

Представлено результати чисельного експерименту й проведено їх аналіз.

Згідно отриманих даних можна зробити висновок, що запропонований підхід ефективний при розв'язанні тестової задачі. Застосування розпаралелювання на відеокарті дає відчутне зменшення часу розв'язання задачі, дозволяє зменшувати часові й просторові кроки, тим самим покращувати точність розв'язку.

Так як алгоритм розпаралелювання для тестової задачі аналогічний алгоритму розв'язку складних рівнянь, що складають прогностичні метеорологічні моделі, можна стверджувати, що запропонований підхід ефективний для реалізації останніх. Тобто, паралельні обчислення на відеографічних процесорах й засоби CUDA доцільно застосовувати при реалізації математичних моделей циркуляції атмосфери.

Література

1. *Prusov V.A., Doroshenko A.Y.* Modelling of natural and anthropogenic processes in the atmosphere. – Kyiv: Naukova Dumka, 2006. – 542 p. (in ukr.)
2. *Gordeziani D.G., Meladze G.V.* Simulation of the third boundary value problem for multidimensional parabolic equations in an arbitrary domain by one-dimensional equations. – *Zn vychisl. Mat. Mat. Fiz.* – 1974. - №1. – P. 246- 250 (in rus.)
3. *Prusov V.A., Doroshenko A.Y., Chernish R.I., Huk L.M.* Efficient difference scheme numerical solution of the convective diffusion problem. – *Cybernetics and Systems Analysis.* - 2007. - №3. - P. 64 – 74 (in rus.).
4. *Chernysh R.I.* Modified additive-averaged splitting algorithm, its parallel realization and application to meteorological problems. – Manuscript. Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, 2010 (in ukr.)
5. *NVIDIA.* NVIDIA CUDA C Programming Guide 4.1, November 2011.

УДК 004.414.2

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМИ ОПАЛЕННЯ НА БАЗІ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

Медведєва В. М., Ключник А. А.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ НА БАЗЕ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Медведева В. М., Ключник А. А.

AUTOMATION THE DESIGN PATTERNS HEATING SYSTEM BASED ON HEAT PUMP INSTALLATIONS

Medvedeva V., Kliuchnyk A.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Кафедра автоматизації проектування енергетичних процесів та систем

vnm@aprodos.kpi.ua

В статті розглянуто систему автоматизації проектування схеми опалення, приведено огляд варіанту опалення приміщення з використанням теплонасосних установок кількох типів, в яких у якості джерела низькопотенціальної енергії використовуються: ґрунт, ґрунтові води, атмосферне повітря. Приведено автоматично спроектовану типову схему опалення та розрахунок роботи ТНУ для будинку 10х10х3 м, наведено порівняльну характеристику фізичних та економічних показників.

Ключові слова: теплонасосна установка, ТНУ, автоматизація проектування, схема опалення, тепловий насос

В статье рассмотрена система автоматизации проектирования схемы отопления, приведены обзор варианта отопления помещения с использованием теплонасосных установок нескольких типов, в которых в качестве источника низкопотенциальной энергии используются: грунт, грунтовые воды, атмосферный воздух. Приведены автоматически спроектированную типовую схему отопления и расчет работы ТНУ Дом 10х10х3 м, приведена сравнительная характеристика физических и экономических показателей.

Ключевые слова: теплонасосная установка, ТНУ, автоматизированное проектирование, схема отопления, тепловой насос

The article considers a system of computer-aided design scheme of heating, given an overview of alternative space heating using heat pump units of several types, which as a source of low potential energy are used: soil, groundwater, air. Powered automatically projected diagram of a typical heating and calculation work TNU Home 10h10h3 m, shows the comparative characteristics of physical and economic indicators.

Keywords: heat pump installation, TNU, computer aided design, circuit heating heat pump

1. Вступ

Тепловий насос - екологічно чиста система, що дозволяє отримувати тепло для опалення приміщень за рахунок використання низькопотенційних джерел і перенесення його до теплоносія з більш високою температурою[2]. В якості низькопотенційних джерел можуть використовуватися ґрунтові та артезіанські води, тепло ґрунту, атмосферне повітря, вторинні енергетичні ресурси. Витрачаючи 1 кВт електричної потужності в приводі компресійної теплонасосної установки (ТНУ), можна отримати 3-4, а за певних умов і до 5-6 кВт теплової потужності, що при довгостроковому використанні являється економічно найвигіднішим рішенням серед інших варіантів опалення: газом, електрикою, рідким чи твердим паливом та ін.

