

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра кібербезпеки та програмного забезпечення

”Допущено до захисту”
Завідувач кафедри кібербезпеки
та програмного забезпечення
д.т.н., професор
_____ Олексій СМІРНОВ
« ____ » _____ 2026 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему
“Програмне забезпечення системи енергоефективного
інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД”

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи КН-22
ОПП «Комп’ютерні науки»
спеціальності 122 «Комп’ютерні науки»
_____ Рябовол В.В.
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту
кандидат технічних наук, доцент
_____ Коваленко А.С.
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет Механіко-технологічний
Кафедра Кібербезпеки та програмного забезпечення
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань . 12 “Інформаційні технології”
Спеціальність 122 “Комп’ютерні науки”
Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма “Комп’ютерні науки”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., проф.

Олексій СМІРНОВ

« 15 » січня 2026 року

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Рябоволу Всеволоду Володимировичу

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи

Програмне забезпечення системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД

2. Керівник роботи

Коваленко Анна Степанівна, канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу № 116-02 від 06.02.2026 року

3. Строк подання студентом роботи до захисту 23.05.2026 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи: *Метою роботи є розробка програмного забезпечення системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД*

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Призначення та область використання.

2. Перегляд аналогічних існуючих систем.

3. Опис і обґрунтування проектних рішень.

4. Етапи програмування системи.

5. Впровадження системи в промислову експлуатацію.

6. Висновки

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)

Структурна схема системи

1 аркуш

Функціональна схема системи

1 аркуш

Діаграма процесів

1 аркуш

Блок-схема алгоритму роботи додатку

2 аркуша

7. Дата видачі завдання « 15 » січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти	Строк виконання етапів випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти	Примітка
1.	Аналіз існуючих систем	10.03.2026 р.	
2.	Постановка задачі, оформлення ТЗ	15.03.2026 р.	
3.	Розробка моделі компонента	20.03.2026 р.	
4.	Розробка структур даних	25.03.2026 р.	
5.	Розробка алгоритмів зв'язку та відображення	30.03.2026 р.	
6.	Програмування алгоритмів	10.04.2026 р.	
7.	Оформлення ПЗ	17.04.2026 р.	
8.	Попередній захист роботи	23.05.2026 р.	

Дата видачі завдання
« 15 » січня 2026 р.

Підпис керівника

Коваленко А.С.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
« 15 » січня 2026 р.

Підпис здобувача

Рябовол В.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Рябовол В.В. Програмне забезпечення системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД. 122 Комп'ютерні науки. Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький. 2026.

В даній випускній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.

Метою розробки є програмне забезпечення системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.

Результат роботи – програмна реалізація системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.

В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Розроблено зручний інтерфейс користувача. Наведені інструкції по роботі з програмними засобами.

Програма може використовуватися на ПЕОМ з ОС Windows 10/11.

Програму розроблено в середовищі Python.

Ключові слова: комп'ютерні науки, інтелектуальний контроль клімату, ЦОД

ABSTRACT

Riabovol V.V. Software for the energy-efficient intelligent climate control system in data center mounting cabinets. 122 Computer Science. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi. 2026.

In this final qualification work for the first (bachelor's) level of higher education, software has been developed, which is intended for the energy-efficient intelligent climate control system in data center mounting cabinets.

The purpose of the development is the software for the energy-efficient intelligent climate control system in data center mounting cabinets.

The result of the work is the software implementation of the energy-efficient intelligent climate control system in data center mounting cabinets.

In the process of working on the software model, an analysis of existing hardware and software was performed. All components of the developed software are fully described.

A convenient user interface has been developed. Instructions for working with software are provided.

The program can be used on PCs with Windows 10/11.

The program is developed in Python.

Keywords: computer science, intelligent climate control, data center

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ	2
ВСТУП.....	3
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ	5
1.1 Призначення системи.....	5
1.2 Область застосування.....	6
2 ПЕРЕГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	12
2.1 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур та програмних рішень за профілем теми випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти.....	12
2.2 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи та мови програмування.....	23
2.3 Розгорнута постановка завдання	26
3 ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ	27
3.1 Опис функціонування системи	27
3.2 Розробка структурної схеми.....	33
3.3 Розробка функціональної схеми	39
3.4 Розробка діаграми процесів.....	49
4 РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ВІРНІСТЬ ПРОЕКТНИХ ТА ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ.....	51
4.1 Розробка блок-схем та опис алгоритмів функціонування системи.....	51
4.2 Захист розробленого програмного забезпечення.....	64
5 ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ	68
6 ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Програмне забезпечення системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Рябовол В.В.					Б	1	82
Перев.	Коваленко А.С.							
Н.контр.	Коваленко А.С.					ЦНТУ КН-22		
Затв.	Смірнов О.А.							

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

БП	– блок перетворення
БРІУ	– блок вимірювання, керування та індикації
ЗВЧ	– зверх високі частоти
ІВТМ	– вимірювач вологості та температури.
КПК	– карманий персональний комп'ютер
МК	– мікроконтролер
ПЗ	– програмне забезпечення
ПК	– персональний комп'ютер
ПІ	– перетворювач інтерфейсу
GPRS	– стандарт бездротової передачі даних
GSM	– стандарт мобільного зв'язку
IP	– рівень мережної моделі передачі даних
PIC	– мікроконтролер
RAD	– набір візуальних інструментів для швидкісної розробки додатків
RS-232	– протокол обміну даними
RS-485	– протокол обміну даними
USB	– universal serial bus
VCL	– бібліотека візуальних компонентів

ВСТУП

Актуальність теми. Споживання енергії в центрах обробки даних продовжує зростати через зростання попиту на інформаційні технології з боку підприємств та приватних осіб. За даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), у 2024 році центри обробки даних спожили приблизно 415 ТВт·год, що становить близько 1,51 трильйона метричних тонн (ТЗТ) світового споживання електроенергії. Прогнози показують, що ця цифра може подвоїтися до 945 ТВт·год до 2030 року, головним чином завдяки широкому впровадженню штучного інтелекту.

Поточні зусилля щодо зменшення споживання енергії зосереджені на роботі ІТ-обладнання та систем охолодження, включаючи розширення діапазонів робочих температур для ІТ-обладнання та підвищення заданих значень системи охолодження. Наприклад, на охолодження припадає від 301 до 501 ТВт загальної енергії, що споживається в центрі обробки даних.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є програмне забезпечення системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- Огляд існуючих систем енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.
- Дослідження системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.
- Програмна реалізація системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що розроблені алгоритми дозволяють успішно вирішувати задачі енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.

Таким чином, виходячи з вищеперерахованого, програмне забезпечення системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД, є актуальною задачею, яка потребує вирішення у даній випускній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти.

КБПЗ_2026

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ

1.1 Призначення системи

Щоб правильно розрахувати компоненти, необхідно знати площу поверхні (розміри) шафи, температуру навколишнього середовища й тепловиділення встановленого в шафі устаткування.

Яке відношення площа поверхні має до контролів мікроклімату? Без витрат додаткової енергії тепло передається тільки в одному напрямку – з гарячої області в холодну. Прикладом може служити чашка кави, що остигає через кілька хвилин після того, як її поставлять на стіл: тепло залишає чашку й розсіюється в більше холодному приміщенні. У випадку контролю мікроклімату необхідно визначити, як буде переміщатися тепле повітря: з навколишнього середовища усередину шафи або навпаки. Процес передачі тепла відбувається через стінки, дах і підставу.

Площа поверхні, яку можна розрахувати шляхом додавання площ всіх чотирьох стінок шафи, не завжди є поверхнею теплообміну. Наприклад, при установці шафи в стіни, нагріється стіна, різниця температур буде невелика, а виходить, вихід тепла із шафи буде вповільнений або неможливий, оскільки при відсутності різниці температур теплового потоку не буде. Із цієї причини міжнародні організації прийняли рішення (DIN 57660 частина 50 і VDE 660 частина 500) скорегувати поверхню шафи для виконання розрахунку.

Тепловиділення

Знаючи ефективну площу поверхні шафи, можна розрахувати тепловиділення в ньому на підставі різниці між зовнішньою й внутрішньою температурою (для вже встановленої системи) або шляхом підсумовування даних по тепловиділенню окремих компонентів, зазначених у технічній документації (при компонуванні нової системи).

