

ISSN 0204-3602

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

1

ТОМ 32



2010

НТБ ДонНТУ



П41864

INDUSTRIAL HEAT ENGINEERING

Vol. 32

№ 1 2010

ТЕМАТИКА ЖУРНАЛА

THEMES OF JOURNAL

- | | |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Тепло- и массообменные процессы | <input checked="" type="checkbox"/> Heat and Mass Exchange Processes |
| <input checked="" type="checkbox"/> Тепло- и массообменные аппараты | <input checked="" type="checkbox"/> Heat and Mass Exchange Apparatus |
| <input checked="" type="checkbox"/> Теория и практика сушки | <input checked="" type="checkbox"/> Theory and Practice of Drying |
| <input checked="" type="checkbox"/> Теплоэнергетические установки | <input checked="" type="checkbox"/> Heat Power Units |
| <input type="checkbox"/> Использование и сжигание топлива | <input type="checkbox"/> Fuel Utilization and Burning |
| <input checked="" type="checkbox"/> Атомная энергетика | <input checked="" type="checkbox"/> Nuclear Power |
| <input checked="" type="checkbox"/> Коммунальная и промышленная теплоэнергетика | <input checked="" type="checkbox"/> District and Industrial Heat Power |
| <input type="checkbox"/> Нетрадиционная энергетика | <input type="checkbox"/> Nontraditional Energy Sources |
| <input checked="" type="checkbox"/> Энергосбережение | <input checked="" type="checkbox"/> Energy Saving |
| <input checked="" type="checkbox"/> Экономическая эффективность энергетических проектов | <input checked="" type="checkbox"/> Economic Efficiency of Power Projects |
| <input checked="" type="checkbox"/> Термодинамика и процессы переноса | <input checked="" type="checkbox"/> Thermodynamics and Transport Phenomena |
| <input type="checkbox"/> Экология теплоэнергетических объектов | <input type="checkbox"/> Ecology of Heat-Power Generation |
| <input checked="" type="checkbox"/> Измерение, контроль, автоматизация тепловых процессов | <input checked="" type="checkbox"/> Measurement, Control, Automation of Thermal Processes |

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Институт технической теплофизики НАН Украины
2а, ул. Желябова, 03680, Киев, Украина
тел.: (38 044) 456-48-67
E-mail: shmorgun@ittf.kiev.ua, ihe@nas.gov.ua
Свидетельство о государственной регистрации
КВ № 2321 от 05.12.96 г.

ADDRESS

National Academy of Sciences of Ukraine
Institute of Engineering Thermophysics
2a, Zhelyabov str., 03680, Kyiv, Ukraine
tel.: (38 044) 456-48-67
E-mail: shmorgun@ittf.kiev.ua, ihe@nas.gov.ua
Certificate of State Registration KBNo. 2321 of Dec. 5, 1996

Номер надруковано за рахунок державного замовлення згідно з «Програмою підтримки періодичних видань НАН України»

Слано в набор 11.01.2010 Подписано в печать 04.02.2010

Формат 60x90/8 Бум. офс. № 1

Друк 60x90/8. Бум. офс. № 1

Гарнитура Times New Roman

Печать офс. Усл. печ. л. 18,5

Уч.-изд. л. 202 Тираж 300 экз. Заказ 2612

Уч.-изд. л. 202 Тираж 300 экз. Заказ 2612

ВД «Академперіодика»

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ
НАН УКРАИНЫ

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРИКЛАДНОЙ
ЖУРНАЛ

Выходит 6 раз в год
Основан в 1979 г.

Том 32, № 1, 2010

Главный редактор – Долинский А.А.

Редакционная коллегия:

Авраменко А.А.
Бабак В.П.
Базеев Е.Т.
Басок Б.И. – зам. главного редактора
Беляндра А.Ф.
Белетуха Г.Г.
Бубовской С.В.
Влименко В.Н.
Круковский П.Г.
Майстренко А.Ю.
Письменный Е.Н.
Праховник А.В.
Рятничко А.И.
Ситал А.И.
Снежкин Ю.Ф.
Фиалко Н.М.
Халатов А.А.
Хэйка А.И.
Шморгун В.В. – ответственный секретарь

Редакционный совет:

Алексеев С.В. (Россия)
Бещлавик Ю. (Польша)
Берверда В.П. (Россия)
Бенновалов В.И. (Россия)
Берриг Х. (Германия)
Маджамдар А. (Канада)
Мартыненко О.Г. (Беларусь)
Матеи И. (Румыния)
Мизута И. (Япония)
Минг-Шан-Жу (Китай)
Бакорьяков В.Е. (Россия)
Брайерд Н. (Великобритания)
Баттен Дж. Е. (США)

