

4. Lindquist, E. The Quadratic Sieve Factoring Algorithm [Text] / E. Lindquist // Math 488: Cryptographic Algorithms, Dicembre. – 2001.
5. Song, Y. Quadratic Sieve [Text] / Y. Song // Primality Testing and Integer Factorization in Public-Key Cryptography. – New York: Springer, 2009. – P. 234–239.
6. Diffie, W. New directions in cryptography [Text] / W. Diffie, M. Hellman // IEEE Transactions on Information Theory. – 1976. – Vol. 22, Issue 6. – P. 644–654. doi: 10.1109/tit.1976.1055638
7. Шенхаге, А. Быстрое умножение больших чисел [Текст] / А. Шенхаге, В. Штрассен // Кибернетический сборник. – 1973. – № 2. – С. 87–98.
8. Pomerance, C. Analysis and comparison of some integer factoring algorithms [Text] / C. Pomerance // Mathematisch Centrum Computational Methods in Number Theory. P. 1. – 1982. – P. 89–139.
9. Pomerance, C. Smooth numbers and the quadratic sieve [Text] / C. Pomerance // Proc. of an MSRI workshop. – 2008. – P. 69–81.
10. Crandall, R. Smooth numbers and the quadratic sieve [Text] / R. Crandall, C. Pomerance // Prime Numbers A Computational Perspective. – New York: Springer, 2005. – P. 261–315.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Винничук С. Д.
Дата надходження рукопису 20.10.2017*

Місько Віталій Миколайович, аспірант, Відділ автоматизації проектування енергетичних установок, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України, вул. Генерала Наумова, 15, м. Київ, Україна, 03164
E-mail: vitalii.misko@gmail.com

УДК 621.316:629.4.048.7

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.118277

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТОПЛЕНИЯ С НОЧНЫМ АККУМУЛИРОВАНИЕМ ТЕПЛОТЫ

© А. М. Андрущенко, В. Р. Никульшин, А. Е. Денисова

Предложен метод и разработана программа для расчета систем электроотопления с ночной аккумуляцией теплоты, а также для определения ежемесячного теплопотребления здания с расчетом стоимости отопления при использовании других энергетических ресурсов (централизованное теплоснабжение, газовое отопление, пеллетное отопление). Показано, что стоимость электрического отопления с ночной аккумуляцией теплоты в 2 раза ниже стоимости централизованного отопления

Ключевые слова: энергосбережение, электроотопление, ночная аккумуляция теплоты, затраты на разные виды энергетических ресурсов

1. Введение

Резкое и неравномерное удорожание стоимости различных видов энергоресурсов, используемых для отопления, побуждает к поиску альтернативных экономичных решений. Снизить затраты на отопление можно за счет снижения потерь теплоты ограждающими конструкциями зданий в результате их термомодернизации [1], а также за счет перехода на использование альтернативных энергетических ресурсов. Среди альтернативных вариантов, в первую очередь для крупных городов, в последние годы рассматриваются электрическое отопление с ночным аккумулярованием теплоты и электрический подогрев теплоносителя в ночное время в системах централизованного теплоснабжения. В обоих случаях будет достигаться эффект выравнивания суточного графика электрической нагрузки [2], объединённой энергосистемы Украины [3], что благоприятно скажется на её работе за счёт более полной загрузки украинских АЭС, вырабатывающих электроэнергию по самой низкой стоимости по сравнению с другими видами генерации. Ещё одним положительным аспектом применения электроотопления при условии его до-

статочного распространения, является экономия природного газа.

Был рассмотрен наиболее простой вариант электроотопления – использование ТЭНов, а не тепловых насосов. Тепловые насосы, как известно, позволили бы примерно в три раза уменьшить затраты электроэнергии на отопление, но при этом потребовали бы многотысячных долларовых вложений со сроком окупаемости от 3 лет и более, что в нынешней экономической ситуации для Украины мало приемлемо.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Проблема поиска эффективных решений для различных систем отопления является актуальной на протяжении последних десятилетий и будет оставаться таковой в ближайшем обозримом будущем. Число публикаций этой тематике исчисляется десятками тысяч. Так, поисковый запрос «Google» «электрокотлы с аккумуляторами теплоты» дает около 50000 тысяч ссылок. Поэтому кратко остановимся только на некоторых из них.

