

АВТОМАТИЗОВАНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОПАЛЕННЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ БУДІВЕЛЬ

ОЛІШЕВСЬКИЙ І.Г. аспірант групи 151А-19-2, НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: olishevskiyih@gmail.com;

ОЛІШЕВСЬКИЙ Г.С. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електроенергетики НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: olishevskiyg@ukr.net;

Мета роботи. Розробити автоматизовану методику розрахунку параметрів для теплонасосних систем опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання, призначених для застосування в побутових умовах при нестандартних потоках передавання теплової енергії.

Методи дослідження. Математичне моделювання термодинамічних процесів, що протікають в системах опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання.

Отримані результати. Обґрунтована та розроблена автоматизована методика розрахунку параметрів нетрадиційної технології, що використовує стандартне теплонасосне обладнання системи водного опалення для режиму охолодження повітря в теплий період року, та скидання теплоти що відводиться в ґрунт. А для потреб гарячого водопостачання тепловий насос повітря-рідина, що працює в якості швидкісного водонагрівача.

Виконана оцінка розроблених раніше авторами технологій утилізації теплової енергії в будівлях. Перша технологія передбачала застосування схеми з тепловим насосом та тепловим акумулятором в холодний період, та дозволяла зменшити витрати умовного палива в два рази в порівнянні із газовою колонкою для гарячого водопостачання на тому самому об'єкті. Друга технологія передбачала утилізацію теплоти за допомогою теплового акумулятору в комплексній системі кондиціонування та гарячого водопостачання в теплий період, що дозволяє заощадити від 74 до 82% умовного палива в порівнянні зі схемою з котлом та кондиціонером без теплового акумулятору.

Зроблено критичні висновки щодо необхідності застосування для цих технологій додаткового габаритного обладнання та надлишкової кількості отримуваної гарячої води. Проаналізовані можливості реалізації такої схеми. Зроблено аналітично обґрунтовані рекомендації щодо конструкції (орєбрення поверхонь теплообміну) опалювальних приладів та параметрів режимів їх експлуатації в холодний та теплий періоди року. При цьому виконувалась умова незмінності площ теплообміну опалювальних приладів та базової витрати води в системі опалення. Обґрунтована необхідність в регулюванні режиму кондиціонування шляхом зміни витрати води в системі для підтримання постійної температури внутрішнього повітря при коливаннях температури зовнішнього повітря.

Наукова новизна. Вперше приділяється увага дослідженням нетрадиційних способів застосування теплонасосного опалення з метою опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання житлових приміщень. Розроблена автоматизована методика визначення раціональних параметрів для даних технологій.

Практична цінність. Розроблено автоматизовану методику формування керуючої залежності масової витрати води в системі від температури зовнішнього повітря з умови постійності заданої комфортної температури внутрішнього повітря. Проаналізовано застосування теплового насоса повітря-рідина для гарячого водопостачання в теплий період, відзначено високий коефіцієнт перетворення енергії (14...22). Обґрунтовано економію умовного палива від застосування розглянутої технології від 13% до 18% в порівнянні з технологією, що використовує тепловий акумулятор.

Ключові слова: Автоматизована методика; тепловий насос; опалення; гаряче водопостачання; кондиціонування; економія палива.

І. ВСТУП

На сьогоднішній день дуже гостро стоїть питання енергоефективності систем опалення. Близько третини від загальносвітового споживання паливно-енергетичних ресурсів спрямовано на потреби опалення [1]. В умовах існуючої на даний період часу газової кризи, з рекордними цінами на газ, питання

відходу до нетрадиційних, енергоефективних способів опалення необхідно вважати дуже актуальним. Також, велика кількість енергоресурсів витрачається на гаряче водопостачання, вентиляцію та кондиціонування повітря в будівлях [5], [6]. Найбільш перспективними системами опалення, з точки зору енергоефективності, є системи на базі теплових насосів. При цьому, кількість енергії, що підводиться до споживача

від зовнішнього низько потенційного джерела (грунт, водойма, повітря), перевищує значення енергії, що затрачена на привод теплового насосу в 3 – 5 разів. Це відношення називають коефіцієнтом трансформації енергії теплового насосу. Для досягнення більш високих значень даного коефіцієнту необхідно зменшувати різницю температур між випаровувачем та конденсатором теплового насосу.

У випадку систем опалення та гарячого водопостачання ми маємо зафіксоване значення температури на конденсаторі, нижче якого ми не можемо опускати через задане теплове навантаження. Тому альтернативним шляхом підвищення енергоефективності є збільшення температури випаровування за допомогою різних технічних засобів, таких як тепловий акумулятор.

II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Раніше авторами було розглянуто та досліджено можливість застосування теплового насосу (ТН) в теплоенергетичних системах будівель [3]. Було досліджено схему застосування теплового акумулятору (ТА) в комплексній системі кондиціонування та гарячого водопостачання (ГВС).