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Тепловий розрахунок для вже встановленої системи:

$$Q_e = Q_v - A \times k \times \Delta T,$$

де:

- Q_v – тепловиділення устаткування в шафі (Вт);
- A – ефективна поверхня теплообміну (m^2);
- $k = 5,5 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ (для листової сталі, для інших матеріалів значення інші);
- $\Delta T = (T_i - T_u)$ – різниця температури зовні й усередині шафи.

Якщо розрахунки покажуть, що потрібний контролі мікроклімату, то необхідно вибрати підходяще рішення. Залежно від вимог можливі різні варіанти: фільтруючі вентилятори, повітро-повітряні теплообмінники, холодильні агрегати або повітро-водяні теплообмінники. Кожне рішення має свої переваги. Фільтруючі вентилятори й повітро-повітряні теплообмінники споживають менше енергії, але температура навколишнього середовища повинна бути нижче, ніж температура усередині шафи. Якщо зовні тепліше, ніж припустимо, знадобиться холодильний агрегат або повітро-водяний теплообмінник.

Правильний вибір пристрою дуже важливий для забезпечення енергоефективності, але й інші фактори (його розташування на корпусі й щодо зовнішнього середовища, загальне обслуговування) можуть вплинути на ступінь ефективності.

1.2 Область застосування

При монтажі компонентів (у тому числі для контролів мікроклімату) зовні або усередині шафи необхідно передбачити досить місця для забезпечення ефективної роботи. Кабелі, забутий у шафі технічний довідник, запчастини й інші предмети можуть блокувати потік повітря, що знизить ефективність охолодження компонентів. У результаті строк їхньої служби скоротиться, а ймовірність відмов через перегрів збільшиться. Надто важливо передбачити достатній простір для циркуляції повітря, забравши всі перешкоди.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Крім того, ефективність знижується й від недостатчі вільного місця поруч із системами контролю мікроклімату. У загальному випадку компонента, які встановлюються усередині шафи, повинні розташовуватися не ближче 200 мм від місця забору повітря, генеруємого системою контролю мікроклімату, а потік повітря, створюваний вентиляторами цих компонентів, не повинен бути спрямований назустріч повітряному потоку, що виходить від блоку охолодження. За межами шафи оптимальним є відстань не менш 200-400 мм між пристроєм контролю мікроклімату й поруч, що перебувають об'єктами.

Правильний монтаж систем контролю мікроклімату в шафі підвищує ефективність роботи устаткування. Якщо сфера застосування не вимагає іншого, звичайно рекомендується розміщати фільтруючі вентилятори в нижній частині шафи, а вихідні фільтри – у верхній і із протилежної сторони. Таким чином, усередині корпуса створюється перехресна вентиляція, що поліпшує відвід тепла.

Ще одним способом підвищення продуктивності є розміщення шафи вдалині від джерел тепла, що виключає надмірне нагрівання й ризик можливого збитку через відмову устаткування.

Правильний розрахунок і грамотне проектування дозволяють одержати максимальну віддачу від систем контролю мікроклімату, однак способи підвищення ефективності на цьому не вичерпуються. Для поліпшення продуктивності й скорочення енерговитрат необхідно здійснювати планове технічне обслуговування протягом усього терміну служби устаткування.

Етап експлуатації: використання фільтруючих вентиляторів і холодильних агрегатів

Обслуговування фільтруючих вентиляторів досить просте, тому що забруднення фільтрів і необхідність їхньої заміни можна оцінити візуально. Регулярні профілактичні заходи необхідні й для холодильного агрегату. Щоб зрозуміти, які саме, розглянемо принцип його роботи.

У холодильного агрегату дві сторони – гаряча й холодна. Перша перебуває зовні, друга – усередині пристрою. По обидва боки розташовані теплообмінники:

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

конденсатор зовні й випарник усередині. Між ними циркулює холодоагент, що виводить тепло назовні. Вентилятори забезпечують циркуляцію повітря, проганяючи його через теплообмінник. У випадку засмічення теплообмінника його ефективність падає: навантаження на нього зростає, він споживає більше енергії, а потужність охолодження знижується.

Для запобігання забруднення на пластини теплообмінника може бути нанесене покриття, наприклад Rittal RiNano, що захищає від прилипання пилу, масла й інших субстанцій, або встановлений спеціальний фільтр. Регулярність чищень і замін фільтра залежить від стану навколишнього середовища. Існують три типи фільтрів, кожний з яких призначений для різних зовнішніх умов: металеві використовуються при наявності масла в повітрі, ворсяні вловлюють дрібні ворсинки, а фільтри з поліуретану ефективні в особливо курному середовищі.

Повітро-водяні теплообмінники й енергоефективність

Повітро-водяні теплообмінники використовуються в більше несприятливих умовах, ніж фільтруючі вентилятори, і, як холодильні агрегати, проохлоджують внутрішній простір шафи до температури нижче, ніж у навколишнього середовища. Для них потрібен джерело охолодженої води. Вода циркулює усередині зміювика теплообмінника, а убудований вентилятор проганяє через нього нагріте повітря. Тепло передається воді, що поглинає його й доставляє в чіллер, де вода проохлоджується й потім подається назад.

Енерговитратність повітро-водяних теплообмінників мала, тому вони вважаються ефективним рішенням, до того ж не потребуючого особливого обслуговування. Охолоджена вода використовується у виробничих процесах багатьох підприємств – наприклад, що випускають штампований метал і пластик. Великі промислові чіллери більш ефективні – чим крупніше система, тим краще результат її роботи.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Щоб забезпечити максимальну ефективність системи рідинного охолодження, використовувані трубопроводи необхідно ізолювати й не розташовувати в гарячих зонах, наприклад поруч із піччю.

Самі агрегати повинні відповідати сучасним вимогам до ефективності систем оборотного рідинного охолодження. На етапі проектування необхідно передбачити, щоб установлювані чіллери були оснащені компресорами й насосами з інверторним керуванням, а вентилятори конденсатора мали ЕС-двигуни. Таким вимогам відповідають, наприклад, чіллери Rittal лінійки Blue e+; економія електроенергії при їхньому використанні становить близько 70%.

Холодильні агрегати й коефіцієнт енергоефективності

Щоб точно визначити потрібний типорозмір і рівень ефективності холодильного агрегату, треба знати, яке кількість тепла прийде відводити від шафи й скільки енергії для цього необхідно.

Для систем побутового кондиціонування використовується показник SEER (сезонний коефіцієнт енергоефективності). На відміну від побутових, промислові холодильні агрегати звичайно працюють цілий рік 24 години на добу, тому що, коли устаткування включене, компоненти усередині шафи виділяють тепло. У випадку із промисловими агрегатами мірою ефективності є відношення охолодної здатності до величини енергоспоживання. Розрахунок цього коефіцієнта виробляється при певній температурі (як правило, 35°C і усередині, і зовні). Показник змінюється при різних температурах, що дозволяє порівнювати виробників устаткування шляхом оцінки ефективності по єдиному стандарті.

Сучасні виробництва нерідко оснащені високоточним устаткуванням, для належного функціонування якого потрібно підтримувати певну температуру усередині розподільної шафи автоматики. Виробники кліматичного устаткування для шаф прагнуть забезпечити енергоефективність і разом з тим високу точність підтримки певного рівня температури. З такими завданнями може впоратися тільки високотехнологічне устаткування, зокрема агрегати з новітньої лінійки холодильного устаткування Blue e+ виробництва Rittal.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

У моноблочних холодильних агрегатах використовується запатентований спосіб охолодження: традиційний «компресорний» тип охолодження сусідить із пасивним контуром «теплових трубок». Останній з'єднує теплообмінник випарника й теплообмінник конденсатора мідними фреоновими трубками без використання запірно-регулюючих пристроїв. Завдяки цьому досягається економія електроенергії близько 75%, оскільки при певному тепловому режимі зовні й усередині шафи компресор установки працює на низьких обертах або не працює взагалі, при цьому тепловий ефект відбувається за допомогою «теплових трубок».

Збільшити холодопродуктивність і енергоефективність можна за рахунок використання інверторних компресора й вентиляторів зовнішнього й внутрішнього контурів, PID-контролера, а також підключення холодильного агрегату до систем обліку й контролю електроенергії всього будинку за допомогою різних протоколів зв'язку (Profinet, SNMP, Modbus TCP і CANopen і т.д.). Це можна зробити за допомогою устаткування Rittal серії Blue e+ разом з Іо-інтерфейсом.

