

**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА**

Факультет прикладної математики та інформатики

(повне найменування назва факультету)

Кафедра інформаційних систем

(повна назва кафедри)

КУРСОВА РОБОТА

на тему:

**Розробка програмного забезпечення для
користувацького контролю систем
геотермальних теплових насосів**

Студентки 4 курсу, групи ПМІ-44,
напряму підготовки Комп'ютерні науки

Ковальчук С. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник асист. каф. ІС, канд. фіз.-мат. наук

Стельмахук В. В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Львів – 2021

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	4
ВСТУП.....	5
1. АКТУАЛЬНІСТЬ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ. ВИДИ ГТН	8
1.1. Загальна характеристика геотермальної енергії та її використання у світі....	8
1.2. Використання геотермальної енергії в Україні	11
1.3. Геотермальні теплові насоси: визначення та загальні характеристики. Види ГТН	13
Висновки до розділу 1	18
2. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СИСТЕМАМИ ГТН ЗАМКНУТОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПУ .	19
2.1. Аналіз найпоширеніших аналогів програмного забезпечення для керування системами ГТН.....	19
2.2. Засоби розробки	22
2.3. Проєктування моделі системи.....	23
2.4. Діаграма прецедентів розробленої системи. Архітектура ПЗ.....	25
Висновки до розділу 2	27
3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СИСТЕМАМИ ГТН ЗАМКНУТОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПУ	29
3.1. Системні вимоги та інсталяція ПЗ	29
3.2. Особливості використання програмної системи	30
3.2.1. Особливості інтерфейсу програми	30
3.2.2. Налаштування системи та графіки моделювання роботи	32
3.2.3. Перший запуск ПЗ та вхід в систему.....	33

3.2.4. Тестування коректності роботи ПЗ	34
Висновки до розділу 3	35
ВИСНОВКИ.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ТН – тепловий насос

ГТН – геотермальний тепловий насос

у. п. – умовне паливо

ПЗ – програмне забезпечення

ОС – операційна система

ГВП – гаряче водопостачання

DWIM – Do What I Mean (з англ. «роби те, що я маю на увазі»)

ВСТУП

Уявімо таку картину: 2030 рік. Відновлювальні джерела енергії забезпечують понад 30% енергетичних потреб України. Загальне споживання енергії значно зменшилось порівняно з рівнем 2000х років. Вітряні електростанції з кількома мегаватами, сонячні теплові ферми та установки, що працюють на основі біомаси стали звичними елементами місцевих краєвидів. Біопаливо та водень, отриманий від сонця, дозволяють керувати автомобілями, поїздами, громадським транспортом. Технологія фотоелектричної енергії перетворює сонячне світло безпосередньо у електрику у віддалених куточках України. Високотемпературна та безпосередня геотермальна енергія – це побутові слова, а геотермальні теплові насоси дозволяють опалювати чималу частину існуючих приміщень.

На перший погляд ця картина більше нагадує далеку від реальності футуристичну мрію, але фактично це є частиною прогнозу сталого енергетичного розвитку міжнародного агентства з відновлюваної енергетики (IRENA) у їхньому фінальному звіті під назвою «Дорожня карта розвитку відновлюваної енергетики в Україні до 2030 року REMAP – 2030».

За даними експертів Агентства IRENA, у 2030 році частка енергії з відновлюваних джерел в кінцевому енергоспоживанні країни може становити щонайменше 21%. Така мета відповідає і розрахункам, які проводили фахівці Держенергоефективності та представники експертного середовища [1].

Експерти передбачають, що 72% енергії з відновлюваних джерел використовуватиметься для вироблення тепла, 20% - для генерації електроенергії, а 8% - у транспортному секторі.

Також експерти Агентства IRENA відзначили, що Україна має достатній потенціал відновлюваної енергетики для досягнення цілей, визначених у дорожній карті REMAP – 2030. Загалом розроблений документ дозволяє проаналізувати стан та перспективи розвитку сфери відновлюваної енергетики із врахуванням діючого в Україні законодавства щодо стимулів та преференцій в цій сфері [1-2].

Одним із пристроїв, здатних зробити істотний внесок в економію енергії, з вищезазначених прогнозів, є геотермальний тепловий насос (далі ГТН). Підвищення потенціалу (температури) низькопотенційного тепла дозволяє залучити нові джерела, такі як навколишнє повітря, а також зовнішнє тепло, яке не можна було використовувати через його низьку температуру.

Україна має великий потенціал розвитку геотермальної енергетики. Це обумовлено термогеологічними особливостями рельєфу та особливостями геотермальних ресурсів країни. Проте, на даний час наукові, геолого-розвідувальні та практичні роботи в Україні зосереджені тільки на геотермальних ресурсах, які представлені термальними водами. За різними оцінками, економічно-доцільний енергетичний ресурс термальних вод України становить до 8,4 млн. т н.е./рік.

Практичне освоєння термальних вод в Україні велося в тимчасово окупованій території АР Крим, де було споруджено 11 геотермальних циркуляційних систем, які відповідають сучасним технологіям видобування геотермального тепла землі. Усі геотермальні установки працювали на дослідницько-промисловій стадії.

Великі запаси термальних вод виявлено і на території Чернігівської, Полтавської, Харківської, Луганської та Сумської областей. Сотні свердловин, які виявили термальну воду і знаходяться в консервації, можуть бути відновлені для їх подальшої експлуатації в якості системи видобування геотермального тепла [3].

Загалом розвиток геотермальної енергетики розпочався у 1800х роках на рівні з сонячною енергетикою, які стали найновішими з-поміж відомих людству різновидів відновлювальної енергетики. В Україні ж першу геотермальну систему було збудовано у 1988 році, станом на 2004 рік загалом було введено 9 таких установок [4].

За прогнозами Національних планів дій з відновлюваної енергетики країн Європейського Союзу електричне застосування геотермальної енергії повинно було подвоїти її виробництво до 2020 р., що стало реальністю минулого року [3].

Оскільки геотермальна енергетика є найбільш перспективною з-поміж інших видів відновлювальних джерел енергії щодо питань утеплення приміщень та використання у побуті, попит на встановлення геотермальних насосів щороку

зростає. Але найбільшою проблемою, яку я зауважила, що, попри зростання попиту на встановлення ГТН, в Україні досі не існує жодного якісного прототипу програмного забезпечення для керування такими типами установок, а програмне забезпечення, яке використовується, не підтримується українською мовою та інтерфейс існуючих аналогів є настільки незрозумілим, що його обслуговують фахівці з питань встановлення даної техніки, через що підприємства чи користувачі, які хочуть встановити ГТН у приватних будівлях, повинні сплачувати послуги з підтримки та періодичних налаштувань даної установки.

Метою цієї роботи є дослідити найпоширеніші види геотермальних установок на території України, знайти існуючі аналоги програмного забезпечення, які найчастіше використовуються для керування ГТН у приватних будівлях та на установках в Україні, визначити плюси та мінуси кожного з переглянутих ПЗ та створити програмне забезпечення українською мовою, яке буде більш доступним та практичним у використанні не лише для вузьких фахівців, що займаються окремими питаннями теплонасосної техніки, а й для широкого кола повсякденних споживачів, які планують встановлювати ГТН у приватних будівлях, керівників підприємств, які мають на меті підвищити використання низькопотенційного тепла у власних технологіях, архітекторів, які проєктують будівлі зі зниженим споживанням енергії, підприємців, що бажають створити у себе центри відпочинку та плавальні басейни.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ. ВИДИ ГТН

Як нам відомо, внаслідок перебігу ядерних реакцій під поверхнею Землі температура її ядра становить приблизно 6500 °С, а на глибині 10 км від поверхні — від 200 до 270 °С. Такий природний потенціал є перспективним для використання в енергетиці, оскільки він майже невичерпний і може надовго забезпечити людство екологічно чистою енергією. Як свідчать розрахунки, в разі використання теплоти Землі в промислових масштабах протягом 40—50 млн років температура її ядра знизиться менш ніж на 10 °С. Сьогодні близько 90 країн світу мають значний потенціал для виробництва тепла й електрики, 24 з них використовують геотермальні технології на практиці[6]. Теплоту геотермальних джерел використовують для локального теплопостачання, в тому числі з використанням теплових насосів, для підігріву води в плавальних і бальнеологічних басейнах, теплицях, в агропромисловому комплексі (сушіння, вироблення холоду). У 2014 р. світове виробництво електроенергії на геотермальних станціях становило 73,6 млрд кВт·год на рік, що еквівалентно економії близько 25 млрд м³ природного газу [6] і дозволяє знизити на 148 млн т викиди CO₂ в атмосферу.

1.1. Загальна характеристика геотермальної енергії та її використання у світі

З усіх видів геотермальної енергії найкращі економічні показники демонструють гідрогеотермальні ресурси — термальні води, пароводяні суміші і природна пара.

Гідрогеотермальні ресурси, які використовуються на сьогодні практично, складають лише 1 % від загального теплового запасу надр. Досвід показав, що перспективними в цьому відношенні варто вважати райони, в яких зростання температури з глибиною відбувається досить інтенсивно, колекторські властивості гірських порід дозволяють одержувати з тріщин значні кількості нагрітої води чи

пари, а склад мінеральної частини термальних вод не створює додаткових труднощів по боротьбі із солевідкладеннями і кородуванням устаткування.