Дана схема дозволяє заощадити від 74% до 82% умовного палива у порівнянні зі схемою з котлом та кондиціонером без ТА.

Також була досліджена схема застосування теплового акумулятору і ТН в комплексній системі вентиляції та гарячого водопостачання [2], [3], що дозволяє заощадити у холодний період до 57% умовного палива в порівнянні із газовою колонкою. При цьому була обґрунтована можливість створення єдиної системи ГВС, що працює цілий рік. Де в теплий період буде використовуватися теплота воздуха що кондиціонується, а в холодний період – теплота повітря, що виходить через вентиляцію в навколишнє середовище. Однак, розглянуті вище енергоефективні технології потребують установки додаткового габаритного та дорогого обладнання, а об'єм отримуваної гарячої води за сутки складно використати повністю, що зменшує маневреність усієї системи. Тому було запропоновано нову нетрадиційну технологію, що використовує вихідне теплонасосне обладнання системи водного опалення для режиму охолодження повітря в теплий період та скидання теплоти що відводиться – в грунт. Для потреб гарячого водопостачання було запропоновано застосування додаткового теплового насосу повітря-рідина, що працює на водонагрів. Це має зменшити витрату енергоресурсів, виключити необхідність у створенні непотрібних запасів гарячої води, та усунути складнощі в регулюванні системою.

Варто відмітити актуальність застосування таких технологій в регіонах з підвищеним температурним режимом в теплий період року.

В джерелах [7]-[9] наведені основні принципи, на яких базується розрахунок систем опалення в даній

роботі, а також побудова математичних моделей теплових насосів, що застосовані в системах опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання.

До уваги були прийняті роботи [10], [13], в яких розглянуть аспекти моделювання теплових процесів у будівлях. При побудові математичної моделі системи радіаторного опалення була врахована робота [11]. Системи регулювання були розглянуті раніше в джерелі [12].

Математичний апарат, що використовується для опису термодинамічних процесів в описуваних системах, більш детально розглянутий в роботах [14]-[15].

Для керування роботою теплового насосу розглядаються два режими управління: циклічний та інверторний. У випадку широкого впровадження інверторного обладнання, для керування електричним приводом теплового насосу, ми можемо зіштовхнутися із впливом вищих гармонік, що генеруються напівпровідниковими перетворювачами в мережу живлення на якість електричної енергії, а також на надійність системи електропостачання [16]. Використовуючи методику з роботи [16] обґрунтовується збереження в допустимих нормах відхилення показників якості та надійності електричної енергії у випадку застосування інверторного керування, яке є більш ефективним з точки зору енергозбереження, в порівнянні з циклічним.

Таким чином, подальша розробка технологій раціонального використання енергоресурсів в теплонасосних комплексних системах опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання є актуальною.

III. ЦІЛЬ РОБОТИ

Проведення аналізу існуючих енергоефективних технологій на базі теплових насосів. Розробка автоматизованої методики розрахунку параметрів для теплонасосних систем опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання, що застосовуються в побутових умовах, при нестандартних потоках передавання теплової енергії.

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ТА АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Було досліджено технологію використання ґрунтового теплового насосу водяної системи опалення будівлі для потреб кондиціонування будівлі. При цьому тепловий насос повинен працювати на охолодження будівлі, передаючи теплоту в грунт (рис. 1), що дозволить знизити температуру конденсації холодоагенту з 46 °С до 30 °С при схемі з тепловим акумулятором. Це обґрунтовується властивістю ґрунтів зберігати на глибині 2 м стабільну температуру порядку 8 °С протягом року.

Дана установка являє собою парокомпресорну установку, що працює за основним холодильним циклом.

Характеристики теплонасосних установок були визначені по розробленій раніше, та широко вживаній авторами методиці визначення функціональних залежностей параметрів холодильних циклів від температур конденсації при заданих температурах випаровування на основі даних p, i – діаграми обраного холодоагенту.

В якості об'єкту дослідження, для зручності порівняння, було прийнято ту саму одноповерхову будівлю, що і в роботах [3]-[4], із об'ємом 450 м^3 та житою площею 180 м^2 .

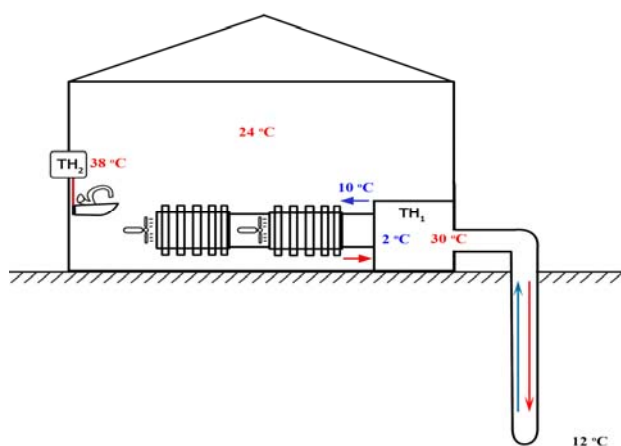


Рисунок 1. Схема комплексної системи ТН та ГВС будівлі.