ТЕПЛО- И МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

- Басок Б.И., Гоцуленко В.В.**
Термоакустические колебания в дискретно-распределенном колебательном контуре при теплоподводе5
- Фиалко Н.М., Блинов Д.Г., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Юрчук В.Л., Саригло А.Г.**
Маломодовое моделирование процессов теплопереноса в телах сложной конфигурации.....10
- Давыденко Б.В.**
Численная модель теплопереноса в зазоре между вращающимся внутренним и неподвижным внешним коаксиальными цилиндрами.....16

ТЕПЛО- И МАССООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

- Яцевский В.А., Хуторный В.М., Круковский П.Г.**
Особенности гидродинамических и тепловых процессов в силовых масляных трансформаторах с внешней системой охлаждения при естественной конвекции масла.....25
- Кадыйров А.И., Вачагина Е.К.**
Стационарный тепломассоперенос в проточном гомофазном реакторе при периодическом изменении температуры среды, окружающей реакционную смесь.....30

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СУШКИ

- Календерьян В.А., Бошкова И.Л., Волгушева Н.В.**
Влияние режимных параметров на распределение температур в движущемся плотном слое дисперсного материала при микроволново-конвективной сушке.....37

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

- Халатов А.А., Долинский А.А., Костенко Д.А., Парафейник В.П.**
Состояние и проблемы развития механического привода для ГТС Украины.....44
- Халатов А.А., Романов В.В., Дашевский Ю.Я., Письменный Д.Н.**
Тенденции развития систем охлаждения лопаток высокотемпературных энергетических ГТД. Часть 1. Современное состояние.....53

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

- Авраменко А.А., Дмитренко Н.П.**
Нестационарное течение газового теплоносителя в каналах ядерных реакторов с шаровой засыпкой.....62

**КОММУНАЛЬНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

Дешко В.И., Буяк Н.А.
Показники опалення будівель і температурні
умови комфортності.....66

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

**Вайнберг Р.Ш., Процышин Б.Н., Богданов С.А.,
Грабошникова В.И.**
Энергоэкономное бесспиртовое производство
биополимеров пектиновых веществ.....71

Исламова С.И., Шамсутдинов Э.В.
Мероприятия по повышению эффективности
энергоспользования теплотехнологической
схемы стадии газоразделения крупнотоннажного
производства этилена.....81

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ**

Амерханов Р.А., Долинский А.А., Драганов Б.Х.
Основы энергосэкономического метода
оптимизации энергопреобразующих систем.....90

**Гридин С.В., Колесниченко Н.В.,
Носовская О.А.**
Оптимизация аккумуляционной системы
теплоснабжения типового жилого здания 111

**ТЕРМОДИНАМИКА И ПРОЦЕССЫ
ПЕРЕНОСА**

**Шкляр В.И., Дубровская В.В., Задвернюк В.В.,
Колпаков А. Г.**
Эксергетический анализ работы газотурбинной
установки..... 116

**ИЗМЕРЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Бурова З.А., Воробьев Л.И., Грищенко Т.Г.,
Декуша Л.В., Декуша О.Л., Шаповалов В.И.**
Повышение точности измерения теплопроводности
строительных и теплоизоляционных материалов.... 117

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
INSTITUTE OF ENGINEERING
THERMOPHYSICS

INDUSTRIAL HEAT ENGINEERING

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND
APPLIED JOURNAL

Published bimonthly
Founded in 1979

Volume 32, № 1, 2010

Editor in Chief – A. DOLINSKY

Editorial Board Members:

- A Avramenko
- V Babak
- E Bazeev
- B Basok – Associated Editor
- A Bulyandra
- C Geletykha
- S Dubovskoi
- V Klimenko
- P Krukovsky
- A Maistrenko
- V Pysmenny
- A Prakhovnik
- A Pyatnichko
- A Sigal
- V Snezhkin
- V Fialko
- A Khalatov
- A Chaika
- V Shmorgun – Responsible Secretary

Advisory Editorial Board:

- S Alekseenko (Russia)
- A Wazlawik (Poland)
- V Coverda (Russia)
- V Konovalov (Russia)
- E Lurig (Germany)
- A Mujumdar (Canada)
- D Martynenko (Belorussia)
- A Matei (Romania)
- F Mizuta (Japan)
- Ming-Shan-Zhu (China)
- V Nakoryakov (Russia)
- V Syred (United Kingdom)
- E Totten (USA)