Створення ефективних і енергозберігаючих рішень для промислового контролю мікроклімату припускає три етапи: проектування, монтаж і експлуатацію.

У ході проектування повинні бути виконані загальне компонування, тепловий розрахунок і вибір способу контролю мікроклімату. Особливу увагу варто звернути на вільний струм повітря усередині монтажної шафи. Розрахунок необхідної потужності охолодження й облік середовища, у якій буде розміщений шафа, – це ключові фактори, які варто враховувати при виборі типу й потужності рішення.

На етапі проектування й монтажу потрібно приділяти увагу деталям і коректної – відповідно до проекту – установці в шафі устаткування й компонентів контролю мікроклімату, що дозволить досягти бажаних показників

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

енергоефективності. Рекомендується перевірити ізоляцію корпусу та інші проблемні місця, які можуть вплинути на безперебійну роботу устаткування.

У процесі експлуатації треба забезпечити постійне спостереження за роботою систем контролю мікроклімату, а також проведення регулярного технічного обслуговування з метою збільшення терміну служби компонентів.

Завдяки використанню сучасних агрегатів з інверторами для плавного й точного регулювання потужності, компресорів, насосів і вентиляторів з ЕС-керуванням споживачі мають можливість значно скоротити споживання електроенергії.

Таким чином, виходячи з вищеперерахованого, програмне забезпечення системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД, є актуальною задачею, яка потребує вирішення у даній випускній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

2 ПЕРЕГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур, програмних рішень за профілем теми випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

Якщо для здорової людини, що працює в офісному приміщенні, кондиціонування повітря ставиться до числа факторів що сприяють, але аж ніяк не критичних для нормальної життєдіяльності й комфортного самопочуття, то для комп'ютерного устаткування, що виділяє тепло рівно стільки часу, скільки продовжує працювати, наявність системи охолодження є обов'язковим елементом. Саме тому зустріти який-небудь електронний пристрій нехай навіть без елементарної системи охолодження, практично неможливо. Вентиляційні прорізи або додатковий зазор між "гарячим" елементами обов'язково присутній навіть у самих компактних приладах. Що вуж отут говорити про комп'ютерні системи, щільність компонентів яких, особливо останнім часом, без активних систем охолодження обійтися не дозволяє.

А що, якщо цих комп'ютерів в одному приміщенні багато? До того ж вони щільно "упаковані" у стійки, функціонують 24 години на добу, і їхня працездатність критична для підтримки бізнес-процесів компанії? У цьому випадку волею не волею пригадується витримка з інструкції для експлуатації (на яку звичайно закривають ока) – робочі характеристики устаткування при порушенні норм експлуатації погіршуються, рівень його готовності й надійності знижується, а термін служби скорочується. Як відомо, при відносній вологості повітря нижче 30% відбувається нагромадження електростатичних зарядів, що викликають порушення в роботі електричних кіл. Коливання температури в приміщенні, де встановлене електронне устаткування, також можуть знизити надійність його роботи й ступінь готовності всієї системи, – відповідно, прийде

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

приймати додаткові профілактичні міри. Але основна погроза навіть не в поломці дорогого устаткування: порушення норм його експлуатації здатно привести до зупинки бізнес-процесів компанії або втраті комерційних даних, вартість яких може багаторазово перевищувати вартість самого устаткування.

Вважається, що для нормальних умов експлуатації комп'ютерної техніки необхідна температура $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$, що може змінюватися на $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Саме тому в цей час до надійності й довговічності будь-якого устаткування, а особливо того, котре покликано функціонувати по формулі 24/7/365 пред'являються підвищені вимоги. Наприклад, практично все телекомунікаційне устаткування повинне бути розраховане на безперервну цілорічну експлуатацію протягом багатьох років. Однак надійність і довговічність устаткування даного типу залежить не тільки від технічних рішень, прийнятих при його проектуванні, але й, як ми вже відзначили, від умов експлуатації. Для правильного й надійного функціонування настільки чутливих електронних пристроїв важливо забезпечувати в підконтрольному просторі точне керування всіма параметрами мікроклімату. Властиво, за дотримання подібних умов і відповідають системи прецизійного кондиціонування, про які ми й поговоримо.

Точний контроль

Прецизійні кондиціонери (також називані кондиціонерами точного контролю, Close Control) – це пристрої, споконвічно розраховані для підтримки електронного устаткування у вигідних термодинамічних умовах: заданих межах температури, вологості й чистоти повітряного потоку. Вони являють собою спеціалізовані повністю укомплектовані рішення й мають підвищену надійність – забезпечують високий коефіцієнт охолодної здатності (відношення гаданої охолодної здатності до щирого), а також створюють великий питомий повітряний потік (відношення обсягу повітря, що перекачується, до загального обсягу тепла, що поглинається.). Ще однією особливістю таких систем є оптимізація під установку в серверні кімнати або шафи.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Сучасні прецизійні системи кондиціювання мають високий коефіцієнт охолодної здатності (від відчутної до загальної): 0,85-0,95, тобто приблизно 85-95% енергії системи витрачається на охолодження повітря й лише 5-15% – на видалення вологи. Це, до речі, відбиває головну технологічну відмінність прецизійних систем кондиціювання від "комфортних", у яких тільки 60-70% загальної продуктивності затрачається на видалення гаданого нагрівання, у той час як 30-40% призначене для видалення вологи з повітря. Саме тому в результаті роботи "комфортних" систем вологість повітря стає значно нижче оптимального значення, що в суху пору року може викликати електростатичні розряди. А тому говорити про застосування "комфортних" кондиціонерів для підтримки нормальних умов роботи комп'ютерного устаткування не доводиться.

І тут, мабуть, варто зробити застереження, що витрати на системи прецизійного кондиціювання істотно нижче, ніж на кондиціонери "комфортної" серії. "Комфортні" системи не призначені для безперервної тривалої роботи – у них порівняно невеликий термін служби й вони вимагають частої заміни основних елементів. Та й витрати на установку "комфортних" систем вище, ніж на прецизійні системи, а через меншу ефективність зростають витрати під час роботи такого устаткування, оскільки йому потрібно більше часте обслуговування й додаткові запасні частини. Прецизійної ж системи, подібно будь-якому сервісному устаткуванню, проектується як високонадійне й невимогливе до частого обслуговування. Благо параметри, яким повинен володіти прецизійний кондиціонер, до того розташовують.

– При виборі системи кондиціювання варто враховувати кілька основних параметрів. Перший у цьому списку – щільність теплового навантаження. У будь-якому приміщенні завжди можна розмістити більше одиниць устаткування, ніж людей. Отже, на одиницю площі комп'ютерного залу буде потрібно значно більша охолодна здатність. Так, в офісі одна тонна кондиціонованого повітря повинна доводитися на кожні 40-48 кв. м, а в комп'ютерному залі – на кожні 8-16 кв. м.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Другий немаловажний параметр – обсяг переміщуваного повітря. Він у певній мері відбиває інше істотне розходження двох систем кондиціювання, що стосується властиво обсягів переміщуваного ними повітря. Як правило, комфортна система перекачує по своїх контурах 22-26 куб. м у хвилину холодного повітря на одну теплову тонну. Прецизійна ж система перекачує на 45-50% більший обсяг повітря, що збільшує відчутний коефіцієнт охолодження й тим самим дозволяє впоратися з більше щільним тепловим навантаженням у комп'ютерному залі. Переміщення більших обсягів повітря сприяє також кращій фільтрації.

Остання властивість досить важливо, тому що наявність пилу негативно позначається на роботі комп'ютерного устаткування – адже швидко акумулюється на заряджених частинах устаткування. При високої запиленості відвід тепла від нагрітих поверхонь погіршується, тому температура покритих шаром пилу вузлів устаткування може перевищити припустиме значення, що скорочує його термін служби. У комфортних системах звичайно застосовують однократні фільтри на зразок використовуваних у побутових приладах продуктивністю близько 10%. А от фільтри, установлені в прецизійних системах кондиціювання, виконані у вигляді замкнутої камери й мають продуктивність до 90% (стандартно, клас EU4). Для медичних установ або "чистих" кімнат можливі поставки систем з фільтрами більшої ефективності – класів EU8 і EU9 по європейській класифікації.