Автоматизована методика розрахунку параметрів ґрунтового та повітряного ТН для нужд кондиювання та ГВС будівлі включає наступний алгоритм дій.

1. Ввід геометричних та теплофізичних параметрів будівлі, завдання внутрішньої та зовнішньої температур, а також температури охолодження повітря, фізичних параметрів повітря, води та холодоагенту, технічних параметрів теплових насосів, початкових та кінцевих температур води в системі для різних режимів.

2. Формування функцій зміни параметрів холодильного циклу від температури конденсації холодоагенту для постійних температур випаровування, необхідних для моделювання роботи теплових насосів.

3. Визначення функціональних залежностей теплових навантажень опалення та охолодження будівлі від температури зовнішнього повітря.

4. Порівняльний аналіз та розрахунок теплообмінних поверхонь батарей для режимів опалення та кондиювання будівлі.

5. Формування функцій залежності внутрішньої температури повітря та кінцевої температури води в зворотньому трубопроводі від температури зовнішнього повітря та витрати води в системі відповідно.

6. Аналіз отриманих функцій та визначення раціональних значень площі теплообмінних поверхонь,

швидкості їх обдуву, коефіцієнту оребрення, базової витрати води в системі, що одночасно задовольняє теплові навантаження опалення та охолодження.

7. Формування керуючої залежності витрати води в системі від температури зовнішнього повітря із умови постійності температури внутрішнього повітря ($24 \text{ }^\circ\text{C}$).

8. Визначення енергетичних характеристик теплонасосної системи ГВС (повітря-вода).

9. Визначення раціональних енергетичних характеристик комплексної системи ґрунтового теплонасосного кондиювання та повітряного теплонасосного ГВС будівлі.

Для цієї технології на основі p, i – діаграми обраного холодоагенту (фреон – 11) були визначені функції зміни параметрів холодильного циклу від температури конденсації холодоагенту при температурі випаровування холодоагенту $2 \text{ }^\circ\text{C}$ (для запобігання обмерзання поверхонь випаровувача).

Розглянемо процес обчислення більш детально.

Спочатку визначаються теплові навантаження опалення та охолодження будівлі в залежності від температури зовнішнього повітря, виходячи з теплофізичних характеристик матеріалів та конструкції будівлі, а також температурних умов внутрішнього та зовнішнього середовища.

Виконується розрахунок площі поверхонь теплообміну приладів опалення та витрати води в системі. При цьому, для максимального теплового навантаження системи опалення були прийняті температури у прямому та зворотньому трубопроводах $85 \text{ }^\circ\text{C}$ та $70 \text{ }^\circ\text{C}$ відповідно, а температури води в прямому трубопроводі для режиму охолодження прийнято $10 \text{ }^\circ\text{C}$. В якості комфортної температури внутрішнього повітря для холодного періоду була прийнята температура $21 \text{ }^\circ\text{C}$, а для теплого періоду $24 \text{ }^\circ\text{C}$. Мінімальна температура зовнішнього повітря у холодний період прийнята $-20 \text{ }^\circ\text{C}$, а максимальна в теплий період $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Із розрахунку стає зрозумілим, що для роботи вихідної системи опалення на охолодження в максимальному режимі – необхідно збільшити щонайменше вдвічі площу теплообміну приладів опалення, а також вдвічі збільшити витрату води в системі. Такі дії є нераціональними з точки зору експлуатації. Крім того, збільшення постійної витрати води в системі в 2 рази призведе до значного росту потужності електричного приводу насоса (в 8 разів).

Тому було прийнято рішення застосувати оребрені теплообмінні поверхні, а також, при режимі кондиювання здійснювати постійний поперечний обдув цих поверхонь для підвищення коефіцієнту тепловіддачі від повітря та відповідно коефіцієнта тепlopередачі опалювальних приладів.

Для визначення раціональних значень коефіцієнту оребрення та швидкості обдуву теплообмінних поверхонь були сформовані функції залежності внут-

рішньої температури повітря від температури зовнішнього повітря та залежності кінцевої температури води в зворотньому трубопроводі від витрати води в системі, що працює в режимі кондиціонування. Ці функції були отримані на основі сумісного рішення системи рівнянь теплопередачі та теплового балансу для теплообмінних приладів.

В результаті дослідження цих функцій на предмет вибору значень коефіцієнту обребнення та швидкості обдуву теплообмінних поверхонь, при яких зберігалася б задана температура внутрішнього повітря 24 °С, була визначена швидкість обдуву 2,5 м/с та коефіцієнт обребнення 9. При цьому в єдиному комплексі прораховувалися рівняння теплопередачі та теплового балансу для опалювального режиму системи, з метою визначення єдиної площі теплообміну та витрати води в контурі $G = 0,133$ кг/с. Таку витрату води було взято як базову для обох режимів - опалення та кондиціонування.