Значительная часть публикаций посвящена системам централизованного отопления (как от ТЭЦ, так и от котельных). К наиболее интересным могут быть отнесены последние публикации, посвященные современным тенденциям развития таких систем в Швеции [4], перспективам централизованного отопления в Дании [5], влиянию изменения цены электроэнергии на работу теплоэлектроцентрали [6]. Вопросы оптимального развития существующих систем отопления рассмотрены в [7]. Экономически обоснованные тарифы для отопления приведены в [8], динамика изменения этих тарифов оценена в [9]. К современным тенденциям может быть отнесена часть публикаций, учитывающая термические особенности отапливаемых зданий [10].

Задачи оптимизации «запрос-потребление» рассмотрены в [11], «влияния рыночной стоимости электричества» – в [12], «энергетической эффективности» – в [13]. Особый интерес для рассматриваемой работы представляют публикации, в том числе и отечественные, в которых рассмотрены вопросы электроотопления с аккумуляцией теплоты.

В [14] оценено влияние теплоаккумулирования на эффективность системы теплоснабжения, в [15] рассмотрены системы электронной поддержки таких объектов, в [16] проведены поиски рациональных комбинаций систем электроотопления с возобновляемыми источниками энергии, в [17] – оценены возможности рациональной компоновки теплоаккумуляторов с системами электроотопления, в [18] – показаны возможности учета потребности горячего водоснабжения в системах электроотопления, в [19] – оценены влияние рыночных факторов на эффективность систем электроотопления, в [20] – показаны возможности эффективно использования теплоаккумуляторов как для электроотопления, так и горячего водоснабжения.

В отличие от них в настоящей работе акцент сделан не на теоретическое описание расчета самих систем отопления, а на практические результаты таких расчетов.

Отсюда возникает следующая проблема – определение необходимой отопительной нагрузки здания (вне зависимости от конкретного вида используемой внутридомовой системы отопления), сравнение на этой основе различных возможных вариантов подвода теплоты к зданию и выбора наиболее экономичного из них.

3. Цель и задачи исследования

Цель исследования – обоснование энергосберегающего характера системы электрического отопления с ночным аккумуляцией теплоты по сравнению с другими возможными вариантами отопления.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи:

- разработать метод и программу расчета для определения основных технических характеристик (полезный объем бака-аккумулятора горячей воды и мощность электронагревателя) электросистемы отопления с аккумуляцией теплоты и учетом электроэнергии по трехзонному тарифу;

- сравнить стоимости централизованного теплоснабжения с газовым отоплением, с круглосуточ-

ным электрическим отоплением при учете электроэнергии по однозонному тарифу, а также с пеллетным отоплением;

- привести численный пример расчета и сравнительный анализ затрат на отопление офисного здания, расположенного в Киеве (по реальным погодным условиям в этом городе) и показать преимущества системы отопления с ночным теплоаккумулированием.

4. Материалы и методы исследования системы электроотопления

4.1. Краткое описание системы электроотопления с аккумулятором теплоты

Зарядка теплового аккумулятора [21] (рис. 1) производится при включении электродвигателя и циркуляционного насоса зарядного контура, преимущественно в ночное время. Подача теплоносителя к отопительным приборам здания обеспечивается циркуляционным насосом расходного контура непрерывно в течение всего отопительного сезона. Схемой предусмотрено погодное регулирование температуры теплоносителя, подаваемого к отопительным приборам за счёт подмешивания части возвратного теплоносителя с помощью трёхходового электроклапана. Тем самым обеспечивается энергосберегающий режим работы и требуемая отопительная нагрузка системы в зависимости от температуры наружного воздуха.

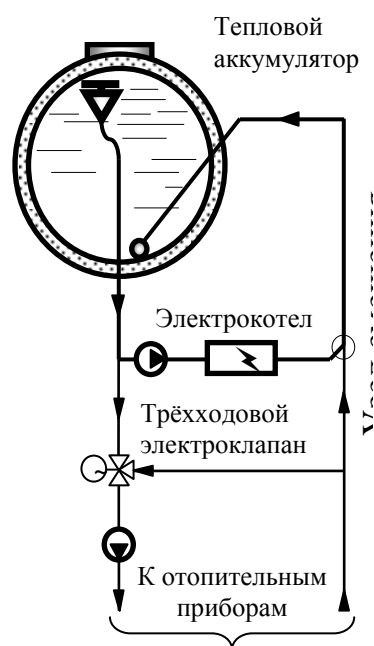


Рис. 1. Принципиальная схема системы электрического отопления с водяным тепловым аккумулятором