Аналіз економічної доцільності широкого використання термальних вод показує, що їх варто застосовувати для опалення і гарячого водопостачання комунально-побутових, сільськогосподарських і промислових підприємств, для технологічних цілей, добування цінних хімічних компонентів і ін. Гідрогеотермальні ресурси, придатні для одержання електроенергії, становлять 4 % від загальних прогнозних запасів, тому їхнє використання в майбутньому варто пов'язувати з теплопостачанням і теплофікацією місцевих об'єктів.

Геотермальна енергія з успіхом використовується в Грузії, Ісландії, США.

Перше місце по виробленню електроенергії з гарячих гідротермальних джерел займає США. У долині Великих Гейзерів (штат Каліфорнія) на площі 52 км² діє 15 установок, потужністю понад 900 МВт [7].

«Країна льодовиків», так називають Ісландію, ефективно використовує гідротермальну енергію своїх надр. Тут відомо понад 700 термальних джерел, які виходять на земну поверхню. Близько 60 % населення користується геотермальними водами для обігріву житлових приміщень, а в найближчому майбутньому планується довести це число до 80 %. При середній температурі води 87°C річне споживання енергії гарячої води становить 15 млн. ГДж, що рівноцінно економії 500 тис. т кам'яного вугілля на рік. Крім того, ісландські теплиці, в яких вирощують овочі, фрукти, квіти і навіть банани, споживають щорічно до 150 тис. м³ гарячої води, тобто понад 1,5 млн. ГДж теплової енергії.

Середній потік геотермальної енергії через земну поверхню становить приблизно 0,06 Вт/м² при температурному градієнті меншому ніж 30 градусів С/км. Однак є райони зі збільшеними градієнтами температури, де потоки складають приблизно 10-20 Вт/м², що дозволяє реалізовувати геотермальні станції (ГеоТЕС) тепловою потужністю 100 МВт/км² та тривалістю експлуатації до 20 років.

Якість геотермальної енергії невелика і краще її використовувати для опалення будівель та попереднього підігріву робочих тіл звичайних високотемпературних установок. Також використовують це тепло для ферм по

розведенню риби та для теплиць. Якщо тепло з надр виходить при температурі більше 150 °С, то можна говорити про виробництво електроенергії. Побудовано ГеоТЕС на Філіппінах потужністю більше 900 тис. кВт.

Масштаб використання геотермальної енергії визначають декілька факторів: капітальні витрати на спорудження свердловин, ціна яких зростає зі збільшенням глибини. Оптимальна глибина свердловин 5 км. Геотермальні води використовують двома способами: фонтанним (теплоносій викидається в навколишнє середовище) та циркуляційним (теплоносій закачується назад в продуктивну товщу). Перший спосіб дешевше, але екологічно небезпечний, другий дорожчий, але забезпечує збереження навколишнього середовища.

Можна здійснювати разом з добуванням тепла і добування хімічних елементів та сполук з розсолів, як на дослідному заводі в Дагестані, де добувають сполуки магнію, літію та бром.

До категорії гідротермальних конвективних систем відносяться підземні басейни пари чи гарячої води, які виходять на поверхню з землі, утворюючи гейзери, фумароли, озера багнюки тощо. Їх використовують для виробництва електроенергії за допомогою методу, що ґрунтується на використанні пари, яка утворюється при випаровуванні гарячої води на поверхні.

Іншим методом виробництва електроенергії на базі високо- та середньотемпературних геотермальних вод є використання процесу із застосуванням двоконтурного (бінарного) циклу. В цьому процесі вода, отримана з басейну, використовується для нагрівання теплоносія другого контуру (фреону чи ізобутану), котрий має меншу температуру кипіння. Установки, що використовують фреон як теплоносій другого контуру, зараз підготовлені для діапазону температур 75—150°C і при одиничній потужності 10—100 кВт [8].

Також є розробки по отриманню теплової енергії зі штучно утворених тріщин в гарячих сухих породах [8].

Є також розробки по використанню геотепла з використанням газо- або нафтодобувних свердловин на останній стадії їх експлуатації. В Україні значні

запаси геотермальної енергії є в нафтогазових свердловинах, пробурених в області Дніпровсько-Донецької западини [9].

У геотермальних системах, де в зонах зі збільшеним значенням теплового потоку розташовуються глибокозалягаючий осадовий басейн (Угорський басейн), температура води сягає до 100 °С.

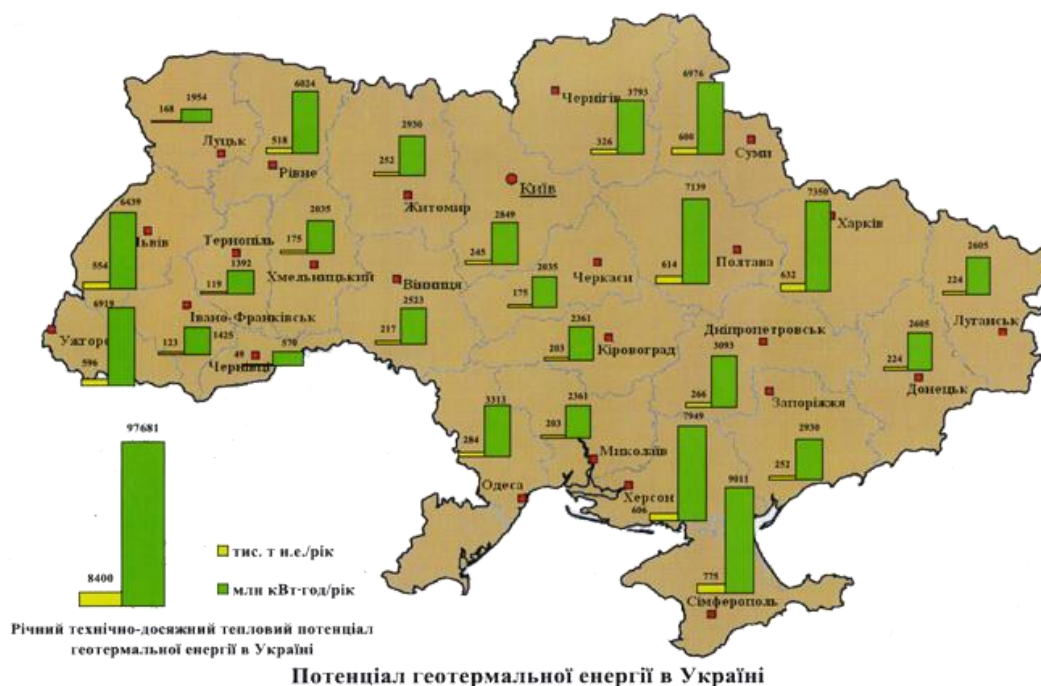
На другому місці з-поміж усіх видів геотермальної енергії розташовується використання низькопотенційного тепла землі з використанням ГТН. За останні десять років кількість систем, що використовують для теплопостачання і будівель низькопотенційне тепло землі за допомогою теплових насосів, значно збільшилася. Найбільше число таких систем використовується в США. Велике число таких систем функціонують в Канаді і країнах центральної і Північної Європи: Австрії, Німеччині, Швеції і Швейцарії. Остання є лідером по величині використання низькопотенційної теплової енергії землі на душу населення.

На сьогоднішній день теплові насоси опалюють одно— і багатоквартирні будинки, музеї, церкви, лікарні, школи, фабрики, аеропорти, підігрівають злітно— посадкові смуги, дахи, дороги, газони футбольних полів. Ними обладнані реконструйований Рейхстаг у Німеччині, близько 30% адміністративних і житлових будівель.

В США (в тому числі всі нові громадські будівлі), серед яких – офісно-готельний комплекс у Луїсвіллі площею 93 тис. кв. м, який опалює й охолоджує найбільша в світі теплонасосна установка потужністю 10 МВт; 350 тис. будинків у Швеції, завдяки чому там на теплові насоси припадає 70% всього тепла, що виробляється в країні. Виробництво теплових насосів щороку зростає на 30–40%, а в деяких країнах – на 100%, завдяки чому вже в наступному році вони займуть 16% європейського ринку теплотехнічного обладнання, а в 2025 р. забезпечуватимуть 75% світових обсягів теплопостачання [7].

1.2. Використання геотермальної енергії в Україні

Геотермальна енергія в Україні має значні потенційні ресурси. Районами її можливого використання є Крим, Закарпаття, Прикарпаття, Донецька, Запорізька, Полтавська, Харківська, Херсонська та Чернігівська області [3].



Прогнозні експлуатаційні ресурси термальних вод України за запасами тепла еквівалентні використанню близько 10 млн т у.п. на рік.

Серед перспективних районів для пошуків і розвідки геотермальних ресурсів знаходиться Донецький басейн. Геотермальні електростанції завжди географічно «прив'язані» до районів геотермальних родовищ. Крім того, Дніпровсько-Донецька западина[9] може розглядатися як перспективний район з геотермальними ресурсами. Техніко-економічний аналіз показав, що на базі нафтових та газових свердловин ДДЗ можна побудувати геотермальні електростанції з глибиною буріння або розкриття свердловин до 3 - 4,5 км. На таких глибинах 90% теплового потенціалу геотермальних вод у продуктивних нафтогазоносних горизонтах карбонів родовищ не перевищує 108 ° С. У цьому випадку заміна органічного палива та електроенергії теплом геотермальних вод та гірських порід набагато вигідніше для забезпечення теплом та опаленням (у 3 - 5 разів). Дві свердловини з глибини карбонів родовищ можуть забезпечити 0,4 - 4,5 МВт теплової енергії.