Для цих даних, та у відповідності з навантаженням охолодження, були визначені залежності температур води в зворотньому трубопроводі та температури охолодженого повітря від температури зовнішнього повітря при постійному значенні витрати води в системі та постійній температурі води в прямому трубопроводі, що дорівнює 10 °С (рис. 2).

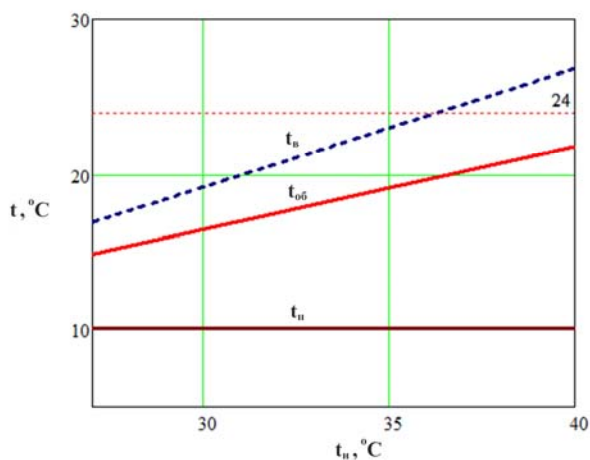


Рисунок 2. Залежності температури води в зворотньому трубопроводі $t_{об}$ та температури охолодженого повітря $t_в$ від температури зовнішнього повітря $t_н$ при температурі води в прямому трубопроводі $t_н=10$ °С

Проаналізувавши отримані залежності можна зробити висновок, що температура охолодженого повітря значно змінюється в залежності від температури зовнішнього повітря (від 17 °С до 27 °С). В той час, як комфортна температура внутрішнього повітря для теплого періоду прийнята рівною 24 °С, та виконується тільки при температурі зовнішнього повітря $t_н=36$ °С. Такі відхилення температури внутрішнього повітря небажані для організму людини.

Було прийнято рішення – здійснювати регулювання температури внутрішнього повітря шляхом змі-

ни витрати води в системі з метою підтримання температури 24 °С при будь-якій температурі зовнішнього повітря.

На базі функціональної залежності температури внутрішнього повітря від температури зовнішнього повітря та витрати води в системі була сформована керуюча залежність масової витрати води в системі від температури зовнішнього повітря з умови постійності заданої комфортної температури внутрішнього повітря (рис. 3). Дану керуючу залежність можна задати в контролер керування системи кондиціонування будівлі.

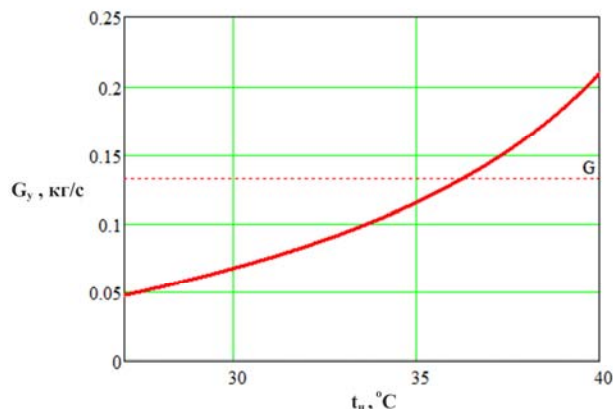


Рисунок 3. Керуюча залежність G_y , витрати води в системі від температури зовнішнього повітря

При виконанні данної залежності витрати води в системі – були отримані нові залежності температури води в зворотньому трубопроводі та температури охолодженого повітря від температури зовнішнього повітря при постійній температурі води в прямому трубопроводі 10 °С (рис. 4).

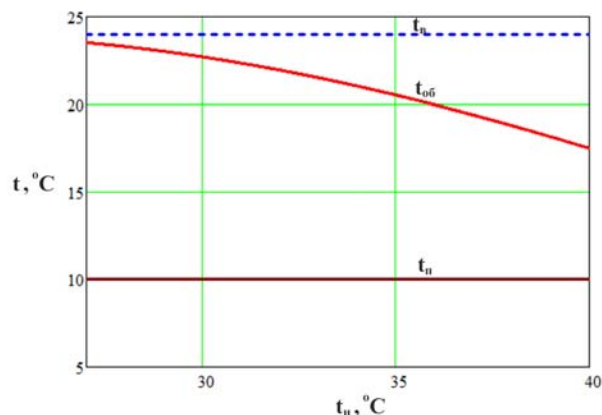


Рисунок 4. Залежність температури води в зворотньому трубопроводі $t_{об}$ та температури охолодженого повітря $t_в$ від температури зовнішнього повітря $t_н$ при впровадженні керуючої залежності

Таким чином, за допомогою керуючої залежності витрати води в системі забезпечено постійність комфортної температури внутрішнього повітря при різних температурах зовнішнього повітря. В якості не-

доліку можна зазначити перевищення значення витрати води в системі відносно базового значення системи опалення, в області високих температур зовнішнього повітря (вище 36 °C) що продемонстровано на рис. 3. Однак, ця область значно менша ніж область задіяних температур зовнішнього повітря, що з запасом компенсує можливе перевищення витрат енергії в зоні високих температур, порівняно з базовою системою.