HEAT AND MASS EXCHANGE PROCESSES

- B. Basok, V. Gotsulenko**
Thermoacoustic vibrations in discretely-distributing oscillatory circuit with heat supply.....5
- N. Fialko, D. Blionov, V. Prokopov, Yu. Sherenkovskii, V. Yurchuck, A. Sarioglo**
Low-dimensional modeling heat transfer processes in the irregular domain.....10
- B. Davydenko**
A numerical model of heat transfer in gap between rotating inner and outer stationary co-axial cylinders.....16

HEAT AND MASS EXCHANGE APPARATUS

- V. Yatsevsky, V. Khutoryny, P. Krukovsky**
Hydrodynamic and thermal processes features in power oil transformers with the external system of cooling with the natural convection of oil.....25
- A. Kadyrov, E. Vachagina**
Stationary heat-and-mass transfer in a flowing homophase polymer-making reactor at periodic change for temperature environment, surrounding a reactionary mix.....30

THEORY AND PRACTICE OF DRYING

- V. Kalenderyan, I. Boshkova, N. Volgusheva**
Influence of regime parameters on temperature distribution in a packed moving bed of disperse material at microwave-convective drying.....37

HEAT POWER UNITS

- A. Khalatov, A. Dolinsky, D. Kostenko, V. Parapheinik**
State-of-the art and problems of mechanical drive gas turbines for Ukrainian pipelines.....44
- A. Khalatov, V. Romanov, Yu. Dashevsky, D. Pismenny**
High performance gas turbine blade cooling: trends of development. Part 1. Modern state.....53

NUCLEAR POWER

- A. Avramenko, N. Dmitrenko.**
Unsteady flow of gas heat carrier in channels of nuclear reactors with ball backing.....62

DISTRICT AND INDUSTRIAL HEAT POWER

- V. Deshko, N. Buyak**
Integrated cost of building heating taking into account temperature comfort conditions.....66

ENERGY SAVING

- R. Vainberg, B. Protsishin, S. Bogdanov, V. Craboshnikova**
Energy saving alcohol – free production of pectic substances.....71

S. Islamova, E. Shamsutdinov

Applications of increase effectiveness of energy usage
of thermo-technological gas separation scheme
in manufacture ethylene.....81

ECONOMIC EFFICIENCY OF POWER PROJECTS

R. Amerhanov, A. Dolinsky, B. Draganov

Bases of exergy-ekonomik method of optimization energy-
transforming systems.....90

S. Gridin, N. Kolesnichenko, O. Nosovskaya

Optimization of the accumulation of heat supply system
of a model residential building.....101

THERMODYNAMICS AND TRANSPORT PHENOMENA

**V. Shklyar, V. Dubrovskaya, V. Zadverniuk,
O. Kolpakov**

Gas turbine unit exergy analysis.....105

**MEASUREMENT, CONTROL, AUTOMATION OF
THERMAL PROCESSES**

**Z. Burova, L. Vorobyov, T. Grischenko, L. Dekusha,
O. Dekusha, V. Shapovalov**

Increase of accuracy of building materials and heat
insulators heat conductivity measurements.....113

1973. – 300 с.

2. *Эксергетические* расчеты технических систем: Справ. пособие / В.М. Бродянский, Г.П. Верхивкер, Я.Я. Карчев и др.; Под ред. А.А. Долинского, В.М. Бродянского. – К.: Наук. думка, 1991. – 360 с.

3. *Амерханов Р.А.* Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии. – М.: Колос, 2003. – 532 с.

4. *Wu C. and Niculshin V.* Method of thermoeconomical optimization of energy intensive systems with linear structure on graphs // *International journal of Energy Research*, 24, 615-623 (2000).

5. *Bejan A., Tsatsaronics G., Moran M.* Thermal Design and Optimization. – New York; J. Wiley, 1996. – 530 p.

6. *Тсатсаронис Дж.* Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы (научн.

ред. и перев. с англ. проф. Т.В. Морозюк). – Одесса: Студия "Негоциант", 2002. – 152 с.

7. *Лозано М.А., Валеро А.* Теория эксергетической стоимости // *Энергия*, Т. 18, 1993, № 9. – Пергамон Пресс. – С. 939-960.

8. *Долинский А.А., Драганов Б.Х., Дубровин В.А.* Оптимизация технических систем методом эксергоэкономики // *Промышленная теплотехника*. – 2003. – № 4. – С. 28-31.

9. *Драганов Б.Х.* Термозкономическая оптимизация энергетических систем при эксплуатационном и экологическом решениях их работы // *Экотехнологии и ресурсосбережение*. – 2006. – № 2. – С. 8-10.

10. *Долинский А.А., Драганов Б.Х., Морозюк Т.В.* Альтернативное теплоснабжение на базе тепловых насосов: критерии оценки // *Промышленная теплотехника*. – 2007. – Т. 29. – № 6. – С. 67-71.

Получено 18.12.2009 г.