Варіантів опалення приміщення існує кілька десятків. Всі вони кардинально відрізняються одне від одного. На рис.1 показана діаграма приблизної вартості опалення приватного будинку площею від 100 до 400м кв. протягом року в гривнях[1], використовуючи різні варіанти опалення.

Як видно з діаграми на рисунку 1, при великих площах приміщення вже протягом одного року використання теплового насосу в декілька разів більш економічно вигідне. Також можна помітити, що й при малих площах будівлі, економічна перевага залишається на стороні ТНУ, а при багаторічному використанню ця перевага стає ще більш очевидною.

Зважаючи на дороговартісне обладнання ТНУ та об'єм роботи по її встановленню, потрібно прийняти правильне рішення у виборі найбільш підходящого типу ТНУ для кожного конкретно приміщення, враховуючи особливості його побудови та геолокації. Виходячи з цього актуальним є автоматизація проектуванням схеми опалення на базі теплонасосної установки.

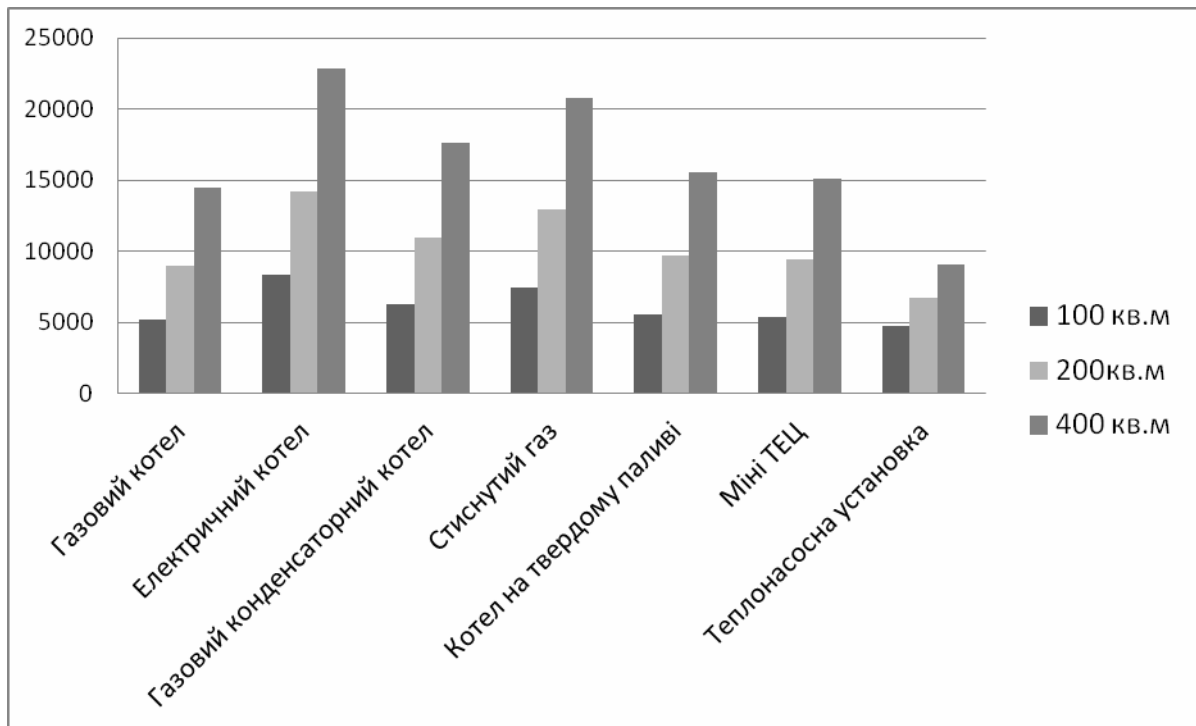


Рис. 1. Діаграма затрат на опалення

2. Постановка задачі

Розглянемо використання теплонасосної установки для опалення приватних помешкань. Серед усіх видів ТНУ, найбільшого розповсюдження набули геотермальні замкнутого типу (грунт, наземні або підземні ґрунтові води) та повітряні[3]. Кожен тип має свої особливості як при встановленні, так і в процесі роботи. Для досягнення найоптимальніших результатів, при виборі типу установки слід враховувати геолокацію будинку, його площу, матеріали з якого він побудований, та необхідні для користувача термічні показники всередині приміщення. Розглянемо для прикладу одноповерховий будинок з дерева, площею 100м кв. який знаходиться в київській області.

3. Розрахунок ТНУ

Блок задання даних користувачем.

1. Вказуємо розміри будинку: довжина $a=10\text{м}$, ширина $b=10\text{м}$, висота $h=3\text{м}$.
 2. Кількість поверхів $n=1$.
 3. Тип огорожувальної конструкції: дерево, $\lambda=0.4 \text{ В/м}^{\circ}\text{К}$
 4. Задаємо бажану температуру всередині приміщення.
 5. Задаємо місто України, яке відноситься до однієї з температурних зон, для встановлення температури зовнішнього повітря для проектування опалення (середня температура зовнішнього повітря найбільш холодної п'ятиденки з 8 найбільш суворих зим за останні 50 років)[4].