4.2. Метод расчёта

В расчёте приняты следующие допущения:

- тепловой аккумулятор и электродвигатель расположены непосредственно в отапливаемом здании, поэтому не учитываются потери теплоты через тепловою изоляцию аккумулятора и через поверхность электродвигателя;

- эффективность электродвигателя принята равной 100 %;

– зависимость отопительной нагрузки здания от температуры наружного воздуха имеет линейный характер: наружной температуре +18 °С соответствует нулевая отопительная нагрузка, минимальной расчетной температуре наружного воздуха в соответствии со статистическими климатическими данными [22] соответствует 100 %-ная отопительная нагрузка здания; отопление работает только при температурах наружного воздуха ниже +8 °С;

– предполагается, что всех вариантах использования различных энергоресурсов система работает в режиме адекватного погодного регулирования;

– полезная разность температур теплоносителя в полностью заряженном тепловом аккумуляторе и полностью разряженном его состоянии принята равной 35 К;

– расчёт текущего значения температуры теплоносителя в объёме теплового аккумулятора при работе системы выполняется по модели идеального перемешивания, без учёта температурной стратификации;

– тарифы и цены различных энергоресурсов приняты в соответствии с [22–24] по состоянию на ноябрь 2017 г.

Методикой расчёта учитывается возможность включения электродкотла в дневное время, в полупиковый период нагрузки энергосистемы, при температурах наружного воздуха ниже задаваемой температуры исключительно ночного электропотребления $t^{\text{ноч}}$, при этом также предусматривается включение электродкотла на неполную мощность.

При линейной зависимости между температурой наружного воздуха и отопительной нагрузкой здания, доля полной отопительной нагрузки здания в зависимости от температуры наружного воздуха, составит:

$$q/q^{\text{расч}} = \varphi^q = (t_{\text{вн}}^{\text{расч}} - t) / (t_{\text{вн}}^{\text{расч}} - t^{\text{расч}}), \quad (1)$$

где q – удельная отопительная нагрузка здания, Вт/м², при текущем значении температуры наружного воздуха t , °С; $q^{\text{расч}}$ – удельная максимальная расчётная отопительная нагрузка здания, Вт/м², при нормативной минимальной расчетной температуре наружного воздуха $t^{\text{расч}}$, °С; t – текущая температура наружного воздуха, °С; $t_{\text{вн}}^{\text{расч}} = +18$ °С – расчетная температура воздуха, при которой отопительная нагрузка равна нулю; $t^{\text{расч}}$ – нормативная минимальная расчетная температура наружного воздуха, для Киева $t^{\text{расч}} = -22$ °С.

Удельные нормативные потери теплоты зданием за отопительный сезон представляют собой сумму помесечных потерь теплоты в течение отопительного сезона:

$$q_{\text{год}}^{\text{норм}} = q_{\text{окт}} + q_{\text{ноя}} + q_{\text{дек}} + q_{\text{янв}} + q_{\text{февр}} + q_{\text{март}} + q_{\text{апр}}, \quad \text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2, \quad (2)$$

где $q_{\text{окт}} \dots q_{\text{апр}}$ – помесечные удельные потери теплоты, кВт·ч/м², которые с учётом (1) можно выразить в виде:

$$q_{\text{окт}} = \varphi_{\text{окт}}^q \cdot q^{\text{расч}} \cdot \tau_{\text{окт}} = (18 - t_{\text{окт}}) \cdot q^{\text{расч}} \cdot \tau_{\text{окт}} / (18 - t^{\text{расч}}),$$

$$q_{\text{апр}} = \varphi_{\text{апр}}^q \cdot q^{\text{расч}} \cdot \tau_{\text{апр}} = (18 - t_{\text{апр}}) \cdot q^{\text{расч}} \cdot \tau_{\text{апр}} / (18 - t^{\text{расч}}),$$