УДК 644.1

Гридин С.В., Колесниченко Н.В., Носовская О.А.

Донецкий национальный технический университет

ОПТИМИЗАЦИЯ АККУМУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТИПОВОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Акумуляційна система теплопостачання складається з електричних котлів та бака-акумулятора (БА). Для оптимізації системи визначено значення температур подачі води, об'ємів БА, характеристика опалювальних приладів і товщина ізоляційних плит з урахуванням мінімального терміну окупності.

Аккумуляционная система теплоснабжения состоит из электрических котлов и бака-акумулятора (БА). Для оптимизации системы определены интервалы значений температур подачи воды, объемов БА, характеристика отопительных приборов и толщина изоляционных плит с учетом минимального срока окупаемости.

Consider the system of accumulation for heating. It consists of electric boilers and tank battery. To optimize the system defined by intervals values of the temperature of water supply, the volume of the tank battery, the characteristic of heating appliances and the thickness of insulation boards subject to the minimum payback period.

B – расход;

c – теплоемкость;

F – площадь поверхности;

k – коэффициент теплопередачи;

$k \cdot F$ – характеристика отопительного прибора

после реконструкции;

$(k \cdot F)'$ – характеристика отопительного

прибора при температурном графике 95/70;

n – продолжительность;

Q – тепловая мощность, количество тепла;

Q_n^p – теплотворная способность природного газа;
 R – термическое сопротивление;
 t – температура;
 V – объём;
 z – отношение характеристики отопительных приборов до и после реконструкции;
 α – коэффициент теплоотдачи;
 Δ – разница;
 δ – толщина;
 η – коэффициент полезного действия;
 λ – коэффициент температуропроводности;
 μ – коэффициент паропроницаемости;
 ρ – плотность;
 τ – температура, определяемая по температурному графику;
 Z – затраты;
 Π – цена;
 T – срок;
 \mathcal{E} – экономия;
 БА – бак-аккумулятор.

Индексы верхние:

max – максимальное значение параметра;
 гк – газовая котельная;
 год – годовое значение параметра;
 рас – расчетное значение параметра при температуре воздуха наиболее холодной пятидневки;
 р – рабочее;
 уд – удельное значение параметра;

эк – электрическая котельная.

Индексы нижние:

1, 2 – значение параметра соответственно в подающей и обратной линии трубопровода;
 i – порядковый номер параметра;
 БА – бак-аккумулятор;
 в – вода;
 вн – значение параметра внутри помещения;
 г – природный газ;
 зу – значение параметра при зимних условиях;
 из – изоляция;
 из.ст – изолированная стена;
 мет – металлопрокат;
 мат – материалы;
 н – низшие;
 о – отопительный период;
 ок – окупаемость;
 общ – общие;
 пот – потери;
 пр – присоединение;
 сек – секции;
 ср – среднее;
 ср. о – среднее значение за отопительный период;
 ст – стена;
 т – тепло;
 ц – цена;
 эл – электроэнергия;
 э – электрический.

Повышение эффективности теплоснабжения является для Украины актуальной проблемой. Это связано с тем, что для теплоснабжения в основном используется дефицитное топливо – природный газ. Одним из вариантов экономии средств и повышения надежности теплоснабжения является использование электроэнергии по ночному тарифу. Такое использование позволяет выравнять суточный график электропотребления и таким образом оказывает положительное влияние на энергосистему. Кроме того, стоимость единицы теплоты, полученной в электрокотле по ночному тарифу, меньше стоимости получения его в газовой котельной. Если доба-

вить еще и экологический эффект, то данное направление в теплоснабжении видится перспективным.

Однако такая система требует устройства системы аккумуляции тепла, необходимого для осуществления нагрузки отопления в дневное время. Проблеме аккумуляирования тепла посвящены разработки многих авторов. Работы одних авторов посвящены изучению физической сущности аккумуляции тепла [1], а других – разработке разнообразных систем аккумуляирования [2]. Аккумуляцию тепла можно осуществить, например, в системах напольного отопления, как водяного, так и электрического

Однако, если рассматривать возможность реконструкции существующих зданий, то такой вариант нереален. В таком случае для зданий, оборудованных радиаторными системами отопления, необходима установка бака-аккумулятора.

В данной статье рассматривается система теплоснабжения, в которой источником тепла является электрокотельная, а в качестве аккумулятора используем БА [3,4], температура которого после его полной зарядки составляет 90...95 °С. Кроме того, поскольку капитальные затраты на устройство системы зависят от мощности оборудования, то исследована также зависимость срока окупаемости реконструкции при повышении тепловой защиты здания за счет применения наружного утепления стен.