Третій по рахунку, але аж ніяк не за значенням параметр, – точність підтримки температури. Уважається, що для нормальних умов експлуатації комп'ютерної техніки необхідна температура +22 °С, що може змінюватися на ± 2 °С. Вихід температури за ці межі у випадку використання особливо "ніжного", а іноді й стандартного по вимогах, але устаткування, що перебуває під постійним навантаженням, часто приводить до скасування гарантійних зобов'язань. А от прецизійні системи кондиціювання повітря легко втримують температуру в заданих межах. "Комфортні" системи не розраховані на втримання температури з такою точністю. Типове значення межі її зміни становить ± 5 °С.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Тут же варто згадати про регулюванні вологості. Наприклад, багатьом відомо, що при занадто високій вологості в приміщенні порушується робота принтерів. Крім того, можлива конденсація вологи на елементах електронного устаткування. При зниженій вологості розряди статичної електрики можуть вивести з ладу електронні компоненти устаткування й порушити цілісність даних, оброблюваних комп'ютерами. Системи прецизійного кондиціонування без праці підтримують відносну вологість на необхідному рівні ($45 \pm 5\%$). "Комфортні" же системи здатні працювати тільки у двох режимах: охолодження й відключення. До того ж необхідно відзначити, що в режимі охолодження одночасно відбувається, небажане осушення повітря. Ну й останній параметр, на який треба обов'язково звертати увагу, – часовий графік роботи. Як ми вже говорили, прецизійні системи кондиціонування повітря розраховані на безперервне функціонування протягом тривалого часу відповідно до графіка роботи електронного устаткування, встановленого в приміщенні. У більшості випадків – це 365 днів по 24 год, тобто 8760 год у рік. Все це час вентилятори діють безупинно, а інші пристрої системи включаються й вимикаються в міру необхідності для підтримки потрібної температури й вологості. "Комфортні" же системи звичайно працюють п'ять днів у тиждень по 8 год у день, і тільки в жарка пора року. Середньорічний час їхньої експлуатації дорівнює 1200 ч. Виводи, як говориться, зайві.

Огляд рішень

А тепер розглянемо приклади продуктових лінійок пристроїв класу прецизійного кондиціонування, доступних на українському ринку. Відразу скажемо, що гравців у даній сфері навіть на світовому ринку порівняно не багато, і, можливо, тому кожний з них контролює досить відчутну частку ринку. Крім того, більша частина з них крім систем прецизійного охолодження просуває джерела безперебійного електроживлення (ДПЖ) або комплектні системи для побудови інформаційної системи (ІС).

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Liebert-HIROSS

Компанія Liebert-HIROSS, контролює (за деяким даними) близько 40% європейського ринку прецизійного кондиціонування, а в її модельному ряді представлено понад десяток самих різних систем, крім технічних характеристик що розрізняються й конструктивним виконанням, а також функціональними особливостями.

Скажемо, система промислового кондиціонування шафового типу Nimod потужністю 20-142 кВт може використовуватися не тільки в комп'ютерних залах, але й у переговорних кімнатах, "чистих" приміщеннях, телекомунікаційних мережах і інших технологічних приміщеннях. Можливі конструктивні виконання з верхньою або нижньою подачею повітря, що дозволяє організувати системи із застосуванням фальшполу або підвісної стелі. Випускаються такі системи в наступних модифікаціях: з повітряним, водяним, гліколевим охолодженням конденсатора, а також з охолодженням холодною водою (безкомпресорні) і з подвійним джерелом охолодження вступник у приміщення повітря (безпосереднє охолодження з виносним повітряним або водяним конденсатором і охолодження від холодильної машини – чіллера). Існують варіанти з одним або двома контурами холодоагенту. Також передбачена й поставка устаткування з убудованим додатковим теплообмінником вільного охолодження й триходовим клапаном проміжного теплоносія (Freecooling), що дозволяє заощаджувати споживану компресором електроенергію.

Для використання в приміщеннях з обмеженим вільним простором Liebert-HIROSS пропонує кілька типів кондиціонерів. Наприклад, Hisp потужністю 4-14 кВт, які являють собою рішення прецизійного кондиціонування з виносним компресорно-конденсаторним агрегатом (Split) для технологічних приміщень і телекомунікаційних комутаторів. Вони складаються із двох окремих модулів – модуля випарника, установлюваного в приміщенні (SE – Split Evaporator), і зовнішньої секції конденсатора (SC – Split Condenser). При цьому у випадку перебоїв мережного електроживлення кондиціонери Hisp можуть

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

одержувати живлення від аварійних джерел 48 В постійного або 230 В/50 Гц однофазного змінного струму.

Інше рішення – моноблочні кондиціонери Hiline для внутрішнього монтажу. Це сімейство комплексних повітряних кондиціонерів прямої дії з убудованим конденсатором повітряного охолодження. Блоки призначені для установки в приміщенні, існують версії з верхньою роздачею повітря й з подачею охолодженого повітря під фальшпол. А якщо в приміщенні спостерігається дефіцит вільного простору, може бути встановлена серія Slim, що вирішить дану проблему (моделі потужністю 3 і 4 кВт у корпусі розміром 250x600x2000 мм).

Є в модельному ряді компанії й комплексне рішення, що поєднує не тільки систему прецизійного кондиціювання, але й систему розподілу електроенергії, розподілену кабельну систему й шкафоподібну стійку для інтеграції комп'ютерного устаткування. Дане рішення представлене серією Foundation. У цей час доступні дві базових конфігурації – шафа Foundation і міні-комп'ютерна кімната Foundation.

Шафа Foundation поставляється у двох варіантах – на регульованих передній/задній або задній центральній рейках. У першому випадку в шафі буде встановлено два комплекти рейок, устаткування по яких переміщається вертикально. Таким чином, у шафах можна розмістити типове серверне й мережне устаткування більшості виробників. Але головна особливість шаф Foundation – їхній внутрішній пристрій. У них установлені шини живлення (одна або дві), споконвічно є 6 або 10 отворів для підключення кабелів на 15 А/120 В, 20 А/120 В або 10 А/230 В. Інтегрована в шафу й внутрішню лампу із гнучким кріпленням (його довжина 400 мм). Крім того, передбачена зовнішня підставка під клавіатуру. Система охолодження шафи представлена двома вентиляторами, але їхнє число може бути доведене до п'яти.

Що стосується комп'ютерної міні-кімнати Foundation, вона має систему ущільнень, стійку до зовнішніх впливів, дверні й настінні муфти промислової якості, герметичне кабельне уведення, фірмову кондиціонуючу установку Liebert на фреоні, а також модуль аварійного охолодження й інші важливі елементи.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

InfraStruXure

Інший гравець ринку прецизійного охолодження – компанія APC. Вона поставляє як окрему систему прецизійного кондиціонування, так і цілу серію інтегрованих комплексних систем InfraStruXure.

Система прецизійного кондиціонування NetworkAIR FM також є ключовим компонентом InfraStruXure, мова про яку піде трохи нижче, і виконана як напольна система для центрів обробки даних.

У ній застосовані вентилятори із прямим приводом замість традиційних конструкцій із приводним ременем і барабаном (що відрізняються більше високою частотою збоїв), що за даними виробника дозволяє збільшити надійність і скоротити витрати на обслуговування. При цьому карта мережного керування APC Network Management Card, що є частиною NetworkAIR FM, забезпечує інтелектуальні функції NetworkAIR FM і можливість керування по мережі.

Не обійшлося й без модернізації теплотехнічних елементів. Наприклад, конструкція змійовика забезпечує високу ефективність і низьку вартість експлуатації завдяки використанню спеціального циклу зневоднювання, що дозволяє скоротити витрати енергії при зневоднюванні й домогтися більше високого теплового навантаження по сухому теплу й низькому енергоспоживанню при нормальній роботі. Крім того, сервісний доступ попереду прискорює регулярне обслуговування й заощаджує дефіцитні площі.

Сама ж по собі система прецизійного охолодження APC NetworkAIR FM випускається у вигляді модулів потужністю 35, 40 і 50 кВт, причому до трьох пристроїв можна з'єднувати разом для забезпечення необхідної додаткової потужності охолодження. NetworkAIR FM застосовується й у системах з компресором при повітряному, водяному або гліколевому охолодженні, у тому числі з додатково встановленим економайзером або засобами множинного охолодження. Всі системи доступні у варіантах з викидом повітря нагору або долілиць. Що ж до комплексного рішення компанії APC, воно представлено установками серії InfraStruXure, що існує в трьох різновидах: А, В і С. Якщо є

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

сервер плюс яке-небудь телекомунікаційне устаткування й досить потужності 5 кВ·А, Можна встановити систему типу А. Тип В використовується в тих випадках, коли потрібно забезпечити потужність близько 40-80 кВ · А. Паралельне з'єднання дозволяє досягти потужності близько 200 кВ · А. Якщо ж потрібна потужність понад 200 кВ · А, то необхідно встановлювати InfraStruXure типу С. Втім, існує можливість поступового переходу (при виникненні такої необхідності) від рішень одного типу до іншого.