 6. Вибираємо джерело низькопотенціальної енергії - ґрунт.
- Розраховуємо теплові втрати через огорожувальні конструкції

1. Розрахунок теплових втрат через стіни

$$Q_{st} := \frac{(t_{vn_pov} - t_{zovn})}{\frac{1}{\alpha_{in}} + \frac{\delta}{\lambda} + R_{pov_st} + \frac{1}{\alpha_{out}}} \cdot (2 \cdot h \cdot b + 2 \cdot h \cdot a) \cdot (1 - part_window) = 6.367 \times 10^3 \text{ W}$$

2. Розрахунок теплових втрат через підлогу

$$Q_{floor} := \frac{(t_{vn_pov} - t_{gr_water})}{\frac{1}{\alpha_{in}} + R_{gr} + R_{floor} + \frac{1}{\alpha_{out}}} \cdot (a \cdot b) = 726.875 \text{ W}$$

3. Розрахунок теплових втрат через перекриття

$$Q_{attic} := \frac{(t_{vn_pov} - t_{attic})}{\frac{1}{\alpha_{in}} + R_{ceiling} + \frac{1}{\alpha_{out_attic}}} \cdot (a \cdot b) = 7.693 \times 10^3 \text{ W}$$

4. Розрахунок теплових втрат через вікна

$$Q_{window} := \frac{(t_{vn_pov} - t_{zovn})}{\frac{1}{\alpha_{in}} + R_{pov_w} + \frac{1}{\alpha_{out}}} \cdot (2 \cdot h \cdot b + 2 \cdot h \cdot a) \cdot part_window = 999.818 \text{ W}$$

5. Розрахунок сумарних теплових втрат через огорожувальні конструкції

$$Q_{\Sigma} := Q_{st} + Q_{floor} + Q_{attic} + Q_{window} = 1.579 \times 10^4 \text{ W}$$

Розрахунок параметрів опалювальних приладів.

1. Температура води в подаючому та зворотньому трубопроводі

$$t_{pd} := 60 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_{zv} := 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

2. Розраховуємо середньологарифмічний температурний напір опалювального пристрою (тепла підлога) між теплоносієм в трубках (вода) та повітрям в кімнаті

$$dt_{warm_floor} := \frac{(t_{pd} - t_{zv})}{\ln\left(\frac{t_{pd} - t_{vn_pov}}{t_{zv} - t_{vn_pov}}\right)} = 34.761 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3. Тепловий потік від теплої підлоги

$$Q_{warm_floor} := \frac{Q_{\Sigma}}{n} = 1.579 \times 10^4 \text{ W} \quad v := \frac{Q_{warm_floor}}{4190 \cdot (t_{pd} - t_{zv}) \cdot 1000 \cdot \pi \cdot 0.01^2} = 1.199 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4. Довжина трубки, що утворює теплообмінник теплої підлоги

$$d_{warm_floor} := 0.02 \text{ m} \quad l_{warm_floor} := \frac{Q_{warm_floor} \cdot n}{k \cdot dt_{warm_floor} \cdot \pi \cdot d_{warm_floor}} = 1.29 \times 10^3 \text{ m}$$

Блок розрахунку термодинамічних характеристик теплового насосу.