Целью исследования является: определение целесообразности реконструкции существующих систем отопления с использованием электрических котлов и системы аккумуляции тепла в виде БА; изучение влияния параметров системы (температура подачи воды в отопительную систему, объем БА, характеристика отопительных приборов, толщина изоляции на наружных стенах здания) на экономические показатели.

Нагрузка отопления и годовое потребление тепла зависят от климатических условий, которые характеризуются продолжительностью отопительного периода, средней температурой за отопительный период и расчетной отопительной температурой, определяемой как температура наиболее холодной пятидневки. Диапазон этих значений для Украины находится в следующих интервалах: n_o (126 сут.;195 сут.); $t_{cp.o}$ (5,2 °С; -2,5 °С) и t_o^{pac} (-6 °С; -25 °С). Город Донецк находится в средних климатических условиях ($n_o = 183$ сут., $t_{cp.o} = -1,8$ °С, $t_o^{pac} = -23$ °С), которые характерны для многих городов Украины.

Рассмотрим типовой пятиэтажный жилой дом, принятый в эксплуатацию в 1986 году, расположенный в городе Донецке. Для выбранного здания на основании методики, изложенной в [5], геометрических и теплотехнических характеристик были определены: тепловые потери

отдельных ограждающих конструкций и расчетная отопительная нагрузка дома, равная $Q_o^{pac} = 456,1$ кВт. Здание оборудовано приборами отопления – чугунными радиаторами типа М -90. Источником теплоснабжения здания является районная водогрейная котельная, работающая на природном газе.

Мощность электрической котельной, работающей только в ночное время должна удовлетворять ночную нагрузку отопления, а также заряжать бак-аккумулятор. Причем зарядки БА должно хватить днем на осуществление необходимой нагрузки отопления. Таким образом, установленная мощность котельной должна превышать расчетную нагрузку отопления в 3 раза и для нашего здания будет равна 1368 кВт.

Так как расчетный температурный график системы отопления 95/70, а максимальная температура в БА также равна 95 °С, то в обязательном порядке необходимо осуществить реконструкцию системы отопления с переходом на пониженный температурный график. Это повлечет за собой увеличение поверхности отопительных приборов. Однако такое увеличение не может быть большим, поскольку размер отопительного прибора ограничен размером подоконной ниши. Из выражения для определения тепловой мощности отопительных приборов:

$$Q_o^{pac} = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp} = k \cdot F \cdot \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{t_1 - t_{BH}}{t_2 - t_{BH}}}, \quad (1)$$

приняв $t_{BH} = 20$ °С, а также $t_1 - t_2 = 25$ °С определим зависимость z от температуры воды в подающей линии системы отопления:

$$z = k \cdot F / (k \cdot F)'. \quad (2)$$

Данная зависимость показана на рис. 1.

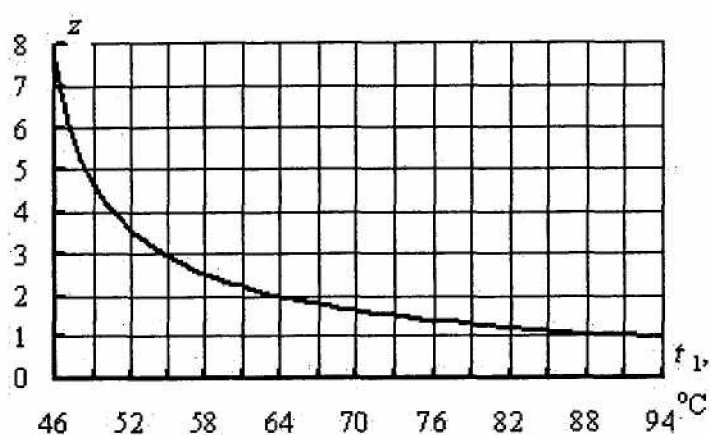


Рис. 1. Зависимость относительного увеличения поверхности отопительных приборов от температуры подачи.

В типовой жилой комнате рассматриваемого здания длина ниши – 1,4 м, ширина одной секции отопительного прибора – 0,1 м, тепловая отдача секции – 210 кВт [6]. Поэтому максимальное количество секций, которое помещается в подоконной нише – 14. До реконструкции в такой комнате установлен 6-ти секционный отопительный прибор. Таким образом, подоконная ниша позволяет максимально увеличить поверхность отопительного прибора в 2,33 раза. Из рис. 1 видно, что минимальная температура в подающей линии, до которой мы можем снизить расчетный температурный график, составит 61 °С. С другой стороны, от температурного графика зависит объем устанавливаемого бака-аккумулятора, м³:

$$V = \frac{Q_o^{pac} \cdot 16 \cdot 3600}{\rho_B \cdot c_B \cdot (t_B^{max} - t_1)} \quad (3)$$

На основании выражения (3) построим зависимость $V=f(t_1)$, которая изображена на рис. 2.