Значні масштаби розвитку геотермальної енергетики в майбутньому можливі лише при одержанні теплової енергії безпосередньо з гірських порід

(петрогеотермальна енергія). В цьому випадку теплоносії визначеного потенціалу утворюється в результаті теплообміну води, яка нагнітається при контакті у тріщині, з високотемпературними гірськими породами в зоні природної чи штучно створеної проникності з наступним виведенням теплоносія на поверхню.

Для районів зі сприятливими умовами геотермальні станції можуть задовольнити місцеві потреби в електроенергії. Вони доцільні в технологічних процесах харчової та місцевої переробної промисловості, при виробництві будівельних матеріалів тощо [10].

Що ж до використання саме геотермальних теплових насосів на території України, то можна сказати, що хоч вони з'явилися лише нещодавно, але попит на них швидко зростає. Станом на початок 2008 р., за даними «Будерус–Україна», в нашій країні налічувалося близько 100 теплових насосів. За 2015 рік, за оцінками представництва фірми Vaillant, в Україні було продано вже від 200 до 350 теплових насосів, а в 2016 році обсяги продажів подвоїлися.

В «Дорожній карті розвитку відновлюваної енергетики в Україні до 2030 року» передбачається збільшення обсягу виробництва теплової енергії за рахунок термотрансформаторів, теплових насосів й акумуляційних електронагрівників з 1,7 млн. у 2005 р. до 180 млн. Гкал/р. у 2030 р., тобто більше, ніж у 100 разів [1].

1.3. Геотермальні теплові насоси: визначення та загальні характеристики. Види ГТН

Технологія ГТН перетворення низькопотенційної природної енергії або вторинних низькотемпературних енергоресурсів у високопотенційну теплову енергію, придатну для практичного використання, являє собою впровадження нового, прогресивного, високоефективного і економічно чистого способу отримання тепла.

Теплові насоси (англ. heat pump) — агрегати, які переносять розсіяну теплову енергію в опалювальний або водогрійний контур. Принцип роботи теплового

насоса заснований на замкнутому циклі Карно (термодинамічному циклі, який складається з двох ізотермічних процесів і двох адіабатних процесів, що поперемінно чергуються між собою [12]). Іншими словами – це компактні, економічні та екологічно чисті системи опалення, що дозволяють отримувати тепло для гарячого водопостачання та опалення приміщень за рахунок використання тепла низькопотенційного джерела. Витративши 1 кВт електричної енергії, можна отримати 3–5 кВт для опалення або 7–10 кВт для охолодження [11].

Джерелом низькопотенційного (низькотемпературного) тепла для теплового насоса можуть виступати наступні середовища: ґрунт; навколишнє повітря; ґрунтові, артезіанські, термальні води; води річок, озер, морів; промислові та очищені побутові стоки; вода технологічних циклів.

Внутрішній контур теплових насосів складається з таких компонентів:

1. Конденсатор;
2. Дросель (капіляр, клапан) або детандер (поршневий або турбінний тепловий двигун);
3. Випарник;
4. Компресор, що працює від електричної мережі;
5. Терморегулятор, який управляє обладнанням;
6. Холодоагент.

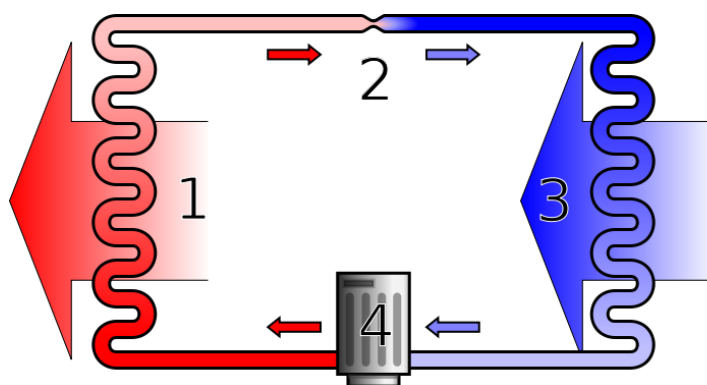


Рисунок 1.2. Схема циклу парового компресійного охолодження теплового насоса

Принцип роботи ГТН виглядає наступним чином: холодоагент (робоча речовина холодильної машини) під високим тиском через капілярний отвір потрапляє у випарник, де за рахунок зниження тиску відбувається процес випарювання. При цьому холодоагент забирає тепло у внутрішніх стінок

випарника. Випарник у свою чергу відбирає тепло в повітряного, ґрунтового або водяного контуру, за рахунок чого повітря, ґрунт чи вода постійно охолоджується. Компресор вбирає холодоагент із випарника, стискає його, за рахунок чого температура холодоагенту різко підвищується й виштовхує в конденсатор. Крім цього, у конденсаторі, нагрітий у результаті стиску холодоагент віддає тепло (температура порядку 85-125 градусів Цельсія) опалювальному контуру й переходить у рідкий стан. Процес повторюється постійно. Коли температура досягає необхідного рівня, електричне коло розривається терморегулятором і тепловий насос перестає працювати. Коли температура в опалювальному контурі падає, терморегулятор знову запускає тепловий насос. У такий спосіб холодоагент у тепловому насосі робить замкнутий цикл Карно.

Теплові насоси трансформують розсіяну теплову енергію повітря, ґрунту чи води у відносно високопотенційне тепло для нагрівання об'єкта (води чи повітря). Приблизно 75 % опалювальної енергії можна збирати безкоштовно із природи: повітря, ґрунту, води й тільки 25 % енергії необхідно використати для роботи самого теплового насоса. Інакше кажучи, власник теплових насосів заощаджує 3/4 коштів, які він би регулярно витрачав на дизпаливо, газ або електроенергію для традиційного опалення. Інакше кажучи, тепловий насос за допомогою теплообмінників збирає теплову енергію із землі (води, повітря) і «переносить» її в приміщення.

Теплові насоси здатні не тільки опалювати приміщення, але й забезпечувати гаряче водопостачання, а також здійснювати кондиціювання повітря. Але при цьому в теплових насосах повинен бути реверсивний клапан, саме він дозволяє тепловому насосу працювати у зворотному режимі.

Залежно від принципу роботи теплові насоси поділяють на компресійні та абсорбційні. Компресійні теплові насоси завжди діють за допомогою механічної або електричної енергії, в той час як абсорбційні теплові насоси можуть працювати на теплі як джерелі енергії (за допомогою електроенергії чи палива).

Залежно від джерела надходження тепла теплові насоси діляться на: водяні, ґрунтові, повітряні і комбіновані (інші).

Залежно від джерела відбору тепла теплові насоси поділяються:[11]

1. Геотермальні (використовують тепло землі, наземних або підземних ґрунтових вод)

а. замкнутого типу

- і. горизонтальні — колектор розміщується кільцями або хвилясто у горизонтальних траншеях нижче глибини промерзання ґрунту (зазвичай від 1,20 м і більше).[3] Цей спосіб є найбільш економічно ефективним для жилих об'єктів за умови відсутності дефіциту земельної площі під контур.
- іі. вертикальні — колектор розміщується вертикально у свердловини глибиною до 200 м. [13] Цей спосіб застосовується у випадках, коли площа земельної ділянки не дозволяє розмістити контур горизонтально або є загроза пошкодження ландшафту.
- ііі. водні — колектор розміщується хвилясто або кільцями у водойму (озеро, ставок, річку) нижче глибини промерзання. Це найдешевший варіант, але є вимоги до мінімальної глибини та об'єму води у водоймі для певного регіону.

б. відкритого типу. Така система використовує як теплообмінну рідину воду, що циркулює безпосередньо через теплообмінник теплового насосу в рамках відкритого циклу, тобто вода після проходження теплообмінника повертається у землю. Цей варіант можливо реалізувати на практиці лише при наявності достатньої кількості відносно чистої води та за умови, що такий спосіб використання ґрунтових вод є дозволеним.

2. Повітряні (джерелом відбору тепла є повітря) малоефективні через постійне обмерзання випарника.

3. Такі, що використовують вторинне тепло (наприклад, тепло вентиляції, каналізації та інших відходів). Цей варіант є найдоцільнішим для промислових об'єктів, де є джерела паразитного тепла, яке потребує утилізації.
4. Трасовий гідро-газодинамічний тепловий насос — пристрій з розподіленими параметрами, який переносить низькопотенційну теплову енергію з оточуючого середовища в цільовий трубопровідний контур. Цей насос містить дроселюючий елемент, що спричиняє до локального нагріву транспортованого продукту в одній зоні і охолодження в іншій і не містить спеціальних вторинних контурів теплопередачі. Роль вторинних контурів виконують окремі ділянки трубопроводу.[14]
5. Детандерний — насос, де замість дроселя (капілярної трубки) застосовується теплова машина — детандер. На відміну від звичайних теплонасосів (кондиціонерів, холодильників), які працюють на базі застосування дроселя, детандерні теплові насоси мають більшу продуктивність і можуть працювати на водню і гелію в якості холодагенту. В фізиці ці гази відомі як такі, що не дроселюються, але за своїми властивостями найбільш наближені до, так званих ідеальних газів. Зріджують ці гази тільки завдяки турбодетандерам (мікротурбінам).

Дослідивши типи теплових насосів за джерелом відбору тепла на попит використання типів на території України, я зупинила свій вибір на розробці ПЗ для налаштування та демонстрації роботи вертикальних геотермальних теплових насосів замкнутого типу, адже саме цей підтип насосів найчастіше використовується на території України з метою опалення приватних будівель та нижчим споживанням електроенергії [15].