Для гарячого водопостачання запропоновано використовувати замість теплового акумулятору тепловий насос повітря-рідина, який буде використовувати теплоту зовнішнього повітря та працювати для підвищення ефективності у двох режимах: з температурою випаровування холодоагенту (фреон-11) 20 °C для температур зовнішнього повітря від 27 °C до 37 °C та з температурою випаровування 30 °C для температур зовнішнього повітря вище 37 °C. Це дозволить збільшити коефіцієнт перетворення енергії теплового насосу в 1,5...2 рази (до 14...22) у порівнянні із схемою кондиціонер + тепловий акумулятор.

Система гарячого водопостачання розраховувалася для 7-ми людей, по 70 літрів гарячої води на кожну людину на добу, температура води 38 °C, початкова температура для нагріву 15 °C, витрата гарячої води 5 літрів на хвилину, тепла потужність 8 кВт, потужність приводу теплового насосу 760 Вт в першому режимі, та 470 Вт у другому режимі.

В результаті було проведено порівняння витрат умовного палива між старою системою: кондиціонер та тепловий акумулятор, та новою системою: з двома окремими тепловими насосами на кондиціонування та гаряче водопостачання будівлі в залежності від температури зовнішнього повітря. Враховано витрати на приводи теплових насосів систем водного охолодження та гарячого водопостачання, а також циркуляційного водного насосу системи кондиціонування/опалення будівлі (рис. 5). При цьому розглядався варіант з регульованою витратою води в системі відповідно з створеною керуючою залежністю.

Аналізуючи отриману економію умовного палива, можна сказати про реальну перевагу нової нетрадиційної схеми застосування системи кондиціонування та гарячого водопостачання будівлі в теплий період, порівняно із дослідженою раніше системою з тепловим акумулятором. Варто відмітити максимум економії (18%), що припадає на область найбільш поширеного діапазону температур повітря влітку, при цьому рівень витрати води в системі близький до постійного рівня витрат води в опалювальному режимі, і є трохи меншим. Однак, і мінімальний рівень економії (13,5%) також має відчутне значення.

При цьому, за рахунок застосування теплового насосу повітря-вода, що має більш високі температури випаровування (20 °C та 30 °C) та відповідно коефіцієнти перетворення енергії в порівнянні із кондиціонером (10 °C), отримуємо економію умовного па-

лива окремо в системі гарячого водопостачання від 35% до 60%, не враховуючи те, що об'єм теплового акумулятору в старій схемі в 2 рази перевищував потреби в гарячій воді. Тому в новій технології відпадає необхідність в нагріві зайвих і значних об'ємів води, що призводить до додаткової економії ресурсів.

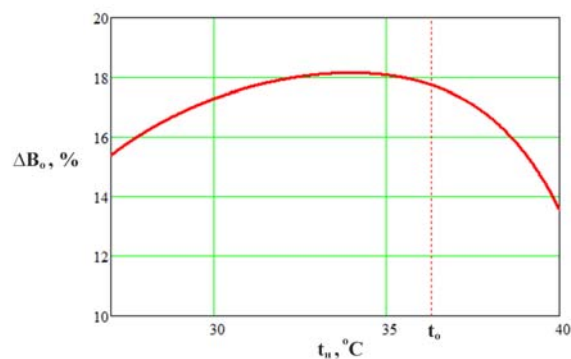


Рисунок 5. Порівняльна економія умовного палива в новій схемі кондиціонування та гарячого водопостачання в залежності від температури зовнішнього повітря порівняно зі старою схемою

В свою чергу, в холодний період року, тепловий насос повітря-рідина може бути переключеним на утилізацію теплоти повітря, що виходить через систему вентиляції, для розвантаження системи гарячого водопостачання, шляхом попереднього холодної води від 5 °C до 11 °C. При цьому для системи гарячого водопостачання економиться не менше 18% теплової енергії, і як наслідок – палива.

Таким чином, використання розробленої технології підвищить енергоефективність системи кондиціонування та гарячого водопостачання будівлі в теплий період.

V. ВИСНОВКИ

Обґрунтовано технології застосування комплексних теплонасосних систем для опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання житлових будівель. Розроблена автоматизована методика визначення раціональних параметрів для реалізації даних технологій. Отримано наступні положення.