Из рис. 2 видим, что при температуре $t_1 > 85$ °С объем БА стремительно возрастает. Поэтому максимальное значение температуры подачи воды в систему отопления $t_1 \leq 85$ °С.

Таким образом, получаем интервал температур t_1 (60...85 °С), который соответствует возможной реконструкции системы отопления.

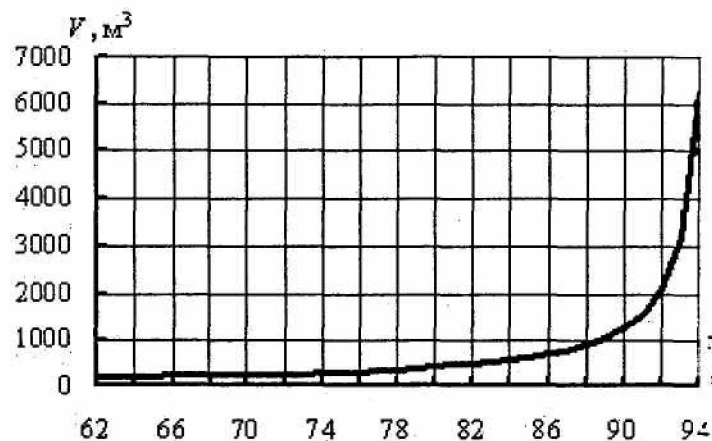


Рис. 2. Зависимость объема БА от температуры подачи воды t_1 .

Однако значение температур для теплоснабжения здания следует рекомендовать в пределах 82...85 °С, так как для выполнения на практике это более реальные значения. При этом полученный интервал объемов БА для выбранного здания – 483...627 м³ соответственно. А удельное значение объема БА, приходящееся на 1 МВт расчетной тепловой нагрузки объекта, соответственно находится в интервалах 1059...1375 м³.

Определим затраты на реконструкцию системы отопления, установки БА и присоединения котельной к электросети. Цены на все материалы, оборудование, его подключение и установку приведены на начало 2009 г.

С учетом стоимости работ по установке БА и наличия свободного места удельная стоимость БА $Z_{ба}^{уд} = 500$ грн /м². Исходя из кубической формы бака, отношение поверхности к объему будут следующими:

$$F_{ба} = 6 \cdot (V)^{2/3} \quad (4)$$

Затраты на реконструкцию системы отопления с учетом стоимости работы составят $Z_{ба}^{уд} = 120$ грн/сек.

Затраты на приобретение электродвигателей с их установкой $Z_{эк}$ и присоединение мощности 1368 кВт к электрической сети $Z_{пр}$ составят:

$$Z_{\text{эк+пр}} = Q_{\text{ист}} \cdot (\text{Ц}_{\text{эк}}^{\text{уд}} + \text{Ц}_{\text{пр}}^{\text{уд}}) \quad (5)$$

Принимаем $\text{Ц}_{\text{эк}}^{\text{уд}}$ равной 400 грн./кВт, а $\text{Ц}_{\text{пр}}^{\text{уд}}$ мощности к подстанции на стороне 35 кВ равной 700 грн./кВт.

Капитальные затраты на реконструкцию существенно зависят от электрической мощности котельной. Применение наружной изоляции стен здания позволяет не только снизить по-

требление энергии для отопления, но и уменьшить капитальные затраты на реконструкцию. Поэтому при планировании подобной реконструкции необходимо обязательно рассматривать целесообразность утепления ограждающих конструкций. Изоляция наружных стен здания приведет к снижению тепловых потерь. В качестве изоляции используем пенополистироловые плиты, которые имеют размеры 1×1 метр с толщиной, находящейся в интервале от 0,02 м до 0,1 м [7].

Табл. 1. Теплотехнические показатели материалов, используемые для изоляции стен

	Слой	ρ , кг/м ³	λ , Вт/м·°С	μ , мг/(м·ч·Па)
1	Плиты из пенополистирола	28	0,03	0,16
2	Декоративная штукатурка	800	0,16	0,06

Сопротивление теплопередачи изолированной внешней стены, (м²·°С)/Вт:

$$R_{\text{из ст}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{зв}}} \quad (6)$$

$\alpha_{\text{вн}} = 8,7$ Вт/(м²·°С); $\alpha_{\text{зв}} = 23$ Вт/(м²·°С).