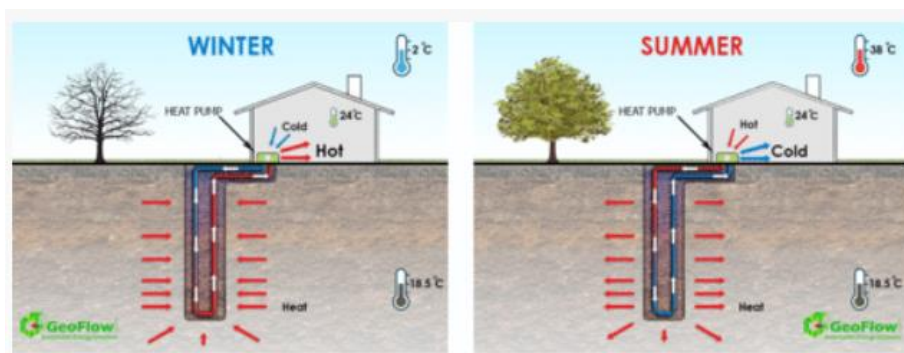


Рисунок 1.3. Вертикальний ГТН замкнутого типу (демонстрація роботи взимку та влітку)

Висновки до розділу 1

Тепловий насос – це екологічно чиста система опалення, гарячого водопостачання й кондиціонування, що переносить тепло з навколишнього середовища. Перевагами його застосування є: істотне зниження витрат на опалення й кондиціонування; відсутність у потребі газу чи іншого займистого носія, використання поновлюваних джерел енергії, екологічна безпека, забезпечення стабільної температури протягом усього року.

У зв'язку зі зміною цін на енергоносії теплові насоси як альтернативні та відновлювальні джерела енергії вже сьогодні є актуальними для України. Використання ГТН для опалення та гарячого водопостачання окремих будівель чи їх груп у геокліматичних умовах України має досить широкі перспективи, особливо з огляду на переваги теплонасосних систем порівняно з традиційними, джерела яких через активне використання вичерпуються, зростають витрати на їх видобування або придбання та переробку та які мають негативні наслідки для довкілля. З огляду на це можемо зрозуміти, що для ефективного керування системами теплових насосів потрібне якісне програмне забезпечення, яке дозволить зменшити витрати на утримання системи ГТН та зробити налаштування та моніторинг простим для потенційного користувача.

2. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СИСТЕМАМИ ГТН ЗАМКНУТОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПУ

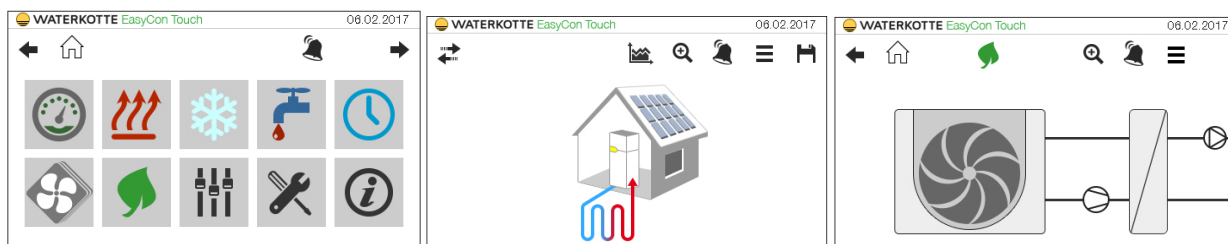
2.1. Аналіз найпоширеніших аналогів програмного забезпечення для керування системами ГТН

Опісля аналізу існуючих та найбільш популярних систем ТН та виборі вертикальних геотермальних теплових насосів замкнутого типу, наступним кроком потрібно дослідити аналоги ПЗ, якими користуються українські користувачі на даний момент.

Перш за все, потрібно було дослідити сайти компаній, які займаються встановленням систем ТН в Україні, адже найчастіше в окремому розділі на таких сайтах можна детальніше дізнатись про програмне забезпечення, яке буде використовуватись для їхніх систем. У результаті аналізу було досліджено 26 сайтів, які займаються встановленням теплових насосів, але лише 10 з них пропонують програмне забезпечення, а не лише встановлення системи ГТН та підключення контролерів. Наступним кроком потрібно було відфільтрувати дані та зменшити окіл досліджуваних ресурсів. У результаті було виявлено, що програмне забезпечення, яке пропонують деякі компанії є однаковим. Далі необхідно було визначити найпопулярніші з-поміж знайдених ПЗ серед українських користувачів. Для цього я дослідила відгуки про кожен з програмних продуктів, а також опитала невелику вибірку користувачів з-поміж мого кола спілкування, які встановлювали систему ГТН з метою більш ефективного опалення власного житла. Опісля наступного етапу досліджень я змогла виділити трійку лідерів, якій довіряють користувачі.

Однією з найпопулярніших компаній, яку я побачила на етапі дослідження, була компанія «Сахара», яка займається встановленням систем ТН різних типів німецької компанії «WATERKOTTE». Переглянувши сайт, знайшла інструкцію користувача, яка посилалась на ПЗ до системи з однойменною назвою [16]. За допомогою даного продукту, дані щодо системи ТН можна моніторити з

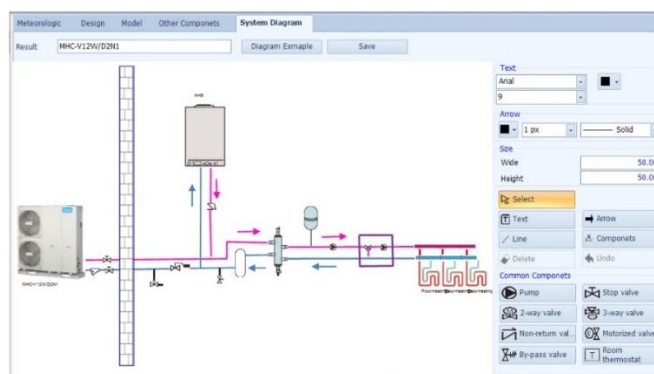
комп'ютера (ОС Windows), або з мобільного додатку для ОС Android. Мови використання ПЗ: англійська, німецька. Скріншоти програми можна побачити нижче [17]:



Недоліки, які я помітила перш за все опісля завантаження та тестування даного продукту – це:

1. Незрозумілий інтерфейс для потенційного клієнта
2. Відсутність локалізацій для країн-партнерів
3. Можливість використання ПЗ без наявності підключених систем ТН
4. Унеможливлення згорнути чи закрити вікно програми (без використання комбінацій клавіш для закриття)
5. Відсутність можливості налаштувати температуру подачі гарячої води програмно
6. Відображення системи ТН без її підключення (за замовчуванням)

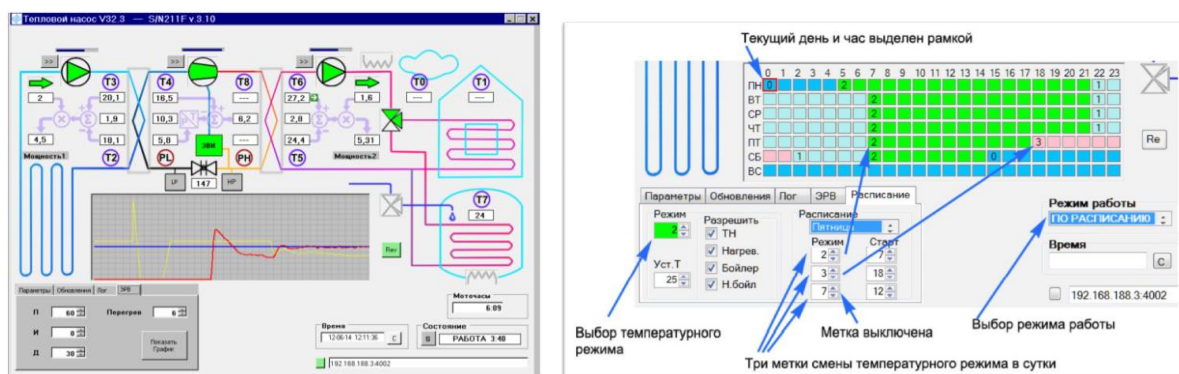
Наступне ПЗ, яке я знайшла при дослідженнях – програмне забезпечення китайської компанії «MIDEA», імпортером в Україні якого є компанія «AW Therm» [18]. Програмне забезпечення доступне китайською та англійською мовами, та є доволі незручним з точки зору UX. За допомогою цього продукту, дані щодо системи ТН можна моніторити з комп'ютера (ОС Windows), або з мобільного додатку для ОС Android. Скріншот ПЗ наведено нижче:



Недоліки, які я побачила опісля завантаження та тестування даного продукту – це:

1. Незручний інтерфейс для потенційного клієнта
2. Відсутність локалізацій для країн-партнерів
3. Можливість зберегти дані за конкретний період лише у PDF-форматі без можливості подальшого опрацювання даних.
4. Відсутність налаштувань графіків роботи та вибору режимів.