Зупинимося на кожному з типів APC InfraStruXure докладніше.

Перший тип (Type А) призначений для обслуговування порівняно невеликих інформаційних систем, устаткування в них може вміститися на 1-3 або 3-10 стійок. У першому випадку як система резервного живлення застосовуються звичайні п'єдестальні ДПЖ Smart-UPS RM, які укладаються в нижній частині шафи, а в другому – могутніше рішення Symmetra RM. Рекомбінацію холодного повітря здійснює блок відкачки повітря (ARU) із системою повітряних патрубків. Крім того, у системі є досить зручні кабельні сходи, що надають можливість розвести кабелі по місцях комплексу, не перекриваючи потоки повітря. У резервно-контрольному блоці InfraStruXure Type А для 3-10 стійок застосовується більше складна система рекомбінації холодних потоків повітря на базі кондиціонера NetworkAIR RA, здатного підтримувати стабільну внутрішню температуру навіть при досить сильних коливаннях зовнішньої температури. Керування системою контролю ведеться за допомогою карти мережного керування, укомплектованої керуючим програмним забезпеченням.

Другий тип (Type В) призначений для більше складних інформаційних систем з кількістю стійок від 10 до 100 штук. Якщо система на базі InfraStruXure Type А може бути зібрана самостійно, з урахуванням індивідуальних вимог користувальницької групи, то для підготовки роботи InfraStruXure Type В обов'язково присутність співробітників компанії-інтегратора. Це пов'язане з тим, що система більше складна й має ряд функцій, налаштування яких під силу тільки фахівцям.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Як і в попередньому випадку, тип В архітектури InfraStruXure містить два підтипи, орієнтованих на число стійок від 10 до 60 або від 60 до 100 стійок. У першому варіанті використовуються ДПЖ Symmetra PX потужністю 40 кВт. Система підтримки внутрішньої температури даного типу комплексу APC ISX становить особливий інтерес, оскільки базується на кондиціонері NetworkAIR FM і блоці відкачки повітря зі складною системою патрубків, а також на блоці розподілу повітря. Це підвищує надійність системи не тільки за рахунок дублювання функцій, але й завдяки їхньому ефективному комбінуванню.

Комплекс InfraStruXure Type В, розрахований на обслуговування 60-100 стійок, – більше складне рішення. Його система підтримки мікроклімату аналогічна попередньому комплексу, за винятком того, що складових частин і дублюючих один одного комплексів у базовому варіанті вдвічі більше. Структурна особливість системи охолодження даного комплексу – присутність системи повітряних каналів під покриттям підлоги серверної кімнати. Холодне повітря за допомогою кондиціонера NetworkAIR FM накачується в підпільну систему каналів і поширюється по шафах знизу нагору. Таке рішення не тільки оригінально з інженерної точки зору, але й досить раціонально в плані використання робочого простору, оскільки дозволяє відмовитися від нависаючих над стелею повітроводів.

Комплекс InfraStruXure Type С розрахований на обслуговування більш ніж 100 стійок. Структура комплексу дозволяє легко збільшувати число комп'ютерної техніки, що обслуговується, за рахунок конструктивних хитрувань. Основна відмінність Type С від попередніх у тому, що він може бути встановлений не тільки в приміщенні зі стандартною висотою стель, але й зменшеної, наприклад, на горищі або в підвальних приміщеннях старого типу. Як і в попереднім рішенні, холодне повітря до компонентів ІС підводить через підпільну систему повітряних каналів, а гарячий – через спеціалізовані повітряні патрубки, розташовані на шафах. Це, властиво, і надає можливість монтувати InfraStruXure Type С у будь-яких приміщеннях.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Сьогодні при роботі із забезпечення стабільності діяльності Центрів обробки даних ми спостерігаємо тенденцію, що зачіпає як системи прецизійного охолодження (ПО), так і ринок систем кондиціонування в цілому. Незважаючи на революційні зміни в області інформаційних технологій, які відбулися у світі за останні десятиліття, підходи до кондиціонування ЦОД із середини 60-х років ХХ століття практично не змінилися. У сьогоднішні ж умовах, коли ІТ-інфраструктура компаній постійно ускладнюється, а щільність устаткування росте, питання охолодження стають актуальними як ніколи раніше. Наприклад, ще два роки тому для забезпечення однієї стандартної серверної стійки можна було обійтися електрошафою на 3-4 кВт. Сьогодні така стійка може споживати до 10 кВт. Відповідно, росте до небезпечних меж і кількість тепла на квадратний метр площі, а виходить, його потрібно кудись виводити, і традиційними методами тут не обійтися. Саме тому сьогодні АРС усе більше уваги приділяє розробкам промислових систем кондиціонування, у тому числі систем прецизійного охолодження.

При цьому практика показує, що подібні продукти затребувані у всіх галузях – причому, особливим попитом користуються рішення, пов'язані із серверними кімнатами починаючи від середніх, а також стійки з високою щільністю.

Тут же скажу, що по статистиці, серйозні аварійні ситуації, що тягнуть за собою повну зупинку ІТ-систем, у яких не використовуються рішення ПК, виникають не рідше одного разу в рік. Типові причинами тут є вихід з ладу кондиціонера "комфортної" серії, перегрів устаткування й витік конденсату.

Точної оцінки ринку систем прецизійного кондиціонування в нас ні, але, на мою думку, ріст ринку йде паралельно з ростом ринку ІТ – приблизно 15-20% у рік, хоча деякі джерела інформації називали й значно більше високі показники. Основні гравці на українському ринку це: Uniflair, Liebert-Hiross, Stulz, Weiss.

Основні замовники систем прецизійного кондиціонування це, у першу чергу, оператори зв'язку й великі корпорації, що бідують у створенні центрів

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

обробки даних (ЦОД). Дуже часто проекти створення систем прецизійного кондиціювання йде в рамках більших проектів у якості однієї з його складових.

При цьому я вважаю, що, застосування інтегрованих з ДПЖ систем доцільно лише в ряді випадків, наприклад, тоді, коли потрібне постійне нарощування потужності обчислювального центра. У цьому випадку модульна архітектура системи має істотну перевагу. Однак, у більшості випадків, дискретні системи переважніше. Розрахунки показують, що обчислювальні системи сучасних ЦОД не витримують зупинки системи кондиціювання на 10-15 хвилин (температура піднімається занадто швидко).

Тому, при аваріях у мережі електропостачання об'єкта для забезпечення роботи системи кондиціювання застосовуються накопичувальні резервуари, з яких подачу холодоагенту в контур охолодження здійснює насосна група, заживлення від ДПЖ. Таке рішення дозволяє зберегти кліматичні характеристики в ЦОД протягом часу, достатнього для запуску дизель-генераторних установок об'єкта. Це теж інтегрована з ДПЖ система, але небагато в іншій постановці питання.

2.2 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи та мови програмування

Як мова програмування обрана Python. Python – високорівнева мова програмування загального призначення з акцентом на продуктивність розроблювача й читаність коду. Синтаксис ядра Python мінімалістичний. У той же час стандартна бібліотека включає великий обсяг корисних функцій.

Python підтримує кілька парадигм програмування, у тому числі структурне, об'єктно-орієнтоване, функціональне, імперативне й аспектно-орієнтоване. Основні архітектурні риси – динамічна типізація, автоматичне керування пам'яттю, повна інтроспекція, механізм обробки виключень, підтримка багатопоточні обчислень і зручні високорівневі структури даних. Код у Python

організовується у функції й класи, які можуть поєднуватися в модулі (які у свою чергу можуть бути об'єднані в пакети).

Еталонною реалізацією Python є інтерпретатор CPython, що підтримує більшість активно використовуваних платформ. Він поширюється вільно під дуже ліберальною ліцензією, що дозволяє використовувати його без обмежень у будь-яких застосунках, включаючи пропрієтарні. Є реалізації інтерпретаторів для JVM (з можливістю компіляції), MSIL (з можливістю компіляції), LLVM і інших. Проект PyPy пропонує реалізацію Python на самому Python, що зменшує витрати на зміни мови й постановку експериментів над новими можливостями.