1. Теоретичний коефіцієнт перетворення ідеального теплового насосу за формулою Карно становить

$$\varepsilon_{\text{Карно}} := \frac{t_{pd} + 273}{t_{pd} - t_{npd}} = 5.946$$

2. Потужність компресора

$$\varepsilon = Q_{\Sigma} / N$$

$$N_{\text{Карно}} := \frac{Q_{\Sigma}}{\varepsilon} = 2.655 \times 10^3 \text{ W}$$

3. Теплова потужність низькопотенційного джерела з енергобалансу

$$Q_{\text{source}} := Q_{\Sigma} - N = 1.313 \times 10^4 \text{ W}$$

Блок розрахунку параметрів низькопотенційного джерела з енергобалансу (на основі розрахункових формул, запропонованих Гершковичем).

1. Температура води в подаючому та зворотньому трубопроводі (в ґрунті)

$$\begin{aligned} t_{\text{gr2}} &:= 2 \text{ } ^\circ\text{C} & t_{\text{gr1}} &:= -3 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t_{\text{mid_gr}} &:= \frac{(t_{\text{gr2}} + t_{\text{gr1}})}{2} = -0.5 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2. Тепловий потік від труб на погонний метр та розрахункова довжина труби (дані розрахунки не проводяться для ТНУ де джерело - повітря)

$$q_{\text{gr}} := (1.4 \cdot \lambda_{\text{gr}} - 0.5) \cdot (t_{\text{npd}} - t_{\text{mid_gr}}) = 6.57 \frac{\text{W}}{\text{m}} \quad l_{\text{gr}} := \frac{Q_{\text{source}}}{q_{\text{gr}}} = 1.999 \times 10^3 \text{ m}$$

4. Автоматизація проектування схеми опалення

Розроблене програмне забезпечення призначене для автоматизації проектування схеми опалення на базі теплонасосної установки, рисунок 2.

На основі введених користувачем вхідних даних обраховуються параметри для побудови схеми опалення. Враховуються всі можливі варіації обрахунків для отримання узагальненої схеми, що відображає роботу різних типів ТНУ на одному й тому ж об'єкті, що дає змогу користувачеві миттєво бачити всі показники, та різницю в них при використанні різних джерел низькопотенційної енергії. Можливі будь-які корегування вхідних даних.

Система працює наступним чином: відкривши програму, користувач повинен пройти реєстрацію, де необхідно вказати основні дані: прізвище, ім'я, логін, пароль. Після задання вищевказаних даних автоматично відбувається авторизація і користувач перейде на наступну сторінку, де безпосередньо й вказує вхідні дані, по яких і відбуватиметься розрахунок параметрів схеми та побудова самої схеми опалення.

В залежності від обраного типу ТНУ, який визначається за джерелом низькопотенційної енергії (ґрунт, ґрунтові води, повітря), проектується схема опалення, яка відразу відображає основні термофізичні показники роботи ТН, температуру в приміщенні, а також показники енергоспоживання компресора.

Крім цього відображаються параметри опалювального контуру, такі як довжина внутрішнього та зовнішнього контурів. Користувач може зберігати схеми, задавши їм назву, додавати нові схеми, редагувати попередньо спроектовані, перезбергати їх під іншими назвами, та видаляти будь-які з них. Це можливо завдяки використанню в системі бази даних, в якій зберігаються дані вказані користувачем при реєстрації, параметри схем при проектуванні та самі схеми. Варто відмітити, що в БД автоматично заносяться останні зміни в схемі опалення, на випадок, якщо користувач забув зберегти свою останню схему, також варто відмітити, що редагування попередньо збережених схем, без натискання користувачем "зберегти" не залишаються в БД, тобто людина сама вирішує чи підходять йому оновленні в процесі редагування зміни, чи залишаються попередньо збережені дані. В базі даних MySQL, інформація знаходиться в хешованому вигляді, тому введені користувачем дані про його будинки та отримані в результаті проекти схем, доступні лише йому.