Третій аналог – це ПЗ «DustyDiamond», що розроблене російською компанією «TERMINI» [19]. Програмне забезпечення доступне англійською та російською мовами та виявилось найефективнішим по можливостям у порівнянні з минулими аналогами. За допомогою даного продукту, дані щодо системи ТН можна моніторити з комп'ютера (ОС Windows), або з мобільного додатку для ОС Android та iOS. Скріншоти ПЗ наведено нижче:



Єдині недоліки, які я виявила при тестуванні цього аналога – це:

1. Можливість регулювати будь-які налаштування в межах від -1000 до +1000 без видачі помилки (для температурних режимів такі налаштування призведуть до системних помилок та неправильної роботи системи).
2. Унеможливлення змінити мову у програмі (та підказки кожної кнопки російською мовою при початковому виборі англійської мови).
3. Доволі незручний інтерфейс для потенційного користувача.
4. Можливість підключитись без ліцензії, введення паролю чи логіну користувача, а також за відсутності будь-яких систем ГТН.

Проаналізувавши існуючі програмні рішення, які надають можливість визначати систем ГТН будівлі було виявлено основні складові, які впливають на енергоефективність додатків, а саме: можливість регулювання температури у приміщенні, налаштування режимів роботи, регулювання системи опалення та гарячого водопостачання, а також налаштування розкладу роботи [17][18][19]. Також я підсумувала додаткові чинники, які впливають на зручність використання ПЗ з точки зору користувачів: розміщення та наявність меню, відображення головної сторінки, налаштування перевірки першого входу в систему та підключення контролерів системи ГТН, розміщення налаштувань, як окремих сторінок одного вікна, без можливості створення додаткових вікон, оновлення перевірок протягом кожних 10-30 секунд та налаштування сповіщень про системні помилки, додаткові підказки, що допомагають інтуїтивно керувати системою ГТН та загальними налаштуваннями, вбудована інструкція для детального огляду конкретних функцій у будь-який час та інші.

2.2. Засоби розробки

Для розробки програмного забезпечення я вирішила використати мову програмування Python через низку переваг у порівнянні з іншими мовами, які ми вивчали протягом навчання у ВНЗ. Python - інтерпретована об'єктно-орієнтована мова. Її також називають мовою програмування високого рівня. Розширення імені файлів: .py, .pyw, .pyo. Це забезпечує пряме і просте програмування як для малих, так і для великих програм. Основний акцент робиться на повторному використанні коду, читанні та використанні пробілів. Python використовує вирази в основному подібні до мови C та її методів та введення тексту. Python підтримує декілька парадигм програмування, таких як функціональне програмування, імператив та процедур.

Загалом Python можна використовувати для розробки різних додатків, таких як веб-додатки, графічні додатки на основі інтерфейсу, програми для розробки програмного забезпечення, наукові та числові програми, мережеве програмування,

ігри та 3D-додатки та інші бізнес-програми. Це створює інтерактивний інтерфейс і можливість простої розробки додатків [20].

Використання Python також допомагає легко отримувати доступ до бази даних. Вона використовується для стандартного API бази даних і вільно доступна для завантаження.

Також одним з найважливіших критеріїв вибору стало те, що Python використовується для спрощення складного процесу розробки програмного забезпечення, оскільки це мова програмування загального призначення. Вона використовується для розробки такого складного додатку, як науковий та цифровий додаток, а також для настільних і веб-додатків. У Python є такі функції, як аналіз даних та візуалізація, що допомагає створювати власні рішення без додаткових зусиль та часу. Це стане в нагоді для ефективної візуалізації та представлення даних [21].

Наступним кроком я вирішила використати бібліотеку Tkinter для розробки графічного інтерфейсу користувача ПЗ, оскільки вона має широкі можливості для створення і гнучкого налаштування графічних інтерфейсів [22].

При розробці програмної системи було вирішено використати офісний пакет Microsoft Office для роботи з вхідними та вихідними даними, тому що він містить високоякісні та багатофункціональні програми для роботи з даними, такі як Word та Excel. Програмний продукт Excel має широкі можливості для роботи з масивами даних, що можливо використати для додаткових досліджень над отриманими вихідними даними. Додатковою перевагою Excel над іншими системами керування баз даних є його розповсюдженість, що значно спрощує процес розгортання створеної системи. Програмний продукт Word має широкі можливості для роботи з текстовими даними, стилями, таблицями тощо. Розроблена система буде використовувати можливості програми Excel для генерування фінальних звітів, які міститимуть результати аналізу енергоефективності систем ГТН.

2.3. Проєктування моделі системи

Проектування програмної системи — це дуже важлива частина процесу розробки для отримання якісного програмного забезпечення, що буде відповідати поставленим вимогам.

Першочергово потрібно було побудувати модель даних. Концептуальна модель — це опис головних сутностей і відношень між ними. Концептуальна модель відображає предметну область, для якої розробляється програмна система моделювання структури та функціонального контенту інженерної системи енергоефективної приміщення [23][24][25]. На рисунку 2.3 представлено концептуальну модель, на якій проілюстровано основні види даних з предметної області та зв'язки між ними.

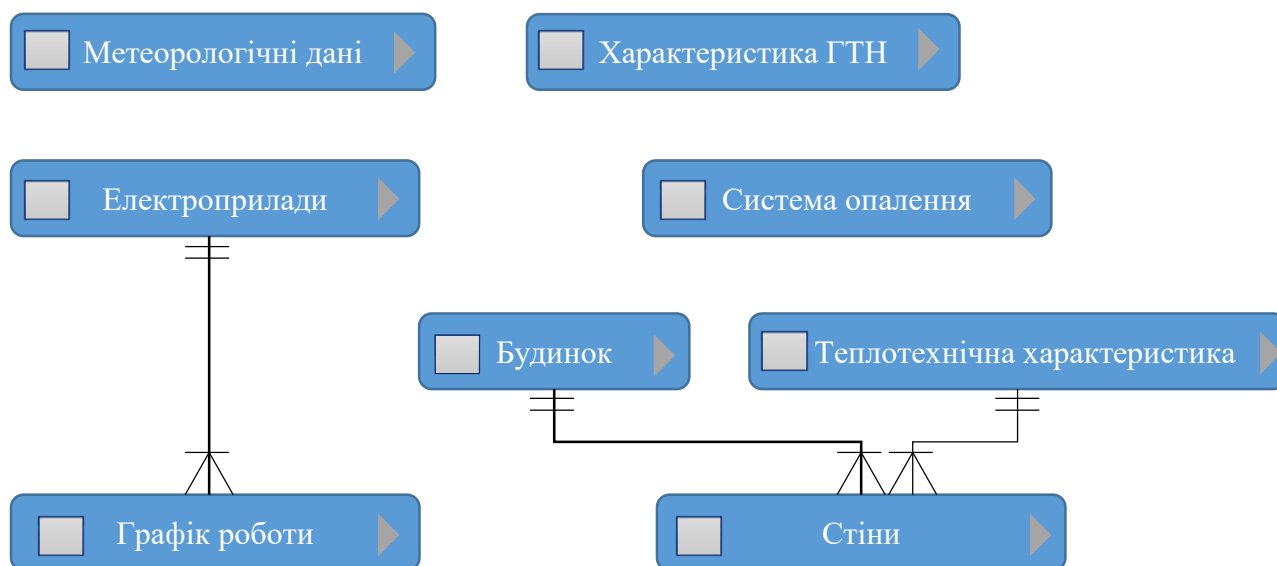


Рисунок 2.3. Концептуальна модель даних

Сутність «Метеорологічні дані» містить інформацію про погодні умови ззовні такі як температура. Сутність «Характеристика ГТН» являє собою залежність між температурою та коефіцієнтами корекції системи. Сутність «Електроприлади» містить список електроприладів і пов'язана із сутністю «Графік роботи», яка зберігає графік використання електроприладів протягом тижня. Сутність «Будинок» зберігає список кімнат та їх детальний опис. Сутність «Теплотехнічна характеристика» зберігає теплотехнічні характеристики огорожуючих конструкцій. Сутність «Стіни» зберігає список стін, пов'язана із

сутністю «Будинок», визначаючи суміжні кімнати. Сутність «Стіни» також пов'язана із сутністю «Теплотехнічна характеристика». Сутність «Система опалення» зберігає опис різних систем опалення і не пов'язана з іншими сутностями. Всі зв'язки між сутностями мають характер один до багатьох.

2.4. Діаграма прецедентів розробленої системи. Архітектура ПЗ

Діаграма прецедентів — це діаграма, яка відображає відношення між акторами та прецедентами [26][27][28]. UML діаграма прецедентів демонструє можливі варіанти дій доступних для користувачів системи зображена на рисунку 2.4.