1. Використовуючи розроблену автоматизовану методику розрахунку було проаналізовано та визначено, що застосування ґрунтового теплового насосу системи водного опалення з метою кондиціонування будівлі дозволить заощадити в теплий період від 13% до 18% умовного палива в порівнянні зі схемою кондиціонер з тепловим акумулятором.

2. Застосування теплового насосу повітря-рідина в теплий період замість теплового акумулятору для гарячого водопостачання дозволяє окремо в межах системи отримати подвійну економію умовного в теплий період, та до 18% економії в холодний період.

3. Розроблена технологія дозволяє обчислювати раціональні значення конструктивних та режимних

параметрів вихідної ґрунтової системи теплонасосно-го опалення для ефективного використання з метою кондиціонування будівлі та гарячого водопостачання в теплий період року.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Vincenzo Bianco, Federico Scarpa, Luca A. Tagliafico. Estimation of primary energy savings by using heat pumps for heating purposes in the residential sector. *Applied Thermal Engineering*. 2017. Vol. 114. P. 938-947. URL: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.058>
- [2] Олишевский Г. С., Олишевский И. Г. Обоснование применения теплонасосного оборудования для утилизации тепловых потерь в силовых трансформаторах большой мощности. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Ракетно-космічна техніка. / Дніпр. нац. ун-т ім. О. Гончара. – Дніпропетровськ, 2015. – № 4. – Т. 23. – Вип. 18(1) – С. 131-136.* URL: <http://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/issue/view/4>
- [3] Олишевский Г. С., Олишевский И. Г. Обоснование рациональной технологии утилизации теплоты системы кондиционирования для горячего водоснабжения. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Ракетно-космічна техніка. 2019. № 4. Т. 27. вип. 22. С. 35–41.* URL: <http://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/issue/view/1/7>
- [4] Олишевский Г. С., Олишевский И. Г. Рациональные технологии утилизации теплоты системы вентиляции для теплотехнических систем здания. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Ракетно-космічна техніка. 2020. № 4. Т. 28. вип. 22. С. 164–175.* URL: <http://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/issue/view/8>
- [5] Разумный Ю. Т., Заїка В. Т., Степаненко Ю. В. Энергозбереження: навч. посіб. Дніпропетровськ: Издательство Нац. гірн. ун-ту, 2005. 166 с.
- [6] Xiaodong Cao, Xilei Dai, Junjie Liu, Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade, *Energy and Buildings* (2016), <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>
- [7] Сканава А.Н., Махов Л.М.: Отопление: Учебник для вузов.-М.: Издательство АСВ, 2008.-576 с.: ил.
- [8] Корчемний М. Энергозбереження в агропромисловому комплексі [Текст] / М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Вид-во: Підручники і посібники, 2001. – 976 с.
- [9] Теплотехника: Учебник для студентов вузов / Т. 34 А.М. Архаров, С.И. Исаев, И.А. Кожин и др.; Под общ. ред. В.И. Крутова. – М.: Машиностроение, 1986.–432 с.: ил.
- [10] E.M. Ryan, T.F. Sanquist, Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions, *Energy Buildings* (2012), doi:10.1016/j.enbuild.2011.12.020
- [11] Wang, Z., Luo, M., Geng, Y., Lin, B., & Zhu, Y. (2018). A model to compare convective and radiant heating systems for intermittent space heating. *Applied Energy*, 215, 211-226. doi:10.1016/j.apenergy.2018.01.088
- [12] Luis Perez-Lombard, Jose Ortiz, Juan F. Coronel, Ismael R. Maestre, A review of HVAC systems requirements in building energy regulations, *Energy Buildings* (2010), doi:10.1016/j.enbuild.2010.10.025
- [13] Christoph F. Reinhart, Carlos Cerezo Davila, Urban building energy modeling – A review of a nascent field, *Building and Environment*, Volume 97, 2016, Pages 196-202, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.001>
- [14] Gorev V. N. Plasma kinetic coefficients with account for relaxation processes/ V. N. Gorev, A. I. Sokolovsky // *International Journal of Modern Physics B*. – 2015. – V. 29, 1550233
- [15] Gorev V. N. Generalization of the Grad method in plasma physics / V. N. Gorev, A. I. Sokolovsky// *Condensed Matter Physics*. – 2017. – V. 20, No. 2, 23001
- [16] Papaika, Y., Lysenko, O., Koshelenko, Y. and Olishvskyi, I., 2021. Mathematical modeling of power supply reliability at low voltage quality. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), pp.97-103. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/097>

Стаття надійшла до редакції 12.08.2021

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОТОПЛЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

ОЛИШЕВСКИЙ И.Г. аспирант группы 151А-19-2, НТУ «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина, e-mail: olishevskiyih@gmail.com;

ОЛИШЕВСКИЙ Г.С. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электроэнергетики НТУ «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина, e-mail: olishevskiyg@ukr.net;

Цель работы. Разработать автоматизированную методику расчета параметров для теплонасосных систем отопления, кондиционирования и горячего водоснабжения применяемых в бытовых условиях при нестандартных потоках передачи тепловой энергии.

