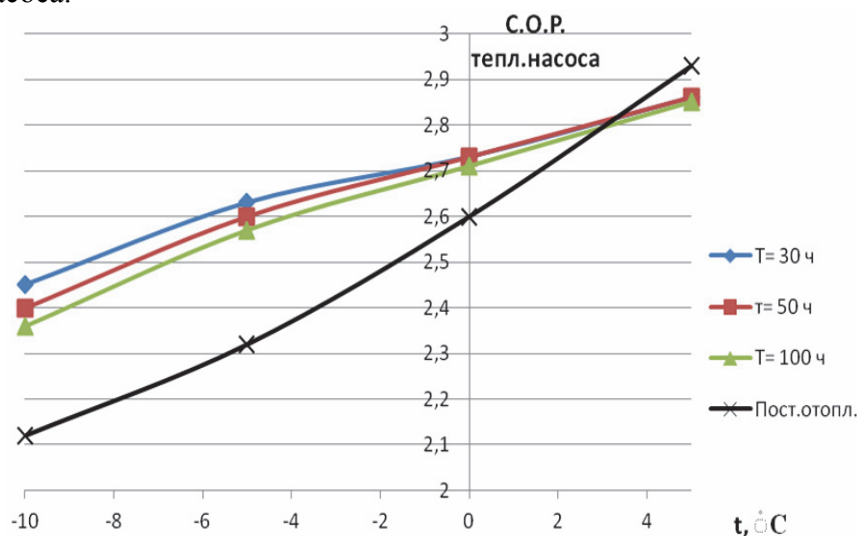


Рис. 5 – Графік залежності коефіцієнта трансформации тепла теплового насоса (COP) от температуры наружного воздуха

Выводы. По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1) Использование режима ПОТ для КСТ с тепловым насосом открывает дополнительные возможности экономии традиционных энергоресурсов в пределах (5–15) % и соответствующего повышения эффективности работы теплового насоса.

2) Применение режима ПОТ более эффективно для зданий с низкой аккумулирующей способностью (стены – современные сэндвич-панели и др.).

3) В период утреннего натопа для КСТ необходимо обеспечить максимально возможную отопительную нагрузку для сокращения времени достижения необходимой температуры воздуха в здании (при проектировании закладывать повышенную мощность системы отопления либо возможна установка дополнительной мощности для существующих систем).

4) В КСТ использовать дополнительные альтернативные источники тепла (тепловые насосы, гелиосистемы и др.) для обеспечения базовой отопительной нагрузки круглосуточно, а традиционные энергоресурсы (газ, электроэнергия и др.) для пиковых режимов (натоп, дневной рабочий период).

Список литературы: 1. Денисова, А. Е. Особенности работы теплового насоса в комплексной альтернативной системе теплоснабжения [Текст] / А. Е. Денисова // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – № 1. – С. 6–8. 2. Богуславский, И. Д. Снижение расходов энергии при работе систем отопления и вентиляции [Текст] / И. Д. Богуславский. – М. : Стройиздат, 1985. – 342 с. 3. Табунщиков, Ю. А. Энергоэффективные здания [Текст] / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с. 4. Кутний, Б. А. Економія енергоресурсів при програмному відпуску теплоти [Текст] / Б. А. Кутний, А. О. Борисюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 3/8(63). 5. Панферов, В. И. Моделирование и управление тепловым режимом здания [Текст] / В. И. Панферов, А. Н. Нагорная, Е. Ю. Пашнина // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции : сб. трудов Межд. научно-техн. конф. – М. : Московский государственный строительный университет, 2005. – 280 с. 6. Соколов, Е. Я. Экспериментальная проверка расчетной модели температурного режима отапливаемых помещений [Текст] / Е. Я. Соколов, А. В. Извеков, Н. Н. Рожков // Изв. вузов. Энергетика. – 1987. – № 8. – С. 75–81.

Bibliography (transliterated): 1. Denisova, A. E. "Osobennosti raboty teplovogo nasosa v kompleksnoj al'ternativnoj sisteme teplosnabzhenija." *Jekotehnologii i resursosberezhenie* 1 (2001): 6–8. Print. 2. Boguslavskij, I. D. *Snizhenie rashodov jenergii pri rabote sistem otopenija i ventiljacii*. Moscow : Strojizdat, 1985. Print. 3. Tabunshhikov, Ju. A., M. M. Brodach and N. V. Shilkin. *Jenergojefektivnye zdanija*. Moscow : AVOK-PRESS, 2003. Print. 4. Kutnyj, B. A., and A. O. Borysjuk. "Ekonomija energoresursiv pry programnomu vidpusku teploty." *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij* 3/8(63) (2013). Print. 5. Panferov, V. I., A. N. Nagornaja and E. Ju. Pashnina. "Modelirovanie i upravlenie teplovym rezhimom zdanija." *Teoreticheskie osnovy teplogazosnabzhenija i ventiljacii : sb. trudov Mezhd. nauchno-tehn. konf.* Moscow : Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet, 2005. Print. 6. Sokolov, E. Ja., A. V. Izvekov and N. N. Rozhkov. "Jeksperimental'naja proverka raschetnoj modeli temperaturnogo rezhima otaplivaemyh pomeshhenij." *Izv. vuzov. Jenergetika* 8 (1987): 75-81. Print.

Поступила (received) 03.02.2015