где $\varphi_{\text{окт}}^q \dots \varphi_{\text{апр}}^q$ – доли полной отопительной нагрузки при среднемесячных температурах наружного воздуха соответствующего месяца отопительного периода; $\tau_{\text{окт}} \dots \tau_{\text{апр}}$ – число часов в соответствующем месяце отопительного периода, ч; $q^{\text{расч}}$ – удельные потери теплоты зданием, кВт/м², при нормативной минимальной расчетной температуре наружного воздуха $t^{\text{расч}}$, °С; $t_{\text{окт}} \dots t_{\text{апр}}$ – среднемесячные температуры воздуха в соответствующем месяце, °С. Тогда:

$$q_{\text{год}}^{\text{норм}} = q^{\text{расч}} \cdot [\tau_{\text{окт}} \cdot (18 - t_{\text{окт}}) + \tau_{\text{ноя}} \cdot (18 - t_{\text{ноя}}) + \tau_{\text{дек}} \cdot (18 - t_{\text{дек}}) + \tau_{\text{янв}} \cdot (18 - t_{\text{янв}}) + \tau_{\text{февр}} \cdot (18 - t_{\text{февр}}) + \tau_{\text{март}} \cdot (18 - t_{\text{март}}) + \tau_{\text{апр}} \cdot (18 - t_{\text{апр}})] / (18 - t^{\text{расч}}), \quad \text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2.$$

Следовательно, максимальные расчётные удельные потери теплоты зданием, кВт/м², при нормативной минимальной расчетной температуре наружного воздуха, равны:

$$q^{\text{расч}} = (18 - t^{\text{расч}}) \cdot q_{\text{год}}^{\text{норм}} / [\tau_{\text{окт}} \cdot (18 - t_{\text{окт}}) + \tau_{\text{ноя}} \cdot (18 - t_{\text{ноя}}) + \tau_{\text{дек}} \cdot (18 - t_{\text{дек}}) + \tau_{\text{янв}} \cdot (18 - t_{\text{янв}}) + \tau_{\text{февр}} \cdot (18 - t_{\text{февр}}) + \tau_{\text{март}} \cdot (18 - t_{\text{март}}) + \tau_{\text{апр}} \cdot (18 - t_{\text{апр}})], \quad \text{кВт} / \text{м}^2.$$

Максимальная расчётная отопительная нагрузка здания при нормативной минимальной расчетной температуре наружного воздуха $t^{\text{расч}}$ соответствует значению $\varphi^q = 1$ и равна:

$$\Phi^{\text{расч}} = A \cdot q^{\text{расч}}, \quad \text{кВт}, \quad (3)$$

где A – суммарная отапливаемая площадь здания, м².

Суточное потребление теплоты зданием при нормативной минимальной расчетной температуре наружного воздуха $t^{\text{расч}}$:

$$Q^{\text{расч}} = 24 \cdot \Phi^{\text{расч}}, \quad \text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{сут}. \quad (4)$$

При минимальной расчетной температуре исключительно ночного электропотребления $t^{\text{ноч}}$, °С, отопительная нагрузка $\Phi^{\text{ноч}}$ и суточное потребление теплоты зданием $Q^{\text{ноч}}$ составят:

$$\Phi^{\text{ноч}} = \Phi^{\text{расч}} \cdot \varphi^{\text{ноч}} = \Phi^{\text{расч}} \cdot (t_{\text{вн}}^{\text{расч}} - t^{\text{ноч}}) / (t_{\text{вн}}^{\text{расч}} - t^{\text{расч}}), \quad \text{кВт}; \quad (5)$$

$$Q^{\text{ноч}} = 24 \cdot \Phi^{\text{ноч}}, \quad \text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{сут}. \quad (6)$$

За время льготного ночного электропотребления (в течение 7 ч) при температуре $t^{\text{ноч}}$ необходимо произвести полную зарядку водяного теплового аккумулятора одновременно с подачей теплоты на отопление здания. При этом запас теплоты, накопленной в тепловом аккумуляторе, должен обеспечить отопление здания на протяжении дневного периода продолжительностью 17 ч.

Следовательно, полное количество теплоты в тепловом аккумуляторе составит:

$$Q^{\text{акк}} = 17 \cdot \Phi^{\text{ноч}}, \quad \text{кВт} \cdot \text{ч}. \quad (7)$$

Поскольку тепловой аккумулятор должен зарядиться в течение 7 часов одновременно с подачей теплоты на отопление здания, электрическая мощ-

ность котла составит:

$$N = \Phi^{\text{ноч}} + Q^{\text{акк}} / 7, \text{ кВт.} \quad (8)$$

Полезный объем теплового аккумулятора:

$$V^{\text{акк}} = Q^{\text{акк}} * 3600 / (c_p * \rho * \Delta T^{\text{акк}}), \text{ м}^3, \quad (9)$$

где $c_p = 4,19 \text{ кДж/(кг*К)}$ – удельная изобарная теплоемкость воды; $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды; $\Delta T^{\text{акк}} = 35 \text{ К}$ – полезная разность температур воды в тепловом аккумуляторе.