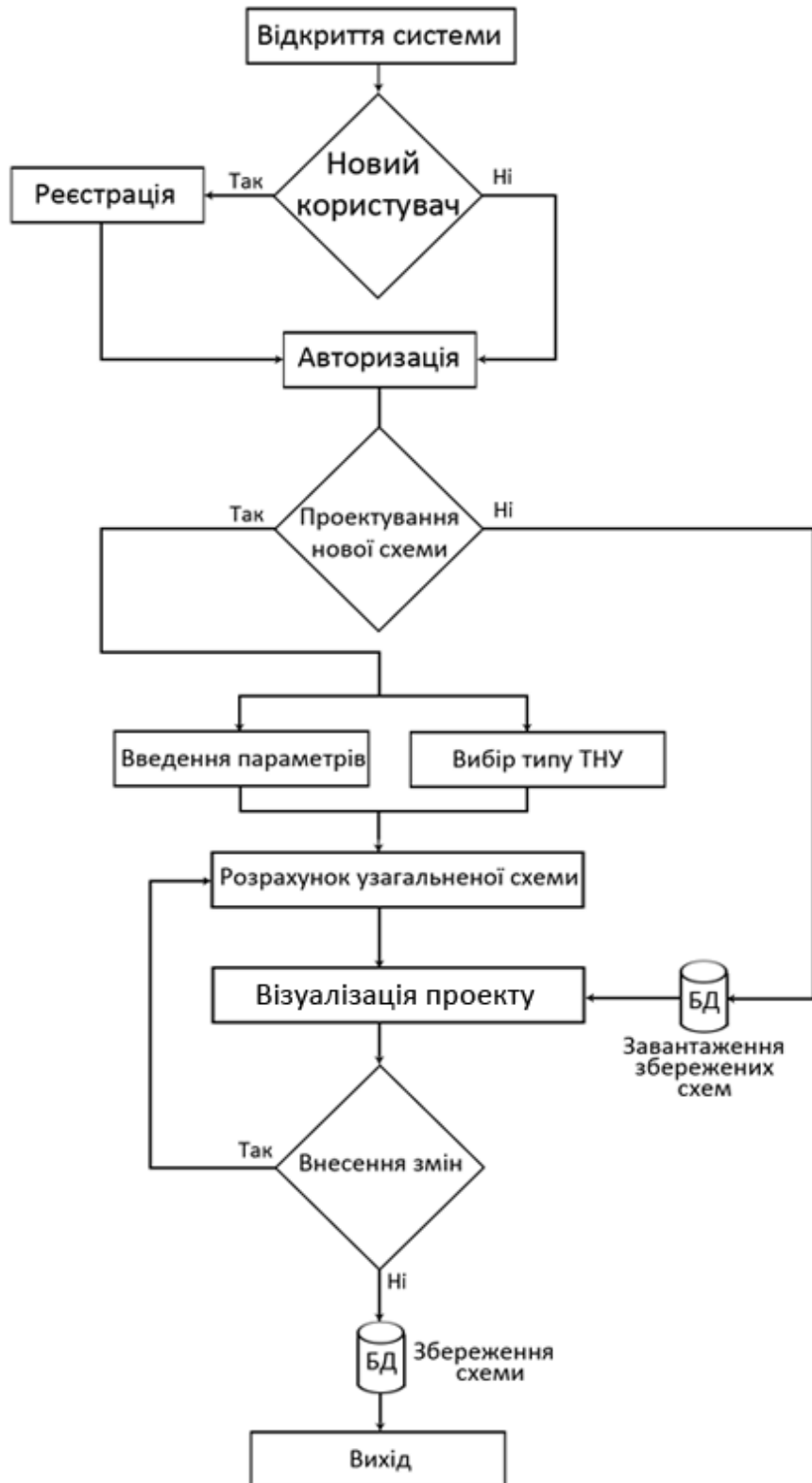


Рис. 2. Блок схема роботи системи

Програмне забезпечення реалізоване у вигляді сайту. Для максимальної зручності користувачів, щоб скористатись системою, потрібно лише ввести адресу посилання у вікні браузера. При розробці програмного продукту використані мови програмування PHP та JavaScript, основні переваги яких: висока продуктивність, функціональність, безкоштовність, простота в використанні, кросплатформеність[5].