Python – мова програмування, що активно розвивається, нові версії (з додаванням/змінюю мовних властивостей) виходять приблизно раз у два з половиною року. Внаслідок цього й деяких інших причин на Python відсутні ANSI, ISO або інші офіційні стандарти, їхня роль виконує CPython.

Python портований і працює майже на всіх відомих платформах – від КПК до мейнфреймів. Існують порти під Microsoft Windows, практично всі варіанти UNIX (включаючи FreeBSD і Linux), Plan 9, Mac OS і Mac OS X, iPhone OS 2.0 і вище, Palm OS, OS/2, Amiga, AS/400 і навіть OS/390, Symbian і Android.

При цьому, на відміну від багатьох портуємих систем, для всіх основних платформ Python має підтримку характерних для даної платформи технологій (наприклад, Microsoft COM/DCOM). Більше того, існує спеціальна версія Python для віртуальної машини Java – Jython, що дозволяє інтерпретаторові виконуватися на будь-якій системі, що підтримує Java, при цьому класи Java можуть безпосередньо використовуватися з Python й навіть бути написаними на Python. Також кілька проектів забезпечують інтеграцію із платформою Microsoft .NET, основні з яких – IronPython і Python.Net.

Python підтримує динамічну типізацію, тобто тип змінної визначається тільки під час виконання. Тому замість «присвоювання значення змінної» краще говорити про «зв'язування значення з деяким ім'ям». У Python є убудовані типи: бульові, рядки, Unicode-рядки, цілі числа довільної точності, числа із плаваючою

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

коми, комплексні числа й деякі інші. З колекцій Python підтримує кортежі (*tuples*), списки, словники (асоціативні масиви) і, починаючи з версії 2.4, безлічі. Всі значення в Python є об'єктами, у тому числі функції, методи, модулі, класи.

Додати новий тип можна або написавши клас (*class*), або визначивши новий тип у модулі розширення (наприклад, написаному мовою C). Система класів підтримує спадкування (одиначне й множинне) і метапрограмування. Можливе спадкування від більшості убудованих типів і типів розширень.

Всі об'єкти діляться на посилальні й атомарні. До атомарного ставляться *int*, *long*, *complex* і деякі інші. При присвоюванні атомарних об'єктів копіюється їхнє значення, у той час як для посилальних копіюється тільки покажчик на об'єкт, таким чином, обидві змінні після присвоювання використовують те саме значення. Посилальні об'єкти бувають змінювані й незмінні. Наприклад, рядки й кортежі є незмінними, а списки, словники й багато інших об'єктів – змінюваними. Кортеж у Python є, по суті, незмінним списком. У багатьох випадках кортежі працюють швидше списків, тому якщо ви не плануєте змінювати послідовність, то краще використовувати саме їх.

Мова має чіткий і послідовний синтаксис, продуману модульність й масштабованість, завдяки чому вихідний код написаних на Python програм легко читаємий.

Python – стабільна й розповсюджена мова. Він використовується в багатьох проектах і в різних якостях: як основна мова програмування або для створення розширень і інтеграції застосунків. На Python реалізоване велика кількість проектів, також він активно використовується для створення прототипів майбутніх програм. Python використовується в багатьох великих компаніях.

2.3 Розгорнута постановка завдання

Згідно з технічним завданням на випускню кваліфікаційну роботу за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти, реалізації підлягає програмне забезпечення, яке призначено для системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.

В процесі розробки випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти необхідно виконати наступний обсяг роботи:

а) провести аналіз існуючих систем-аналогів для виявлення їх позитивних і негативних якостей. Результати аналізу врахувати в подальших розробках;

б) вибрати та обґрунтувати методику побудови системи контролю роботи технологічного обладнання на виробництві в автоматизованому режимі. Розробити функціональну та структурну схеми системи;

в) розробити програмне забезпечення системи, що дозволить реалізувати поставлену технічним завданням задачу. Побудувати блок-схеми алгоритмів програми та підпрограми;

г) організувати інтерфейс користувача з метою формування та виводу на екран ЕОМ повідомлень про некоректні дії користувача та нестандартні ситуації в роботі технологічного обладнання;

д) розробити рекомендації по організаційних та методичних заходах, які забезпечать впровадження системи в промислову експлуатацію та її подальшу успішну експлуатацію;

е) провести розрахунки по визначенню економічної ефективності розробленої системи;

ж) розробити заходи по охороні праці при впровадженні та експлуатації системи, а також розробити заходи з цивільного захисту;

з) сформулювати висновки про виконаний обсяг робіт та одержані результати.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

3 ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

3.1 Опис функціонування системи

Згідно з більшістю оцінок, від 501 до 551 ТРЗТ енергії використовується для підтримки інфраструктури – чилерів, трансформаторів, ДБЖ, освітлення та систем безпеки. «Зелена мережа» припускає, що лише 301 ТРЗТ енергії може бути фактично перетворено на корисну обчислювальну роботу, залежно від того, скільки елементів інфраструктури (чилерів, трансформаторів, CRAC тощо) присутні на об'єкті.

Мета зрозуміла: створити центр обробки даних, який споживає найменшу можливу кількість енергії для будь-якої операції чи діяльності, але без шкоди для безпеки, захисту чи доступності ІТ-операцій.

Один з найефективніших способів вимірювання та підвищення цієї ефективності – це показник PUE (Ефективність використання енергії).

Що таке PUE і чому це важливо?

PUE – це всесвітньо визнаний стандарт для порівняння енергоефективності центрів обробки даних. Він розраховується як співвідношення між загальною енергією, споживаною об'єктом, та енергією, що використовується виключно ІТ-обладнанням.

Ідеальний показник PUE 1,0 означатиме, що вся енергія використовується безпосередньо ІТ-системами, без втрат у допоміжній інфраструктурі. На практиці це недосяжно, але встановлює орієнтир.

Який поточний середній показник PUE?

Згідно з глобальним опитуванням Uptime Institute за 2025 рік, середній показник PUE по галузі становить 1,56. Це значення залишається відносно стабільним протягом останніх п'яти років поспіль. Однак ця стагнація маскує значний прогрес у нових і великих інсталяціях: багато нещодавніх збірок

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

постійно досягають PUE 1,3 або навіть нижче. Провідні гіперскейлери, такі як Google, повідомляють про PUE 1,09, тоді як Microsoft прагне до проектного PUE 1,12.

Економічний ефект значний: для центру обробки даних потужністю 10 МВт зменшення PUE з 1,6 до 1,3 може заощадити понад 26 мільйонів кВт·год щорічно, що еквівалентно приблизно 1,3 мільйона доларів США на рік витрат на електроенергію.

Критерії проектування для енергоефективності

Нижче наведено основні критерії, які слід враховувати під час проектування – або редизайну – центру обробки даних з акцентом на енергоефективність.

Вибір місця

Розташування центру обробки даних є одним із найважливіших рішень для його довгострокової ефективності. Слід оцінити такі фактори, як:

– Клімат: Регіони з низькими температурами дозволяють ширше використовувати природне охолодження, що значно зменшує потребу в механічному охолодженні. Intel продемонструвала, що при встановленні повітряних економайзерів та температури на вході сервера на рівні 35°C природне охолодження було можливим протягом усіх годин року, крім 39, досягнувши показника PUE лише 1,07.

– Близькість до води: необхідна для систем водяного охолодження та градирень.

– Якість повітря: вона впливає на життєздатність прямих повітряних економайзерів та вимоги до фільтрації.

– Джерела енергії: доступ до відновлюваних джерел енергії, стабільність електромережі та вартість енергії в регіоні.

Конструкція та планування будівлі

Архітектурний дизайн будівлі безпосередньо впливає на експлуатаційну ефективність. Ключові аспекти включають:

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

– Будівельні матеріали: належна теплоізоляція підлог, дахів та стін зменшує витрати на охолодження. Рекомендується використання відбивних фасадів або зелених дахів.

– Багатоцільовий/багатоорендарійний проти спеціально побудованого: центр обробки даних, розроблений виключно для цієї мети, дозволяє оптимізувати кожен аспект інфраструктури.

– Модульний центр обробки даних: Контейнеризовані та масштабовані конструкції дозволяють розширюватися на вимогу без перевищення початкової інфраструктури, адаптуючи потужність до фактичних потреб.