Расчетная продолжительность работы электрического котла в течение суток в дневное время при нормативной минимальной расчетной температуре наружного воздуха:

$$\tau^{\text{дн}} = (Q^{\text{расч}} - Q^{\text{ноч}}) / N, \text{ ч} \quad (10)$$

по результатам расчетов должна получаться меньше, чем продолжительность полупикового периода для исключения работы электродкотла в пиковый дневной период с наиболее дорогим тарифом.

На базе выражений (1)–(10) подготовлена программа в MS Excel для вариантных сравнительных расчетов систем электрического отопления с тепловым аккумулятором. Ниже приведен пример расчета такой системы отопления офисного здания, располо-

женного в Киеве.

5. Результаты сравнительного расчета систем отопления и их обсуждение

Исходные данные и результаты расчета приведены в табл. 1. для офисного здания площадью 1000 м^2 с максимальной удельной расчетной отопительной нагрузкой $q^{\text{расч}} = 40 \text{ Вт/м}^2$, что соответствует хорошо утепленному зданию. Расчетная суммарная мощность ТЭНов электродкотла составляет (при работе преимущественно ночью) 102, 9кВт, при полезном объеме теплового аккумулятора $12,5 \text{ м}^3$, тогда как расчетная мощность электродкотла, при круглосуточной работе без теплового аккумулятора, равна 40 кВт. Расчет выполнен для случая, когда при температуре наружного воздуха ниже $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ будет происходить включение электродкотла на 50 %-ной мощности для догрева теплоносителя в дневное время. При минимальной расчетной температуре продолжительность дневного включения электродкотла не превысит 5 часов.

В табл. 2 представлены результаты расчетов месячных затрат на отопление здания при использовании различных энергоносителей и форм оплаты.

В табл. 3 и на рис. 2 показаны результаты расчетов суммарных сезонных затрат на отопление здания при использовании различных энергоносителей.

Таблица 1

Исходные данные и технологические результаты расчета

Суммарная отапливаемая площадь здания, м^2	1000
Максимальная удельная отопительная нагрузка здания, Вт/м^2	40
Нормативные максимальные сезонные теплотери здания по ДБН В2.6-31:2016, кВт*ч/м^2	83
Минимальная наружная температура исключительно ночного электропотребления (при более низких температурах происходит дневное включение электродкотла), $^\circ\text{C}$	-12
Доля электрической мощности при дневном включении электродкотла, %	50
Расчетная суммарная мощность ТЭНов электродкотла, кВт	102,9
Расчетная мощность ТЭНов электродкотла при круглосуточной работе без теплового аккумуляирования, кВт	40,0
Полезная разность температур воды в тепловом аккумуляторе, К	35,0
Полезная расчетная вместимость теплового аккумулятора, м^3	12,52
Базовый тариф электроэнергии без НДС, коп/(кВт*ч)	163,545
Стоимость потребляемой теплоты при централизованном теплоснабжении, грн./Гкал	1286,07
Стоимость централизованного теплоснабжения при оплате за единицу отапливаемой площади, грн./(м^2 *мес.)	30
Стоимость природного газа для промышленной котельной, грн./тыс. м^3	9692,4
Стоимость природного газа в составе потребляемой теплоты при централизованном теплоснабжении, с учетом КПД газового котла, грн./Гкал	1156,6
Стоимость пеллет, грн./т	2410
Теплотворная способность пеллет, МДж/кг	18,0
Стоимость пеллетной теплоты с учетом КПД пеллетного котла, грн./Гкал	700,7
Стоимость теплоты при круглосуточном электроотоплении без теплового аккумулятора, грн./Гкал	2282,4