Методы исследования. Математическое моделирование термодинамических процессов протекающих в системах отопления, кондиционирования и горячего водоснабжения.

Полученные результаты. Обоснована и разработана автоматизированная методика расчета параметров нетрадиционной технологии, использующей стандартное теплонасосное оборудование водяного отопления для режима охлаждения воздуха в теплый период и сброса отводимой теплоты в грунт, а для нужд горячего водоснабжения тепловой насос воздух-жидкость, работающий в качестве скоростного водонагревателя.

Сделана оценка разработанных ранее авторами технологий утилизации тепловой энергии в зданиях. Первая технология предусматривает применение схемы с тепловым насосом и тепловым аккумулятором в холодный период и позволяет уменьшить расходы условного топлива в два раза по сравнению с газовой колонкой для горячего водоснабжения на том же объекте. Вторая технология предусматривает утилизацию теплоты с помощью теплового аккумулятора в комплексной системе кондиционирования и горячего водоснабжения в теплый период, что позволяет сэкономить от 74 % до 82 % условного топлива по сравнению со схемой с котлом и кондиционером без теплового аккумулятора.

Сделаны критические выводы о необходимости применения для этих технологий дополнительного нового габаритного оборудования и избыточном количестве получаемой горячей воды. Проанализированы возможности реализации такой схемы. Сделаны аналитически обоснованные рекомендации насчет конструкции (обработка поверхностей) отопительных приборов и параметров режимов их эксплуатации в холодный и теплый (необходимость поперечного обдува) периоды года. При этом соблюдались неизменность площадей теплообмена отопительных приборов и базового расхода воды в системе отопления. Обоснована необходимость в регулировании режима кондиционирования путем изменения расхода воды в системе для поддержания постоянной комфортной температуры внутреннего воздуха при колебаниях внешней температуры.

Научна новизна. Впервые уделяется внимание исследованиям нетрадиционных способов применения теплонасосного оборудования с целью отопления, кондиционирования и горячего водоснабжения жилых помещений. Разработана автоматизированная методика определения рациональных параметров для данных технологий.

Практическая ценность. Разработана автоматизированная методика формирования управляющей зависимости массового расхода воды в системе от температуры наружного воздуха из условия постоянства заданной комфортной температуры внутреннего воздуха. Проанализировано применение воздушного теплового насоса для горячего водоснабжения в теплый период и отмечены высокие коэффициенты преобразования энергии (14...22). Обоснована экономия условного топлива от применения рассмотренной технологии от 13% до 18% по сравнению с технологией, использующей тепловой аккумулятор.

Ключевые слова: Автоматизированная методика; тепловой насос; отопление; горячее водоснабжение; кондиционирование; экономия топлива.

AUTOMATED METHOD OF CALCULATION OF PARAMETERS FOR NON-TRADITIONAL HEATING TECHNOLOGIES AND CONDITIONING OF BUILDINGS

OLISHEVSKIY I.H. graduate student of group 151A-19-2, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: olishevskiyih@gmail.com;

OLISHEVSKIY H.S. PhD, docent of the Department of Power Engineering, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: olishevskiyg@ukr.net;

Purpose. Develop an automated method for calculating parameters for heat pump systems for heating, air conditioning and hot water supply, designed for use in domestic conditions with non-standard heat transfer flows.

Methodology. Mathematical modeling of thermodynamic processes occurring in heating, air conditioning and hot water supply systems.

Findings. The automated method of calculating the parameters of non-traditional technology, which uses standard heat pump equipment of the water heating system for the cooling mode of the air in the warm period of the year, and the discharge of heat dissipated into the ground, was substantiated and developed; and for the needs of hot water supply heat pump air-liquid, acting as a high-speed water heater.

The estimation of technologies of the thermal energy utilization in buildings developed earlier by authors is executed. The first technology involved the use of a heat pump and heat accumulator scheme in the cold season, and halved the consumption of conventional fuel compared to a gas column for hot water at the same facility. The second technology involved heat recovery with the help of a heat accumulator in a complex system of air conditioning and hot water supply in the warm period, which saves from 74 to 82% of conventional fuel compared to the scheme with boiler and

air conditioner without heat accumulator.

Critical conclusions were drawn about the need to use additional dimensional equipment for these technologies and the excess amount of hot water received. Possibilities of realization of such scheme were analyzed. Analytically substantiated recommendations on the design (ribbing of heat exchange surfaces) of heating devices and parameters of their operating modes in the cold and warm periods of the year were given. The condition of invariance of heat exchange areas of heating devices and basic water consumption in the heating system was fulfilled. The need to regulate the air conditioning regime by changing the water flow in the system to maintain a constant indoor air temperature with fluctuations in outdoor air temperature was substantiated.