Використання JavaScript робить функціонування системи миттєвим та надійним та завдяки технології AJAX надає змогу динамічного оновлення даних в системі, для прийняття миттєвих змін в схемі опалення, та відображення нових результатів.

Отриману в результаті автоматизованого проектування за проведеними розрахунками схему, показано на рисунку 3.

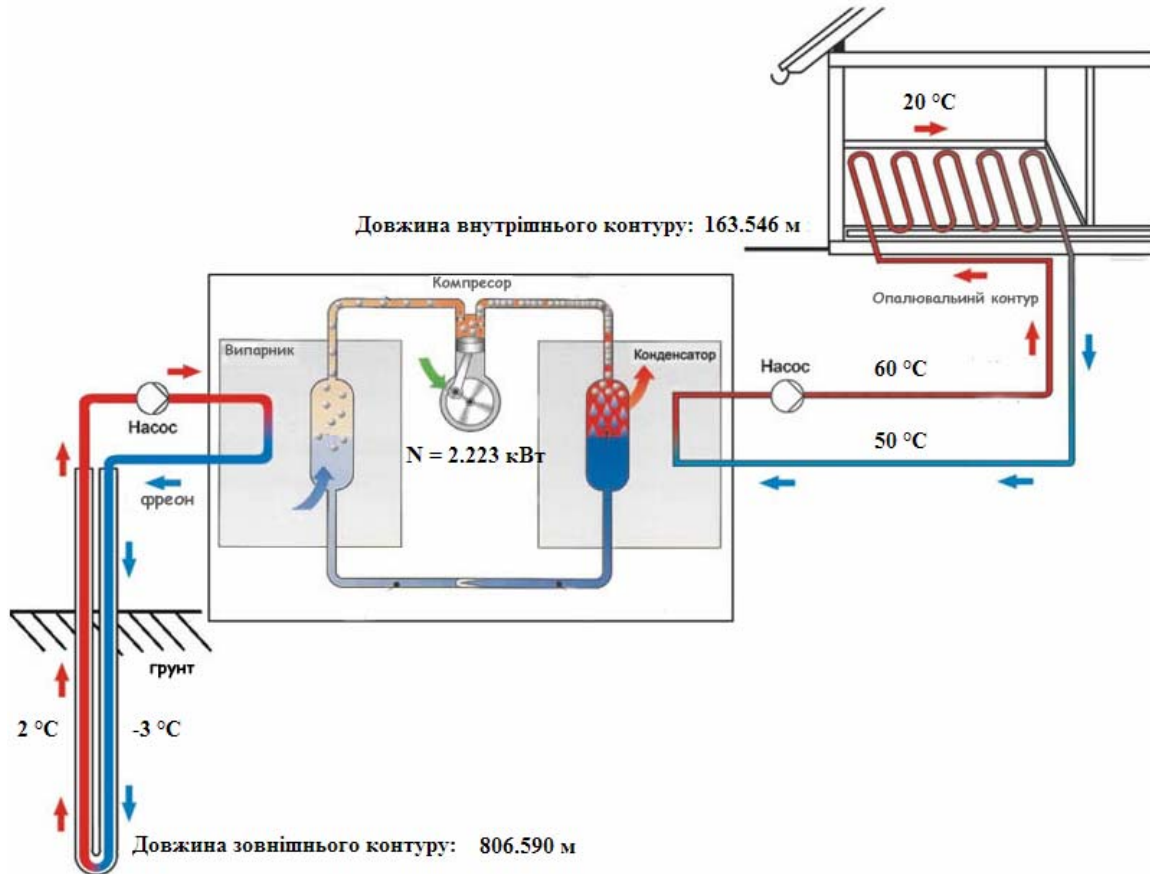


Рис. 3. Спроектована схема опалення

З проведених вище розрахунків отримуємо, що для опалення одноповерхового будинку площею 100 м кв., в київській області, для підтримання всередині комфортної температури 20 градусів цельсія, застосовуємо теплонасосну установку з джерелом низькопотенціальної енергії - ґрунтом, довжина необхідного зовнішнього контуру 807 метрів, довжина внутрішнього контуру 164 метрів, необхідна потужність компресора 2.22 кВт, що як бачимо не багато більше звичайного електрочайника, така кількість споживаної енергії досягається за рахунок використання великого зовнішнього контуру, що дає значну площу теплообміну з ґрунтом. Затрати на монтаж теплонасосної установки при довгостроковому використанні, особливо в приміщеннях великою площею, в кінцевому результаті виходять більш економічно вигідними, в порівнянні із затратами на інші види опалення, зокрема: газовим котлом, котлом на рідкому паливі, котлом на твердому паливі, мініТЕЦ. Тому використання ТНУ для опалення будинку являється найбільш економічно вигідним рішенням, а для того щоб вибрати найбільш підходящий варіант цього способу опалення, доцільно скористатися автоматизацією проектуванням схеми опалення на базі теплонасосної установки, що врахує всі особливості будови та геолокації кожного конкретного будинку, та відобразить приблизні термофізичні та енергетичні показники для досягнення бажаних результатів від системи опалення. Найбільшого розповсюдження

використання теплонасосних установок набуло в промисловій сфері, враховуючи великі площі приміщень, насичений графік роботи об'єктів та інші чинники.

5. Висновки