Таблица 2

Помесячные затраты на отопление при использовании различных энергоносителей

Месяц	окт	ноябрь	дек	январь	февр	март	апр
Средняя температура, град. С	7,50	1,20	-3,50	-5,90	-5,20	-0,40	7,50
Потребленная теплота, Гкал в месяц	3,84	10,40	13,75	15,29	13,41	11,77	3,71
Потребленная теплота, кВт*ч в месяц	4464	12096	15996	17782	15590	13690	4320
Стоимость потребленной электроэнергии, тыс. грн. в месяц	2,19	5,93	7,85	8,72	7,65	6,72	2,12
Стоимость потребленной электроэнергии при круглосуточном электроотоплении без теплового аккумулятора, тыс. грн. в месяц	8,76	23,74	31,39	34,90	30,60	26,87	8,48
Стоимость централизованного теплоснабжения при оплате за отпущенную теплоту, тыс. грн. в месяц	4,94	13,38	17,69	19,66	17,24	15,14	4,78
Стоимость централизованного теплоснабжения при оплате за отапливаемую площадь, тыс. грн. в месяц	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Стоимость эквивалентного газа, расходуемого на отопление, тыс. грн. в месяц	4,44	12,03	15,91	17,68	15,50	13,61	4,30
Стоимость пеллетного отопления, тыс. грн. в месяц	2,69	7,29	9,64	10,71	9,39	8,25	2,60

Таблица 3

Сезонные затраты на отопление при использовании различных энергоресурсов

Потребленная теплота за сезон, Гкал	72,2
Потребленная теплота за сезон, МВт*ч	83,9
Нормативные максимальные сезонные теплотери здания по ДБН В2.6-31:2016, не более, МВт*ч	83,0
Стоимость потребленной электроэнергии за отопительный сезон при наличии адекватного погодного регулирования, тыс. грн.	41,2
Стоимость потребленной электроэнергии за отопительный сезон при круглосуточном электроотоплении без теплового аккумулятора, но при наличии адекватного погодного регулирования, тыс. грн.	164,7
Стоимость централизованного теплоснабжения за отопительный сезон при тарифе за отпущенную теплоту при наличии адекватного погодного регулирования, тыс. грн.	92,8
Стоимость централизованного теплоснабжения за отопительный сезон при тарифе за отапливаемую площадь, тыс. грн.	210,0
Общий объем потребленного за отопительный сезон газа, при наличии адекватного погодного регулирования, тыс. м ³	8,6
Стоимость потребленного за сезон на отопление природного газа, тыс. грн.	83,5
Стоимость пеллетного отопления при наличии адекватного погодного регулирования, тыс. грн.	50,6

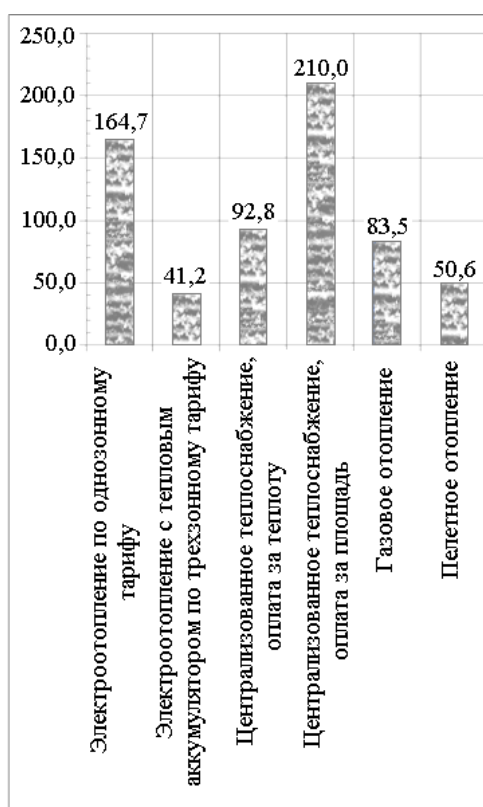


Рис. 2. Сезонные затраты на отопление при использовании различных энергоресурсов, тыс. грн.

По расчёту, суммарное потребление теплоты зданием в течение отопительного сезона составляет 83,9 МВт*ч, что практически соответствует нормативному уровню 83,0 МВт*ч, следовательно, принятое в расчёте значение максимальной удельной отопительной нагрузки 40 Вт/м² также соответствует нормативным тепловым потерям здания.