Originality. For the first time, attention is paid to the study of non-traditional methods of using heat pump heating for heating, air conditioning and hot water supply of residential premises. The automated method for determining rational parameters for these technologies was developed.

Practical value. The automated method of forming the control dependence of the mass flow of water in the system on the outside air temperature on the condition of constancy of the set comfortable indoor air temperature was developed. The use of air-liquid heat pump for hot water supply in the warm period was analyzed, a high energy conversion factor was noted (14 ... 22). The savings of conventional fuel from the application of the considered technology from 13% to 18% in comparison with the technology using a heat accumulator were substantiated.

Keywords: Automated methodology; heat pump; heating; hot water supply; air conditioning; fuel economy.

REFERENCES

- [1] Vincenzo Bianco, Federico Scarpa, Luca A. (2017). Tagliafico. Estimation of primary energy savings by using heat pumps for heating purposes in the residential sector. *Applied Thermal Engineering*. Vol. 114. P. 938-947. URL: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.058>
- [2] Olishevskij, G. S., Olishevskij, I. G. (2015). Obosnovanie primeneniya teplonasosnogo oborudovaniya dlja utilizacii teplovyh poter' v silovyh transformatorah bol'shoj moshnosti. *Visnik Dnipropetrovs'kogo universitetu*. Serija: Raketno-kosmichna tehnika. / Dnipr. nac. un-t im. O. Gonchara, Dnipropetrovs'k, No 4, 23, Vip. 18(1), 131-136. URL: <http://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/issue/view/4>
- [3] Olishevskij, G. S., Olishevskij, I. G. (2019). Obosnovanie racional'noj tehnologii utilizacii teploty sistemy kondicionirovaniya dlja gorjachego vo-dosnabzhenija. *Visnik Dnipropetrovs'kogo univer-sitetu*. Serija: Raketno-kosmichna tehnika. No 4, Vol. 27, 22, 35–41. URL: <http://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/issue/view/1/7>
- [4] Olishevskij, G. S., Olishevskij, I. G. (2020). Racional'nye tehnologii utilizacii teploty sistemy ventiljacii dlja teplotehnicheskikh sistem zdaniya. *Visnik Dnipropetrovs'kogo universitetu*. Serija: Raketno-kosmichna tehnika. No 4, Vol. 28, 22, 164–175. URL: <http://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/issue/view/8>
- [5] Razumnij Ju. T., Zaïka V. T., Stepanenko Ju. V. (2005). *Energozberezhennja: navch. posib. Dnipropetrovs'k: Izdatel'stvo Nac. girn. un-tu*, 166 s.
- [6] Xiaodong Cao, Xilei Dai, Junjie Liu, (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade, *Energy and Buildings*, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>
- [7] Skanavi, A.N., Mahov, L.M. (2008). *Otoplenie: Uchebnik dlja vuzov*, Moscow, Izdatel'stvo ASV, 576.
- [8] Korchemnij, M., Fedorejko, V., Shherban, V. (2011). *Energozberezhennja v agropromi-slovomu kompleksi [Tekst]*. Ternopil': Vid-vo: Pidruchniki i posibniki, 976 s.
- [9] Arharov, A.M., Isaev, S.I., Kozhinov, I.A. (1986). *Teplotehnika: Uchebnik dlja studentov vtuzov*. Vol. 34. Moscow, Mashinostroe-nie, 432.
- [10] E.M. Ryan, T.F. Sanquist, (2012). Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions, *Energy Buildings*, doi:10.1016/j.enbuild.2011.12.020
- [11] Wang, Z., Luo, M., Geng, Y., Lin, B., & Zhu, Y. (2018). A model to compare convective and radiant heating systems for intermittent space heating. *Applied Energy*, 215, 211-226. doi:10.1016/j.apenergy.2018.01.088
- [12] Luis Perez-Lombard, Jose Ortiz, Juan F. Coronel, Ismael R. Maestre, A review of HVAC systems requirements in building energy regulations, *Energy Buildings* (2010), doi:10.1016/j.enbuild.2010.10.025
- [13] Christoph F. Reinhart, Carlos Cerezo Davila, (2016). Urban building energy modeling – A review of a nascent field, *Building and Environment*, Vol. 97, 196-202, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.001>
- [14] Gorev, V. N., Sokolovsky, A. I. (2015). Plasma kinetic coefficients with account for relaxation processes. *International Journal of Modern Physics B*. Vol. 29, 1550233
- [15] Gorev V. N. (2017). Generalization of the Grad method in plasma physics / V. N. Gorev, A. I. Sokolovsky// *Condensed Matter Physics*. Vol. 20, No. 2, 23001
- [16] Papaïka, Y., Lysenko, O., Koshelenko, Y. and Olishevskiy, I., (2021). Mathematical modeling of power supply reliability at low voltage quality. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), pp.97-103. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/097>