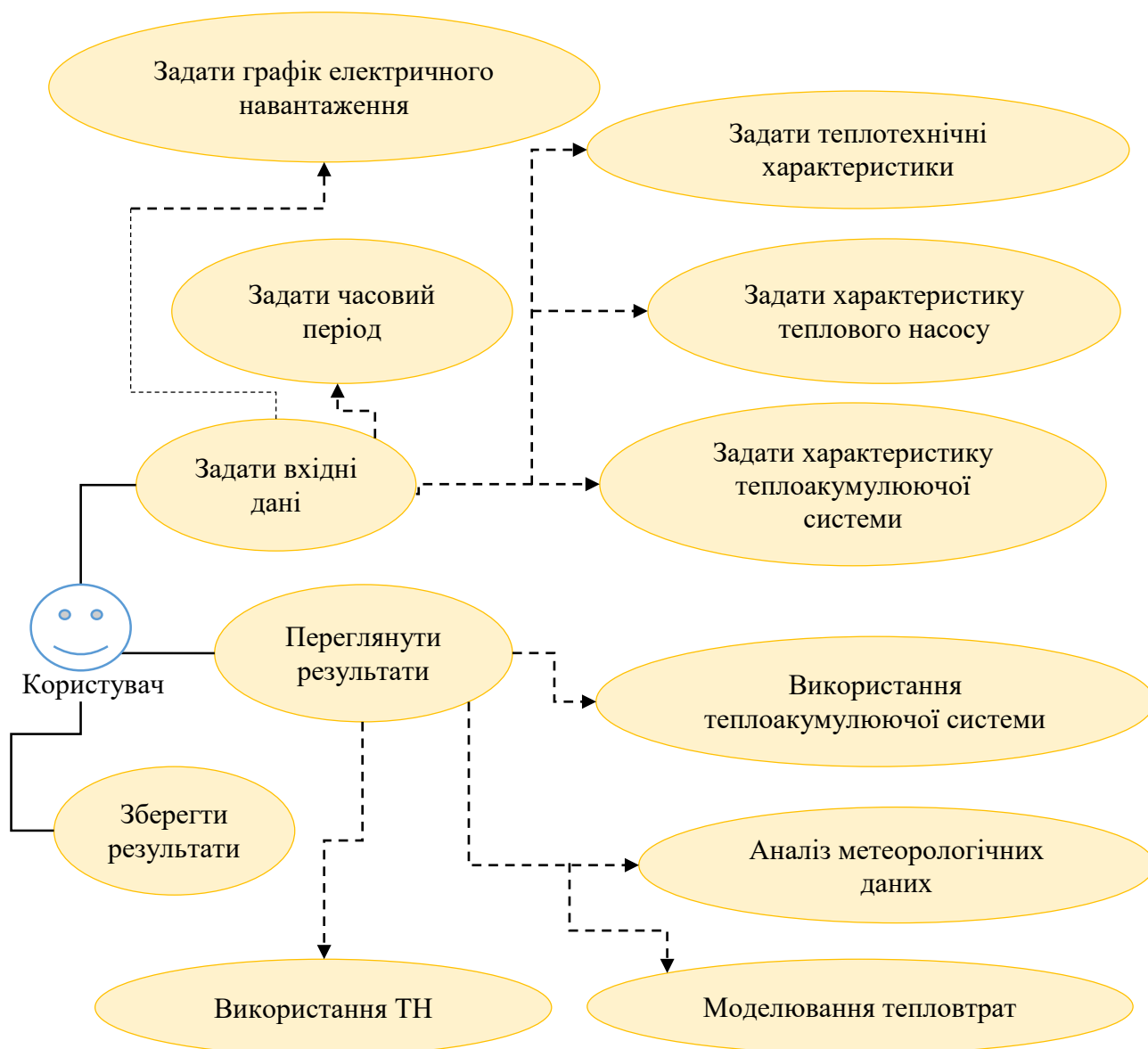


Рисунок 2.4. Діаграма прецедентів розробленої системи

В системі було передбачено один тип користувачів програмної системи. Користувачу системи дозволено виконувати дії:

- задати вхідні дані;
- переглянути результати;
- зберегти результати.

Система надає можливість задавати вхідні дані:

- часовий період, для якого потрібно переглянути результати;
- графік електричного навантаження;
- теплотехнічні характеристики будівлі;
- характеристику теплового насосу;
- характеристику теплоакumuлюючої системи.

Система надає можливість переглядати отримані результати:

- аналізу метеорологічних даних регіону за визначений період часу;
- моделювання графіка електричного навантаження;
- моделювання тепловтрат будівлі;
- моделювання використання теплового насосу для опалення будівлі;
- моделювання використання теплоакumuлюючої системи для опалення будівлі.

Для збереження отриманих результатів користувачеві надається можливість зберегти дані, згенерувавши звіт в Excel-файлі.

Розроблена система моделювання структури та функціонального контенту інженерних систем енергоефективної будівлі виконує всі необхідні функціональні вимоги, які були виявлені при аналізі існуючих аналогів.

На основі вищезазначених даних, було прийнято рішення розробити архітектуру системи моделювання структури та функціонального контенту ПЗ для

контролю системи ГТН за прикладом класичної тришарової архітектури [29].



Рисунок 2.4. Класична тришарова архітектура

Рівень доступу до даних відповідає за зчитування, обробку та збереження вхідних даних. Обробка вхідних даних необхідна для усунення надлишкових даних та автоматизації процесу збору та розрахунку статистики.

Рівень бізнес-логіки виконує побудову моделей структури та функціонального контенту інженерних систем, виконує налаштування основних контролерів. Модуль виконує аналіз метеорологічних даних регіону, визначає теплотехнічні характеристики приміщення, потреби у тепловій енергії на опалення та гаряче водопостачання (ГВП) та дозволяє користувачам обрати необхідне налаштування режимів задля комфортного та енергоощадного проживання в будівлі.

Рівень представлення використовує графічний інтерфейс користувача для виводу отриманих результатів роботи системи.

Висновки до розділу 2

У цьому розділі було розглянуто найбільш поширені аналоги ПЗ, якими користуються українські клієнти, визначено переваги та недоліки кожного з них. Далі я обрала основні засоби програмної розробки системи, а саме мовою програмування Python з використанням бібліотеки Tkinter для реалізації графічного інтерфейсу.

Розроблена система має графічний віконний інтерфейс користувача, який надає йому можливість змінювати вхідні дані, переглядати і зберігати результати роботи програми.

Також було побудовано модель даних системи, визначено основні дії користувачів системи за допомогою діаграми прецедентів UML нотації, була спроектована архітектура системи.

В результаті виконання роботи було розроблено архітектуру системи, яка виконує всі необхідні функціональні вимоги, які були виявлені при аналізі існуючих аналогів.

3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СИСТЕМАМИ ГТН ЗАМКНУТОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПУ

3.1. Системні вимоги та інсталяція ПЗ

Для забезпечення безвідмовної роботи системи моделювання ГТН потрібно дотримуватись основних вимог при інсталяції та рекомендацій щодо її використання.

Для використання розробленого ПЗ персональний комп'ютер повинен відповідати поставленим мінімальним системним вимогам: бути оснащеним процесором Intel ® Core ™ 2 / 2 Quad / Pentium ® / Celeron ® / Xeon™ чи AMD 6 / Turion ™ / Athlon ™ / Duron ™ / Sempron ™ з тактовою частотою не менше 2 GHz, в якості операційної системи на комп'ютері повинна бути встановлена операційна система Windows 7 SP1 або більш нові версії. Також на жорсткому диску повинно бути не менше 35 Мб вільного місця. Персональний комп'ютер повинен бути оснащений монітором з роздільною здатністю не менше 1200x600. Також на персональному комп'ютері повинні бути встановлені програмні засоби Microsoft Office 2007 або більш нові версії.

Розроблена система не потребує процесу інсталяції, достатньо запустити виконуваний файл «HPSApp.exe», що знаходиться в однойменному архіві (при ознайомленні з інтерфейсом програми за відсутності фізичних пристроїв потрібно завантажити архів «HPSAppGUITEST.rar»), який потрібно попередньо завантажити та розархівувати, перейшовши за адресою: <https://github.com/CheshirLvova/CourseWork2020-2021.GHPS-Software>, після цього система запуститься і з'явиться вікно входу в програму, у якому користувач повинен підключити контролер згідно інструкції та увести логін та пароль, наданий компанією, яка встановлювала систему ГТН. Опісля успішного входу в систему користувач побачить сторінку з відображенням роботи його моделі системи ГТН та меню вгорі для зручного налаштування та моніторингу основних компонентів системи.

Для забезпечення правильної роботи ПЗ не можна видаляти чи перейменовувати файли та каталоги з папки розробленої програмної системи.

3.2. Особливості використання програмної системи

3.2.1. Особливості інтерфейсу програми

Графічний інтерфейс розробленої системи представлений у вигляді нестандартного двовимірного інтерфейсу, з використанням концепції DWIM. DWIM вимагає, щоб система працювала передбачувано, щоб користувач заздалегідь інтуїтивно розумів, яку дію виконає програма після отримання його команди. Головне вікно програми, яке бачить користувач після першого входу в систему, зображено на рисунку 3.2.1.