Наименьшие сезонные расходы на отопление в сумме 41,2 тыс. грн. обеспечиваются при использовании электрического отопления с ночным аккумулярованием теплоты и с использованием трёхзонного учёта потребляемой электроэнергии. Несколько большие расходы 50,6 тыс. грн. соответствуют отоплению пеллетами, однако если учесть сопутствующие факторы, связанные с необходимостью периодической доставки, хранением пеллет и удалением отходов, то

электроотопление выглядит гораздо более предпочтительным. При использовании газового котла, сезонные расходы составят 83,5 тыс. грн., что вдвое больше, чем при электроотоплении с ночным аккумулярованием теплоты. В случае использования централизованного теплоснабжения, оплата его услуг в объёме 92,8 тыс. грн. за отопительный сезон не намного превышает расходы на газовое отопление. Наибольшие сезонные расходы на отопление в сумме 210,9 тыс. грн. возникают в случае ежемесячной оплаты услуг централизованного теплоснабжения по тарифу 30 грн. за каждый квадратный метр отапливаемой площади в течение отопительного сезона, т. е. при отсутствии зарегистрированного теплосчётчика.

Если использовать электроотопление без теплового аккумулярования, то при условии адекватного погодного регулирования, сезонные расходы составят 164,7 тыс. грн., что меньше чем при централизованном теплоснабжении с оплатой услуг по тарифу за отапливаемую площадь.

6. Выводы

1. Приведен метод и программа расчета систем электроотопления с ночным аккумулярованием теплоты. Метод учитывает на действующие стандарты Украины и позволяет определять основные технические характеристики системы с учетом возможности включения электродвигателя на половину расчетной мощности в дневное время.

2. Предложенный метод и разработанная программа позволяют определять ежемесячное потребление теплоты зданиями и рассчитывать стоимости отопления при использовании различных видов энергетических ресурсов, а также позволяют сравнивать затраты на централизованное теплоснабжение с оплатой за потребленное количество теплоты и при оплате за отапливаемую площадь.

3. Приведен численный пример для реальных погодных условий Киева показал экономические преимущества использования электроотопления с ночным аккумулярованием теплоты. По украинским тарифам на ноябрь 2017 г. стоимость электроотопления с ночным аккумулярованием теплоты в два раза ниже, чем для централизованного теплоснабжения оплатой за потребленную теплоту.