Таким образом, тепловые потери через изолированные наружные стены составят, кВт :

$$Q_{\text{из ст}} = F_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.о}}) \cdot 10^{-3} / R_{\text{из ст}} \quad (7)$$

Поверхность стен рассматриваемого здания: $F_{\text{ст}} = 3473,6$ м², средняя температура воздуха в городе Донецке за отопительный период $t_{\text{ср.о}} = -1,8$ °С.

Потери тепловой энергии при изоляции стен уменьшаются на

$$\Delta Q = Q_{\text{ст}} - Q_{\text{из ст}} \quad (8)$$

Годовую экономию тепла ΔQ год определяем согласно графику продолжительности значения температуры наружного воздуха. Соответствующая экономия природного газа составит,

м³:

$$\Delta V_{\text{г}} = \frac{\Delta Q^{\text{год}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta} \quad (9)$$

В формуле (9) учитываем, что $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 33520$ кДж/м³, $\eta = 0,9$.

Годовая экономия денежных средств при использовании изоляции определяется по формуле:

$$\Delta \text{Э}_{\text{из}} = \Delta V_{\text{г}} \cdot \text{Ц}_{\text{г}}^{\text{уд}} \quad (10)$$

Принимаем удельную цену 1 м³ природного газа равной 1,97 грн./м³ при условии, что объем потребления природного газа превышает 12000 м³ за год.

Затраты на изоляцию наружных стен, грн.:

$$Z_{\text{из}} = Z_{\text{из}}^{\text{уд}} \cdot F_{\text{ст}} \quad (11)$$

Простой срок окупаемости всей реконструкции, лет:

$$T_{\text{ок}} = \frac{Z_{\text{общ}}}{\Delta \text{Э}_{\text{общ}}} \quad (12)$$

Общую экономию денежных средств определяем по следующей формуле :

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = \mathcal{E}_{\text{ц}} + \mathcal{E}_{\text{из}} \quad (13)$$

Экономию, полученную благодаря разнице тарифов, определяем по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ц}} = \mathcal{C}_{\text{т}}^{\text{гк}} - \mathcal{C}_{\text{т}}^{\text{эк}} \quad (14)$$

Стоимость годового количества газа, грн./год:

$$\mathcal{C}_{\text{т}}^{\text{гк}} = B_{\text{г}} \cdot \mathcal{C}_{\text{г}}^{\text{уд}}, \quad (15)$$

$$\mathcal{C}_{\text{г}}^{\text{уд}} = 1,97 \text{ грн./м}^3.$$

Годовой расход газа, м³:

$$B_{\text{г}} = \frac{Q_{\text{из}}^{\text{год}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta} \quad (16)$$

Стоимость годового количества электроэнергии, грн /год:

$$\mathcal{C}_{\text{т}}^{\text{эк}} = B_{\text{эл}} \cdot \mathcal{C}_{\text{эл}}^{\text{уд}} \quad (17)$$

Цена электроэнергии по ночному тарифу:

$$\mathcal{C}_{\text{эл}}^{\text{уд}} = 0,4 \cdot 0,24 = 0,096 \text{ грн /кВт}\cdot\text{ч}.$$

Годовой расход электроэнергии:

$$B_{\text{эл}} = \frac{Q_{\text{из}}^{\text{год}}}{\eta_{\text{э}} \cdot \eta_{\text{ба}}} \quad (18)$$

В формуле (18) принимаем $\eta_{\text{э}} = 0,9$, а $Q_{\text{из}}^{\text{год}}$ определяем по графику продолжительности значений температур наружного воздуха.

Коэффициент полезного действия БА определяем по формуле:

$$\eta_{\text{ба}} = \frac{Q_{\text{ба}} - Q_{\text{пот}}}{Q_{\text{пот}}} \quad (19)$$

Количество тепла, саккумулированное баком, кДж :

$$Q_{\text{ба}} = V \cdot \rho_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в}}^{\text{max}} - \tau_{\text{л}}) \quad (20)$$

Потери тепла через стенки БА, Вт :

$$Q_{\text{пот}} = \alpha \cdot F_{\text{ба}} \cdot (t_{\text{в}}^{\text{max}} - t_{\text{ср.о}}) \quad (21)$$

Результаты расчетов сроков окупаемости всех рассмотренных мероприятий при разных толщинах пенопластных плит представляем на рис. 3.