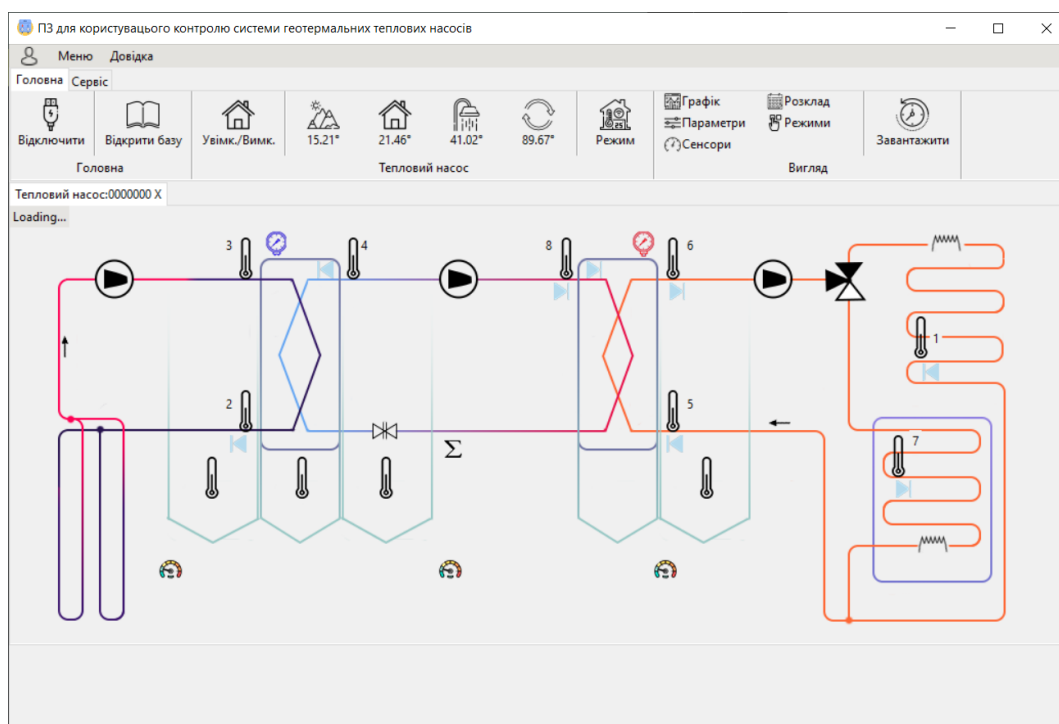


Рисунок 3.2.1. Головне меню програми

Опісля успішного підключення контролерів та входу в систему користувач бачить головну сторінку, на якій відображено меню та перелік підключених систем у вигляді внутрішніх вікон (на рисунку 3.2.1 бачимо, що підключено лише одну систему та її назву). У цьому вікні моделюється робота системи ГТН, в якій відображено температурні режими у окремих ділянках системи, а також показано прапорці, які відповідають за ті, чи інші компоненти системи.

До прикладу, значення прапорців:

- 1 - Тепловий насос на обігрів приміщення
- 2 - Альтернативний нагрівач
- 4 – Тепловий насос на нагрів бойлера
- 8 – Електронагрів бойлера
- 16 – Режим охолодження (якщо такий є у системі)

І тут $TН + \text{нагрівач} = 1 + 2 = 3$ і т. д.

Система оновлюється кожні 30 секунд, на час оновлення показників у лівому верхньому куті користувач бачитиме значок «Loading..».

Меню складається з двох основних вкладок: «Головна» та «Сервіс».

У вкладці «Головна» користувачу пропонується до уваги три блоки основних команд, якими він може оперувати, а саме:

1. Блок «Головна» містить дві функції:

- а. «Відключити» - функція, що дозволяє відключити ПЗ від системи ГТН, якщо користувач підключений. У разі виконання цієї функції користувач переходить на сторінку входу та має можливість увійти в систему знову, обравши нові доступні пристрої.
- б. «Відкрити базу» - функція, що дозволяє відкрити бекапи, що містяться на пристрої для відображення статистики за обраний користувачем період.

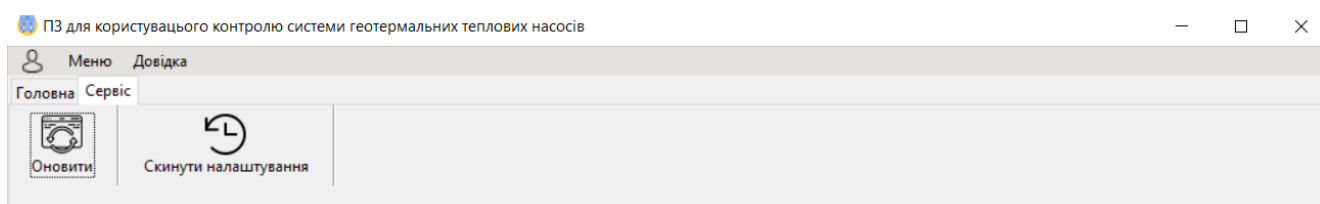
2. Блок «Тепловий насос» містить наступний функціонал:

- а. «Увімк./Вимк.» - функція, що дозволяє вмикати/вимикати систему ГТН на певний період без її повного відключення від контролерів.
- б. Температурний блок містить:
 - i. Меню індикації температури поза приміщенням (за наявності відповідних датчиків);
 - ii. Меню індикації температури повітря у приміщенні;
 - iii. Меню індикації температури бойлера;
 - iv. Управлінню температурою системи ГТН та відображення поточного стану;

с. «Режим» - функція, яка відображає увесь перелік режимів та їх рівні, які є залученими на даний момент часу.

3. Блок «Вигляд» дозволяє:

- а. Налаштувати параметри системи ГТН, перевірити роботу сенсорів, встановити графік роботи системи протягом наступного тижня та налаштувати режими роботи у відповідних пунктах;
- б. Переглянути графіки зміни температурних режимів за обраний період часу у відповідному пункті;
- с. «Завантажити» - функція, що дозволяє створити бекап обраних даних за певний період часу, визначений користувачем.



Вкладка «Сервіс» містить лише дві функції:

1. «Оновити» - дозволяє завантажити та запустити нову версію ПЗ без повторного входу в систему;
2. «Скинути налаштування» - повернути налаштування контролерів до встановлених за замовчуванням.

3.2.2. Налаштування системи та графіки моделювання роботи

Підпункти «Графік», «Параметри», «Сенсори», «Розклад» та «Режими» дозволяють користувачеві перейти на інші сторінки для зручного налаштування чи перегляду даних без нагромадження вікон та швидшої роботи програми.

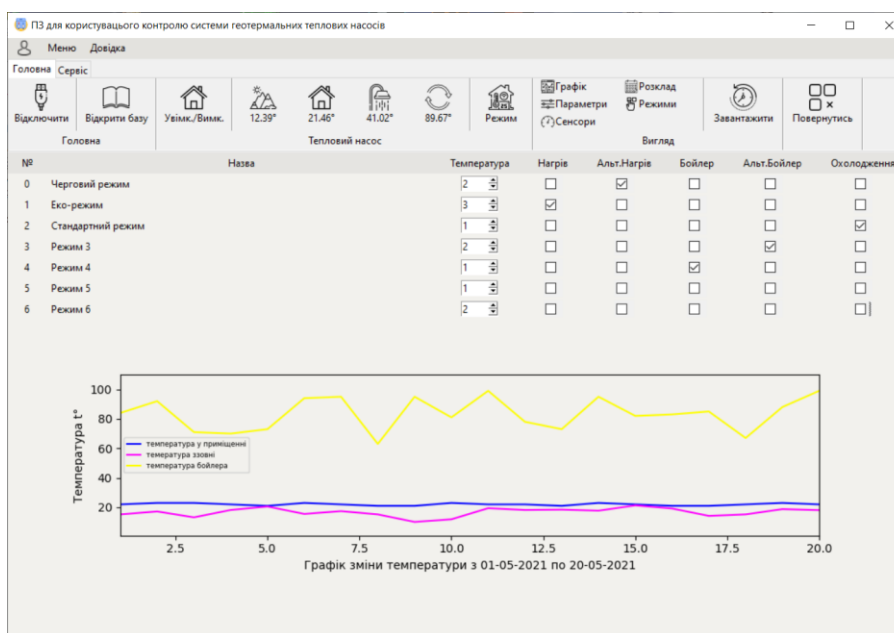


Рисунок 2.3.2. Сторінка вибору режимів та перегляду графіків

До прикладу, при виборі «Режими» чи «Графік», користувач переходить на нову сторінку (рис. 2.3.2), де може одночасно обрати поточний режим роботи кожного з компонентів системи (також з вибором рівня режимів від 1 до 3) або переглянути графіки зміни температури у кожному з компонентів системи під час роботи, або температури приміщення за конкретний період.

Підпункти «Параметри» та «Сенсори» також дозволяють користувачеві перейти на нову сторінку, перевірити налаштування кожного з компонентів системи, встановити нові, а також переглянути стан сенсорів системи.

Підпункт «Розклад» дозволяє користувачеві обрати з календаря дати, в які система працюватиме в налаштованих режимах.

Також при переході на нові сторінки з'являється додаткова кнопка «Повернутись», що дозволяє перейти назад до головного меню з відображенням роботи ГТН.

3.2.3. Перший запуск ПЗ та вхід в систему

Опісля першого запуску програмного забезпечення користувач бачитиме вікно, зображене на рисунку 3.2.3.