– Планування операційних та допоміжних приміщень: інтелектуальний розподіл мінімізує відстані переміщення повітря, води та енергії.

– Використання альтернативної енергії: інтеграція таких джерел, як сонячна, вітрова або теплова енергія. Хоча це безпосередньо не покращує показник PUE, це значно зменшує вуглецевий слід та відповідає стратегіям ESG.

– Високоєфективні методи будівництва: такі сертифікати, як LEED, ISO 50001, та показники енергоефективності підтверджують найкращі методи будівництва.

Вибір енергоефективного ІТ-обладнання

Вибір енергоефективних серверів, пристроїв зберігання даних та мережевого обладнання є фундаментальним принципом. Деякі найкращі практики включають:

– Надавайте пріоритет серверам з вищою обчислювальною потужністю та меншим споживанням енергії, бажано з сертифікацією ENERGY STAR.

– Використовуйте блоки живлення стандарту 80 PLUS Titanium, які досягають ефективності вище 92%. При ціні \$0,12 USD/кВт·год економія може становити від \$2000 до \$6000 на стійку на рік.

– Консолідуйте навантаження за допомогою віртуалізації та контейнерів, що зменшує як пряме споживання електроенергії, так і потребу в охолодженні.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Вибір ефективних пристроїв інфраструктури

Компоненти розподільчої системи електропостачання безпосередньо впливають на втрати енергії в центрі обробки даних:

- Трансформатори з високим ККД та низькими тепловтратами.
- Системи ДБЖ з ККД 96% або вище, що працюють в еко-режимі або режимі подвійного перетворення.
- Розподільні пристрої живлення (PDU) та інтелектуальні подовжувачі живлення з моніторингом стійки або фаз.

Рішення щодо розгортання: відкриті стійки проти закритих шаф

Вибір між відкритими стійками та закритими ІТ-шафами впливає на управління потоком повітря та ефективність охолодження. Закриті шафи з системами ізоляції сприяють розділенню гарячого та холодного повітря, покращуючи ефективність клімат-контролю.

Вибір ефективного холодильного обладнання

Охолодження є найбільшим споживачем енергії в інфраструктурі центру обробки даних. Варіанти проектування включають:

- Системи керування повітрям, що встановлюються зверху, по периметру або в ряду (рядові): кожна конфігурація має переваги залежно від щільності потужності та розташування стійок.
- Мінімізуйте відстань між джерелом охолодження та обладнанням: Зменшення відстані, яку повітря, вода або енергія передають між джерелом та точкою використання, зменшує втрати та підвищує ефективність системи.
- Системи рідинного охолодження: для середовищ з високою щільністю, таких як штучний інтелект/високопродуктивні обчислення, рідинне охолодження безпосередньо в чіпі стає новим стандартом.

Проектування механічних систем для оптимізації робочого середовища

Механічна конструкція центру обробки даних повинна оптимізувати умови температури та вологості відповідно до рекомендацій ASHRAE TC 9.9,

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

який рекомендує температуру на вході сервера від 18°C до 27°C для обладнання класу А та від 18°C до 22°C для систем класу Н1 високої щільності (таких як прискорювачі штучного інтелекту).

Фальшовані підлоги проти плити перекриття

Верхні поверхи (підняті підлоги) дозволяють контрольований розподіл холодного повітря знизу, тоді як наземні конструкції з верхнім або рядним охолодженням усувають неефективність пленуму та можуть бути більш ефективними в конфігураціях з високою щільністю.

Схема обладнання: гарячий прохід / холодний прохід

Чергування гарячого та холодного проходу є стандартною практикою, яка покращує ефективність потоку повітря, запобігаючи змішуванню холодного повітря з теплим зворотним повітрям.

Системи утримання проходів

Фізичне стримування проходів – гарячих чи холодних – є одним із найефективніших заходів для покращення показника енергоефективності (PUE). Ці системи запобігають рециркуляції гарячого повітря до ІТ-обладнання та дозволяють системам охолодження працювати ефективніше.

Економна робота: повітряна або водяна сторона

Економайзери дозволяють так зване «вільне охолодження», використовуючи зовнішні умови навколишнього середовища для охолодження центру обробки даних, не покладаючись виключно на механічне охолодження. Існує два основних методи:

- Повітряний економайзер (з боку повітря): він замінює гаряче рециркуляційне повітря охолодженим, фільтрованим та очищеним зовнішнім повітрям. Це може зменшити річне споживання охолодження більш ніж на 60%.

- Водозбереження (на березі води): Використовуються градирні для виробництва холодної води без активації чилера, що забезпечує максимальну економію в періоди низьких температур зовнішнього повітря.

Інтеграція інтелектуальних систем управління

Вимірювання, звіти та контроль

Неможливо покращити те, що не вимірюєш. Впровадження датчиків температури та енергоспоживання по зонах або стійках, разом із системами сигналізації та прогновною аналітикою, є важливим для підтримки стабільного показника PUE та запобігання відхиленням.

DCIM: Програмне забезпечення для управління інфраструктурою

Використання інструментів управління інфраструктурою центру обробки даних (DCIM) дозволяє контролювати, відстежувати та керувати як ІТ-активами, так і компонентами інфраструктури – стійками, блоками охолодження, розподільчими пристроями – з централізованої платформи. Рекомендується:

- Мінімізуйте використання власних або спеціалізованих на окремих завданнях програмних протоколів.
- Обирайте платформи зі спільною мовою, яка може взаємодіяти з іншими системами.
- Інтегруйте DCIM із системою управління інформацією будівлі (BIM, Building Information Management), що дозволяє створити **цифрового двійника** (цифрового двійника) об'єкта для аналізу впливу, планування потужностей та управління змінами.

Дослідження показують, що автоматизація моніторингу та контролю може постійно знижувати споживання інфраструктури до 10%.

Додаткові практики підвищення ефективності

Управління кабелями та вентиляція

Кабелі живлення та передачі даних не слід прокладати в місцях, призначених для циркуляції повітря, наприклад, під фальшпідлогою. Кабелі можуть створювати перешкоди, що порушують циркуляцію повітря, утворюючи точки перегріву та знижуючи ефективність системи охолодження.

Ефективне освітлення

Хоча освітлення становить невелику частину загального споживання

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

енергії, кожне покращення має значення. Рекомендується встановити високоефективне світлодіодне освітлення з датчиками руху та присутності, щоб світло вмикалося лише тоді та там, де це необхідно.

На шляху до більш ефективного центру обробки даних: комплексне бачення

Проектування енергоефективного центру обробки даних залежить не від одного заходу, а від стратегічної інтеграції кількох критеріїв – від вибору місця до програмного забезпечення для управління – які працюють скоординовано. У контексті, коли попит на енергію в центрах обробки даних може становити майже половину зростання попиту на електроенергію в Сполучених Штатах до 2030 року, кожне покращення показника PUE та кожен зекономлений кіловат мають значний економічний та екологічний вплив.

Ключ полягає в застосуванні цілісного підходу: поєднанні інтелектуального вибору місця розташування, передових технологій охолодження, ефективного ІТ-обладнання, систем ізоляції, економайзерів енергії та інструментів моніторингу, таких як DCIM та BIM. Це призводить до створення центру обробки даних, який не тільки споживає менше енергії, але й перетворює максимально можливу частку цієї енергії на корисну обчислювальну роботу – без шкоди для доступності чи операційної безпеки.

3.2 Розробка структурної схеми

У поточному стані технологічного середовища у 2026 році сектор центрів обробки даних далеко вийшов за межі стандартного охолодження. Ми вступили в еру теплової оркестрації, і охолодження центрів обробки даних вже не є резервною функцією, а стратегічним активом. Швидкий розвиток генеративного штучного інтелекту, периферійних обчислень у реальному часі та навчання великомасштабних систем машинного навчання довів фізичні межі апаратного забезпечення. Те, що колись було незначною проблемою для ІТ-менеджерів,

тепер стало основною перешкодою в масштабуванні хмарних обчислень та цифрової інфраструктури.

До 2026 року мова йде не лише про уникнення раптової зупинки, а й про оптимізацію споживання енергії, подовження терміну служби обладнання та задоволення дедалі суворіших світових вимог до глобальної ефективності використання енергії (PUE). У статті розглядається динамічний світ рішень для охолодження серверів, шляхи, яким галузь прагне досягти найвищих щільностей тепла в галузі без шкоди для високої ефективності операцій. Незалежно від того, чи керуєте ви бутиковим об'єктом на периферії, чи інноваційним центром обробки даних, важливо вивчити ці стратегії наступного рівня, щоб забезпечити майбутнє вашої інфраструктури в найближчі роки.