Литература

1. Робакевич, М. Термомодернизация жилого дома [Текст] / М. Робакевич, А. Панек. – К., 2015. – 40 с.
2. Лазуренко, А. П. Определение потенциального экономического эффекта от выравнивания графика электрической нагрузки ОЭС Украины [Текст] / А. П. Лазуренко, Г. И. Черкашина // Світлотехніка та електроенергетика. – 2009. – № 1 (17). – С. 4–12.
3. Маляренко, В. А. Потребители-регуляторы как эффективное направление регулирования графика нагрузки электрических сетей [Текст] / В. А. Маляренко, И. Д. Колотило, И. Е. Щербак // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2014. – № 1. – С. 3–14.
4. Schweiger, G. The potential of power-to-heat in Swedish district heating systems [Text] / G. Schweiger, J. Rantzer, K. Ericsson, P. Lauenburg // Energy. – 2017. – Vol. 137. – P. 661–669. doi: 10.1016/j.energy.2017.02.075
5. Munster, M. The role of district heating in the future Danish energy system [Text] / M. Munster, P. E. Morthorst, H. V. Larsen, L. Bregnbak, J. Werling, H. H. Lindboe, H. Ravn // Energy. – 2012. – Vol. 48, Issue 1. – P. 47–55. doi: 10.1016/j.energy.2012.06.011
6. Romanchenko, D. Impact of electricity price fluctuations on the operation of district heating systems: A case study of district heating in Goteborg, Sweden [Text] / D. Romanchenko, M. Odenberger, L. Goransson, F. Johnsson // Applied Energy. – 2017. – Vol. 204. – P. 16–30. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.06.092
7. Delangle, A. Modelling and optimising the marginal expansion of an existing district heating network [Text] / A. Delangle, R. S. C. Lambert, N. Shah, S. Acha, C. N. Markides // Energy. – 2017. – Vol. 140. – P. 209–223. doi: 10.1016/j.energy.2017.08.066
8. Ziemele, J. Sustainability of heat energy tariff in district heating system: Statistic and dynamic methodologies [Text] / J. Ziemele, A. Gravelins, A. Blumberga, D. Blumberga // Energy. – 2017. – Vol. 137. – P. 834–845. doi: 10.1016/j.energy.2017.04.130
9. Ziemele, J. Combining energy efficiency at source and at consumer to reach 4th generation district heating: Economic and system dynamics analysis [Text] / J. Ziemele, A. Gravelins, A. Blumberga, D. Blumberga // Energy. – 2017. – Vol. 137. – P. 595–606. doi: 10.1016/j.energy.2017.04.123
10. Guelpa, E. Peak-shaving in district heating systems through optimal management of the thermal request of buildings [Text] / E. Guelpa, G. Barbero, A. Sciacovelli, V. Verda // Energy. – 2017. – Vol. 137. – P. 706–714. doi: 10.1016/j.energy.2017.06.107
11. Bianchini, G. Demand-response in building heating systems: A Model Predictive Control approach [Text] / G. Bianchini, M. Casini, A. Vicino, D. Zarrilli // Applied Energy. – 2016. – Vol. 168. – P. 159–170. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.01.088
12. Arteconi, A. Active demand response with electric heating systems: Impact of market penetration [Text] / A. Arteconi, D. Patteeuw, K. Bruninx, E. Delarue, W. D'haeseleer, L. Helsen // Applied Energy. – 2016. – Vol. 177. – P. 636–648. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.05.146
13. Мацевитый, Ю. М. Оценка энергетической эффективности систем электротеплоаккумуляционного отопления административных зданий [Текст] / Ю. М. Мацевитый, Н. Г. Ганжа, А. В. Хименко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 10 (92). – С. 9–16. – Режим доступа: http://www.kpi.kharkov.ua/archive/Наукова_періодика/eee/2011/10/19487.pdf
14. Ганжа, Н. Г. Тепловое аккумулирование как способ повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения [Текст] / Н. Г. Ганжа, А. В. Хименко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – № 3 (97). – С. 16–21.
15. Wang, H. Developing a multicriteria decision support framework for CHP based combined district heating systems [Text] / H. Wang, L. Duanmu, R. Lahdelma, X. Li // Applied Energy. – 2017. – Vol. 205. – P. 345–368. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.07.016
16. Li, J. Optimal operation of the integrated electrical and heating systems to accommodate the intermittent renewable sources [Text] / J. Li, J. Fang, Q. Zeng, Z. Chen // Applied Energy. – 2016. – Vol. 167. – P. 244–254. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.10.054
17. Patteeuw, D. Integrated modeling of active demand response with electric heating systems coupled to thermal energy storage systems [Text] / D. Patteeuw, K. Bruninx, A. Arteconi, E. Delarue, W. D'haeseleer, L. Helsen // Applied Energy. – 2015. – Vol. 151. – P. 306–319. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.04.014
18. Парасочка, С. О. До питання про електроаккумуляційне опалення та гаряче водопостачання [Текст] / С. О. Парасочка, В. М. Хрящевський // Житлово-комунальне господарство України. – 2009. – № 8 (21). – С. 34–37.
19. Параска, Г. Б. Оцінка ефективності використання електричних систем опалення [Текст] / Г. Б. Параска, О. А. Миколюк // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2015. – № 4. – С. 73–79.
20. Трепутнев, В. В. Электрические теплоаккумуляторы для отопления и горячего водоснабжения [Электронный ресурс] / В. В. Трепутнев // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 4 (116). – Режим доступа: http://journal.esco.co.ua/cities/2013_9/art171.pdf
21. Пат. № 57479 UA Система теплоснабжения. МПК F24D 3/08 [Текст] / Андрущенко А. М., Панасюк О. В. – № u201010782; заявл. 06.09.2010; опубл. 25.02.2011, Бюл. № 4.
22. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=11889>
23. Прейскурант на природний газ з 1 листопада 2017 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.naftogaz.com/files/Information/Naftogaz-gas-prices-ne-PSO-November-2017.pdf>
24. Продажа пеллет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pelletex.com.ua/>

Дата надходження рукопису 30.10.2017

Андрущенко Анатолий Михайлович, старший преподаватель, кафедра теоретической, общей и нетрадиционной энергетики, Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

E-mail: amandr@ukr.net

Никольшин Владимир Русланович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры, кафедра теоретической, общей и нетрадиционной энергетики, Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

E-mail: vnikul@paso.net

Денисова Алла Евсеевна, доктор технических наук, профессор, директор института, Украинско-Польского институт, кафедра тепловых электростанций и энергосберегающих технологий, Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

E-mail: alladenysova@gmail.com