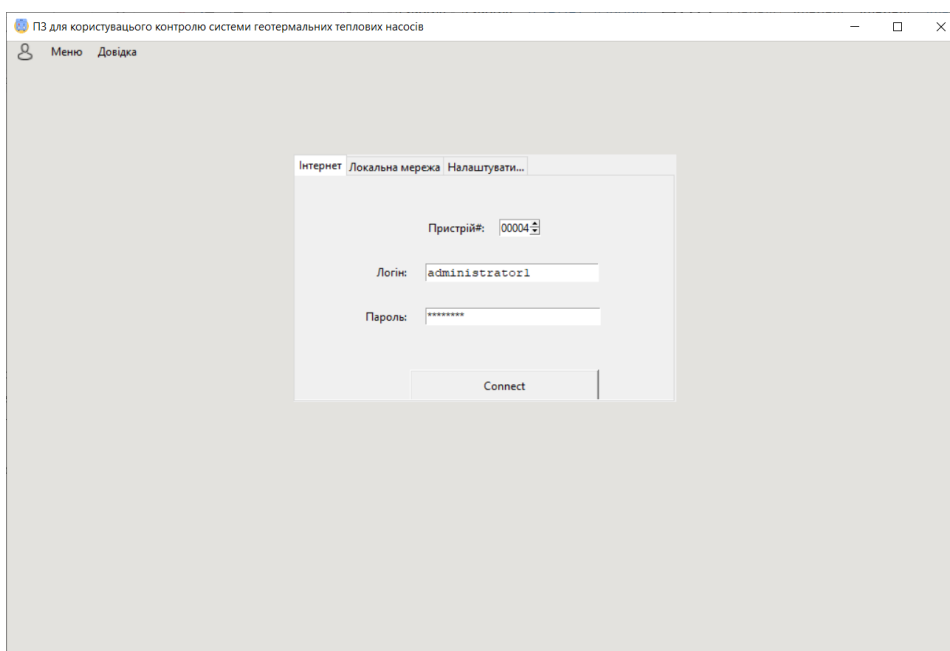


Рисунок 3.2.3. Вікно входу в систему

Увійти в систему можна 3 способами: через мережу Інтернет (за наявності маршрутизатора, до якого попередньо підключили контролер), через локальну мережу та підключення контролера через USB-порт, або ж налаштувавши контролер вручну, також попередньо підключивши його через USB-порт.

За замовчуванням користувач бачить підключення через мережу Інтернет, у якому повинен вказати ID пристрою (на рис. це 00004), логін та пароль. Після перевірки наявності таких даних у системі користувач переходить на головну сторінку, інакше залишається на сторінці входу до моменту введення валідних даних.

При підключенні через локальну мережу користувач вводить IP-адресу контролера або обирає систему зі списку підключених контролерів до персонального комп'ютера.

При налаштуванні вручну користувачеві потрібно вводити логін та пароль, а також IP-адресу контролера, який підключений до персонального комп'ютера.

3.2.4. Тестування коректності роботи ПЗ

Етап тестування був одним з найважчих, адже через епідеміологічну ситуацію у країні на даний момент у мене не було доступу до прототипу системи ГТН та компонентів для розробки симуляції такої системи в умовах самоізоляції,

тому опісля надання згоди на використання я зробила тестування програми на основі збережених даних, які були надані мені одним із користувачів вертикальної системи ГТН замкнутого типу, а саме збережені налаштування деяких режимів та температурні дані приміщення, бойлера та систем ГТН. Опісля налаштування відповідних режимів, які отримала, як тестові, та унаслідок відключення певних перевірок на наявність фізичних пристроїв, отримала відображення потенційних температурних показників кожного з компонентів ГТН та порівнявши отримані результати з виконанням ПЗ користувача, ми побачили, що температурні показники обидвох ПЗ були ідентичними. Також, щоб упевнитись у достовірності показників, спробували повторити процедуру понад 20 разів та отримали позитивні результати, тому тестування ПЗ можна вважати успішним.

Висновки до розділу 3

У цьому розділі було розглянуто основні системні вимоги, які необхідні для нормального функціонування розробленої програмної системи. Для початку роботи система не потребує інсталяції, достатньо запустити виконуваний файл. Було виконано тестування і налагодження програмного забезпечення методом сірого ящика, дотримуючись основних принципів гнучкої методології розробки програмних засобів, відомої як “Code and Fix”.

ПЗ для контролю системи ГТН має графічний інтерфейс користувача, який забезпечує взаємодію між користувачем та системою. Було розглянуто особливості інтерфейсу створеної системи. У цьому розділі було розглянуто особливості роботи користувача із системою, наведено детальний опис доступних користувачеві дій, а також наведено інструкцію користувача. Створена система оснащена довідковою системою, яка містить як теоретичні відомості, що пояснюють особливості застосованих моделей, так і документацію, що описує інтерфейс та функціональні можливості програми.

Підсумовуючи, можна сказати, що продукт відповідає функціоналу досліджених аналогів, містить рішення для недоліків аналогів з точки зору UI/UX дизайну, а також розроблене ПЗ містить лише українську локалізацію.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання курсової роботи було сформовано наступні висновки. У зв'язку зі зміною цін на енергоносії теплові насоси як альтернативні та відновлювальні джерела енергії вже сьогодні є актуальними для України. Використання ГТН для опалення та гарячого водопостачання окремих будівель чи їх груп у геокліматичних умовах України має досить широкі перспективи, особливо з огляду на переваги теплонасосних систем порівняно з традиційними, джерела яких через активне використання вичерпуються, зростають витрати на їх видобування або придбання та переробку та які мають негативні наслідки для довкілля. Тому створення якісного ПЗ для контролю таких систем є актуальною темою, яка варта уваги.

На етапі досліджень було розглянуто найбільш поширені аналоги ПЗ, якими користуються українські клієнти, визначено переваги та недоліки кожного з них. Обрано основні засоби програмної розробки системи, побудовано модель даних системи, визначено основні дії користувачів системи за допомогою діаграми прецедентів UML нотації, було розроблено архітектуру системи, яка виконує всі необхідні функціональні вимоги, які були виявлені при аналізі існуючих аналогів.

Далі було розглянуто основні системні вимоги, які необхідні для нормального функціонування розробленої програмної системи.

В результаті виконання курсової роботи було створено та протестовано ПЗ, яке відповідає усім поставленим початковим вимогам, а саме функціоналу досліджених аналогів, містить рішення для недоліків аналогів з точки зору UI/UX дизайну, а також розроблене ПЗ містить лише українську локалізацію.

Дану систему доцільно застосовувати для контролю та моніторингу систем вертикальних ГТН замкнутого типу, а також аналізу роботи систем такого типу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. «Дорожня карта розвитку відновлюваної енергетики в Україні до 2030 року REMAP – 2030» [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://saee.gov.ua>
2. Державне агенство з енергоефективності та енергозбереження України [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://saee.gov.ua/uk/ae>
3. Розвиток геотермальної енергетики на території України [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://saee.gov.ua/ae/geoenergy>
4. Геотермальна енергетика [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-1/section-2/2-8>
5. Тепловий насос [електронний ресурс] – Режим доступу: ecoenergy.org.ua
6. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Підручник. К.: НТУУ КПІ, 2012
7. Геотермальна енергія США [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.energy.gov/eere/geothermal/geothermal-technologies-office>
8. MIT, Michelle Kubik. The Future of Geothermal Energy Geothermal Energy. The Future of Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century. [No](#) 63 00019, 2006 – 348 с.
9. Використання геотепла в Україні [електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/35/e3sconf_usme2018_00006/e3sconf_usme2018_00006.html
10. Resource evaluation of geothermal power plant under the conditions of carboniferous deposits usage in the Dnipro-Donetsk depression / Mykhailo Fyk, Volodymyr Biletsky, Mokhammed Abbud // E3S Web of Conferences. Ukrainian School of Mining Engineering. Berdiansk, Ukraine, September 4–8, 2018. – 2018. – Vol. 60. – Article Number: 00006 – 137с.
11. Ткаченко С.Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання: монографія / С.Й. Ткаченко, О.П.Остапенко. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 176с.

12. Цикл Карно [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/carnot.html>
13. Вертикальні ГТН замкнутого типу [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://thermia.com/>
14. Theoretical and applied aspects of using a thermal pump effect in gas pipeline systems M. Fyk, I. Fyk, V. Biletsky, M. Oliynyk, Yu. Kovalchuk, V. Hnieushev, Yu. Sharchenko. // Східно-Європейський журнал передових технологій. 1/8 (91) 2018. p. 39-48
15. Види теплових насосів, які встановлюють на території України [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ecosvit.net/ua/teplovij-nasos-vidi-ta-zastosuvannya>
16. Інструкція з експлуатації системи ТН [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://caxapa.ua/local/file/784/000//ecotouch-ai1-air-blocua.pdf>
17. ПЗ WATERKOTTE [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.waterkotte.eu/software>
18. ПЗ MIDEA [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.midea.com.ua/en/products/heat-pumps-split-type-heat-pumps/software-selection-heat-pumps/software-selection-heat-pumps-m-therma>
19. ПЗ Dusty Diamond [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://termini-group.ru/servis-2/instruktsii-po-ekspluatatsii>
20. Передмова до мови програмування Python [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.python.org/doc/essays/foreword/>
21. Довідкова інформація про Python [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://docs.python.org/3.0/index.html>
22. Довідкова інформація про Tkinter [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>
23. Гайдаржи В. І., Дацюк О. А. Основи проєктування та використання баз даних: навч. посібник. Вид. 2-ге. Київ: Політехніка, 2004. 256 с.
24. Дейт К. Введення в системи баз даних. Вид. 8-ме. Москва: Вільямс, 2006. 1328 с.

25. Бойко В. В. Проектирование баз данных информационных систем. Вид. 2-ге. Москва: Финансы и статистика, 1989. 351 с
26. Ambler S. W. The Elements of UML™ 2.0 Style. New York: Cambridge University Press, 2005. 201 p.
27. Flower M. UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language. Boston: Addison-Wesley, 2004. 234 p.
28. Arlow J., Neustadt I. UML 2 and the Unified Process: Practical Object-Oriented Analysis and Design. Boston: Addison-Wesley, 2009. 717 p.
29. Ковальчук С. А. Розробка мікросервісної архітектури з допомогою технологій Java, Львів-2020, 38 с. [електронний ресурс] – Режим доступу: <https://github.com/CheshirLvova/CourceWork2019-2020.MSA/blob/master/SofiaKovalchukKursova2019-2020.pdf>