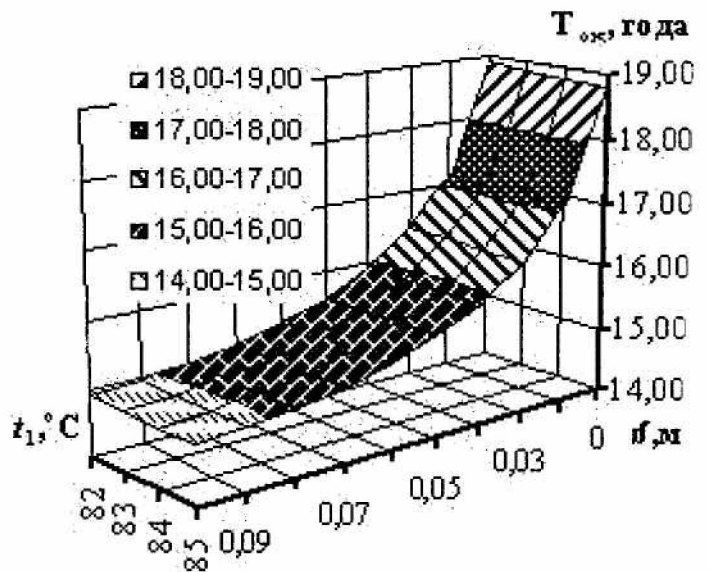


Рис. 3. Сводный график зависимости срока окупаемости от температуры подачи горячей воды и толщины изоляционной плиты.

Выводы

Перевод системы отопления с использования природного газа на использование электроэнергии по ночному тарифу влечет за собой необходимость устройства системы аккумуляции тепла. Причем, если это относится к существующим зданиям, оборудованным радиаторной системой отопления, то практически единственным вариантом является установка БА.

Такая реконструкция также влечет за собой реконструкцию отопительной системы.

здания, поскольку система с БА не сможет поддерживать прежний температурный график в расчетном режиме. В приведенном исследовании определен возможный диапазон температур в подаче системы отопления 82...85 °С, для которого возможно и реально осуществима на практике реконструкция. Полученный диапазон удельного объема БА в расчете на 1 МВт расчетной нагрузки потребителя составляет от 1059 м³ при 82 °С до 1375 м³ при 85 °С температуры подачи.

Капитальные затраты на реконструкцию включают: стоимость оборудования с установкой, подключение к электросети, стоимость БА с изоляцией. Стоимость всех материалов, всего оборудования, его подключение и установка рассчитаны с учетом цен на начало 2009 г.

Снизить капитальные затраты, которые пропорциональны устанавливаемой мощности котельной, можно, повысив тепловую защиту здания. Критерием целесообразности приводимой реконструкции является срок окупаемости вложения денежных средств. В работе показано, что минимальный срок окупаемости без повышения тепловой защиты здания составляет 18,81 года и связан с наибольшей прибылью благодаря разнице цен на тепловую и электрическую энергию и минимумом затрат на соответствующую реконструкцию отопительной системы здания $z = k \cdot F / (k \cdot F)' = 1,197$. При повышении тепловой защиты здания достигается двойной эффект: уменьшается потребление энергии, необходимой на отопление, и снижается тепловая мощность котельной и связанные с ней капитальные затраты. При толщине изоляции равной 0,1 м достигается минимальный срок окупаемости, равный 14,92 лет, что меньше, чем вариант без дополнительной изоляции стен здания. К тому же изменяется и значение поверхности отопительных приборов и емкость БА.

Полученные результаты показывают, что в таком виде при существующих ценах на энергоносители срок окупаемости достаточно велик, чтобы считать такую реконструкцию целесообразной. К тому же не были учтены затраты на обслуживание системы.

Дальнейшие исследования связаны с изменением температуры наружного воздуха при которых БА будет самостоятельно и полностью удовлетворять дневную нагрузку отопления. При температурах, ниже этой, возникнет необходимость включения электродвигательной в дневное время. В таком случае необходимая мощность котельной, емкость БА уменьшатся, соответственно уменьшатся и капитальные затраты.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Левенберг В.Д., Ткач М.Р.* Аккумуляция тепла. – К.: Техника, 1991. – 320с.
2. *Сотникова О.А., Турбин В.С.* Аккумуляторы тепла теплогенерирующих установок систем теплоснабжения // Журнал АВОК. – 2003. – Т. 18, № 5. – С. 65 – 71.
3. *Пишеничников В.И.* Монтаж и эксплуатация коммерческих водонагревателей // Журнал Аква – Терм. – 2009. – № 2. – С. 54 – 57.
4. *www.akteplo.ru.*
5. *ДСТУ ISO 6946 : 2007 (ISO 6446 : 1996).* Будівельні компоненти та будівельні елементи. Тепловий опір і коефіцієнт теплопередавання. Розрахунковий метод.
6. *Богуславский Л.Д., Малина В.С.* Санитарно – технические устройства зданий. – М.: Высшая школа, 1988. – 254 с.
7. *ДСТУ ISO 7345 : 2005 (ISO 7345: 1987, IOT).* Теплоізоляція. Фізичні величини та визначення понять.

Получено 12.10.2009 г.