Розроблена система автоматизації дозволяє користувачу ввівши базові параметри приміщення та необхідні для нього температурні показники отримати спроектовану схему опалення на базі теплонасосної установки. Схема являється узагальненою для трьох основних типів ТНУ, показники роботи яких обраховуються по одних і тих же заданих вхідних параметрах, що дає змогу детально бачити різницю в роботі кожного типу та обрати користувачу найбільш вигідний варіант. Також передбачено можливість вносити будь-які зміни в уже готову схему, та миттєво отримувати нові результати, щоб досягти найоптимальніших показників. Окрім побудови узагальненої типової схеми опалення одночасно для різних типів ТНУ, новизною в даній системі є те, що вона обраховує параметри зовнішнього контуру, що є ключовим моментом при виборі в якості низькопотенційного джерела енергії - ґрунту. Враховуючи велику довжину контуру (600-900м) важливим є його правильне розміщення, глибина вкопування, інтервал витків, кількість колін на 100м, врахування питомої тепловіддачі ґрунту в даному регіоні, умовний діаметр та матеріал застосовуваних труб в горизонтальному колекторі. Правильно задавши всі параметри можна одночасно досягти невеликої площі розміщення колектора та оптимальних теплових характеристик, що позитивно вплинуть на роботу ТН, особливо в плані споживання електроенергії. Система автоматизації наперед враховує всі особливості контуру, які раніше бралися до уваги уже перед встановленням ТНУ, що в даному випадку дає користувачу більш точні результати вже на етапі проектування, та змогу максимально оцінити всі аспекти використання даного типу ТУ, порівнявши з іншими типами безпосередньо на схемі опалення.

Література

1. *Горишков В. Г.* Тепловые насосы аналитический обзор // Справочник промышленного оборудования. 2004. №.2. С. 12-14.
2. *Беляева Т. Г.* Оценка экономической целесообразности использования тепловых насосов в частной промышленности. Т. Г. Беляева, А. А. Рутенко, М. В. Ткаченко, О. Б. Басок // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т.31, – № 5. – С. 81 – 87.
3. *Осипов А. Л.* Исследование и разработка схем теплоснабжения для использования низкопотенциального тепла на основе применения теплонасосных установок: дис. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Осипов Айрат Линарович. – Казань. 2005. – 117 с.
4. *Теплова ізоляція будівель:* ДБН В.2.6–31:2006. – [Чинні від 2007–04–01] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2006. – 65 с. – (Державні будівельні норми України).
5. *Ратишлєв Т., Геркен Т.* РНР4: разработка Web-приложений. - СПб: Питер, 2001.