Прагнення до щільності: чому штучний інтелект та високопродуктивні обчислення вимагають кращого охолодження

Рушійною силою сучасної революції охолодження важко заперечити той факт, що кількість тепла в центрах обробки даних зі штучним інтелектом зростає в геометричній прогресії. У 2023 році типова щільна стійка високої щільності потребувала приблизно від 15 до 30 кВт. У 2026 році ми побачимо спеціальні кластери високопродуктивних обчислень (HPC) потужністю до 100 кВт на стійку і більше.

Сьогодні навіть прискорювачі мають номінальну теплову потужність (TDP) понад 700 Вт, а в деяких розігнаних конструкціях навіть до 1000 Вт на чіп. Такі екстремальні теплові навантаження неможливо охолодити за допомогою традиційного повітряного охолодження. При такому високому споживанні енергії в поєднанні з таким високим рівнем концентрації на відносно невеликій площі, вхідне холодне повітря просто не може охолодити кремній достатньо швидко, щоб відвести теплову енергію до початку деградації кремнію.

Більше того, «Теплова стіна» тепер перетворилася на фізичний об'єкт, здатний визначити, як має бути спроектована інфраструктура центру обробки даних. Високі температури спричинятимуть теплове дроселювання, оскільки

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

центральный або графічний процесор автоматично уповільнюватиме свою тактову частоту для охолодження ІТ-обладнання. В умовах пікової продуктивності будь-яке десятивідсоткове зниження тактової частоти, спричинене нагріванням, може коштувати компанії мільйони доларів обчислювальної вартості. Пошук найкращого рішення для охолодження серверів, таким чином, є пошуком безпечної рентабельності інвестицій та мінімізованого споживання енергії.

Для вирішення цих викликів галузь диверсифікувалася, охоплюючи три основні технологічні напрямки. Обидва напрямки необхідні в екосистемі 2026 року, залежно від потреб відповідного проекту та наявних обмежень потужностей.

Системи повітряного охолодження

Хоча інші прогнозували занепад повітряного охолодження, воно є основою більшості сучасних центрів обробки даних. Ці системи були розроблені у 2026 році з удосконаленням керування повітряним потоком та застосуванням теплообмінників. Повітряні системи тепер здатні обробляти до 35 кВт на стійку, розміщуючи охолоджувальний блок ближче до серверних стійок, наприклад, за допомогою теплообмінників із задніми дверима (RDHx). Йдеться вже не про охолодження всього приміщення, а про точне керування повітряним потоком, завдяки якому холодне повітря спрямовується лише в необхідні зони за допомогою інтелектуальних датчиків, щоб контролювати вплив на навколишнє середовище втраченої енергії.

Системи рідинного охолодження

Технологія холодної пластини, яка була визначена як пряме рідинне охолодження (DLC), є стандартом 2026 року для розгортання штучного інтелекту на підприємствах. У цій конструкції на процесор встановлюється рідинна холодна пластина, через яку циркулює охолоджувальна рідина.

Оскільки рідини можуть переносити набагато більше тепла, ніж повітря (до 4000 разів перевищує їхню місткість), рідинне охолодження може легко

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

обробляти чіпи потужністю понад 700 Вт. Це дозволяє операторам центрів обробки даних підвищувати температуру навколишнього повітря і, отже, економити значну кількість енергії, яка використовується в механічному охолодженні та великомасштабних чиллерах, що, як наслідок, призведе до економії на експлуатаційних витратах.

Технологія занурювального охолодження

Імерсійне охолодження є найрадикальнішим рішенням для охолодження серверів і включає ванну з непровідною діелектричною рідиною, яка використовується для занурення цілих серверних блейд-модулів.

– Однофазне занурення: Рідина зберігається в рідкому стані та перекачується в теплообміннику.

– Двофазне занурення: Рідина кипить, коли торкається компонентів, використовуючи принцип випаровування води (але з діелектричними рідинами) для конденсації та рециркуляції.

«Золотим стандартом» гіперскейлерів 2026 року є рідинне охолодження, яке практично виключає використання внутрішніх вентиляторів і дозволяє досягти щільності стійки, яка раніше була немислимою. Такий підхід сприяє ефективності центру обробки даних, усуваючи витрати енергії на транспортування повітря в товстих шасі.

Важлива роль гібридних рішень для охолодження серверів

2026 рік показав, що майбутнє за гібридними системами. Поширеною помилковою думкою є те, що використання прямого рідинного охолодження означає необхідність відмови від традиційних методів охолодження. Фактично, навіть найдосконаліші сервери з рідинним охолодженням все ще містять кілька деталей, які виробляють гаряче повітря, але не покриті холодною пластиною.

Кілька модулів пам'яті (DRAM), накопичувачів (SSD-накопичувачі NVMe) та модулів регуляторів напруги (VRM) також все ще залежать від належного управління потоком повітря. Одним з варіантів є «гібридна» конструкція, яка використовує рідину для охолодження процесорів з високим TDP, але вторинний

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

контур повітряного охолодження для охолодження решітки корпусу. Це гарантує відсутність утворення гарячих точок у досить застійних повітряних кишнях навколо ядер з рідинним охолодженням.

Крім того, гібридні рішення для центрів обробки даних можна модернізувати в існуючу серверну кімнату без необхідності повної заміни обладнання центру обробки даних операційною системою, оскільки гібридні центри обробки даних можна розширити для забезпечення більшого охолодження без необхідності заміни всього обладнання центру обробки даних.

Чому прецизійні вентилятори залишаються серцем рішень для охолодження серверів

Простий вентилятор охолодження у світі, де рідинне охолодження є звичним явищем, зазнав високотехнологічної метаморфози. До 2026 року вентилятор стане не просто периферійним пристроєм, а ідеальним інструментом терморегуляції, який керує «останньою милею» тепла. Хоча рідинні охолоджувальні пластини контролюють основні процесори, вони зазвичай не поглинають все теплове навантаження сервера, яке може сягати 20-30%.

Значення прецизійних вентиляторів можна найефективніше пояснити, враховуючи їхнє стратегічне розташування та характер критично важливих частин, які вони захищають:

- Фронтальне введення повітря на твердотільних накопичувачах NVMe: твердотільні накопичувачі Gen6 та Gen7 відомі своїм тепловим дроселюванням. Вентилятори високого тиску розміщені на передній панелі, і холодне повітря має пропускатися через щільні масиви дисків. Масиви зберігання даних можуть знизити швидкість читання/запису на 50 відсотків протягом кількох хвилин, якщо немає регулювання потоку повітря через ці відсіки.

- «Машинне відділення пам'яті та VRM» у середній частині корпусу: Модулі високошвидкісної пам'яті (HBM3e/4) та регуляторів напруги (VRM) навколо процесора зазвичай розташовані за величезними рідинними колекторами, що захищають повітря від повітря. У середині корпусу має бути

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

спеціальна вентиляторна стінка, щоб проштовхувати повітря через ці високоомні та вузькі зазори, до яких рідинний контур не може дістатися.

– Вбудоване охолодження блоків живлення (БЖ): щільність потужності зростає експоненціально, а БЖ, які перетворюють високовольтний постійний струм для живлення кластерів штучного інтелекту, виробляють високу локальну температуру. Вони мають складну внутрішню електричну структуру, тому їх не можна легко охолодити рідиною. Для запобігання катастрофічному плавленню компонентів у корпусі БЖ необхідні високошвидкісні вентилятори з вбудованим джерелом охолодження.

– Задня витяжка та «тепловідведення»: ці вентилятори стратегічно розміщені в задній частині серверних стійок і забезпечують ефективне видалення гарячого повітря з системи та його переміщення у витяжний плenum, щоб воно не потрапляло знову в холодний прохід.

Найбільшим викликом у 2026 році є системний імпеданс. Опір руху повітря у внутрішній стійці зростає експоненціально, оскільки контейнери додають все більше товстих кабелів і величезних радіаторів. Звичайний вентилятор просто вимикається за таких обставин. Це вимагатиме впровадження вентиляторів високого статичного тиску, здатних проштовхувати повітря через заблоковані шляхи без шкоди для енергоефективності.

Опис і архітектура системи

Програмне забезпечення, що розробляється в даній роботі має назву програмна реалізація системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

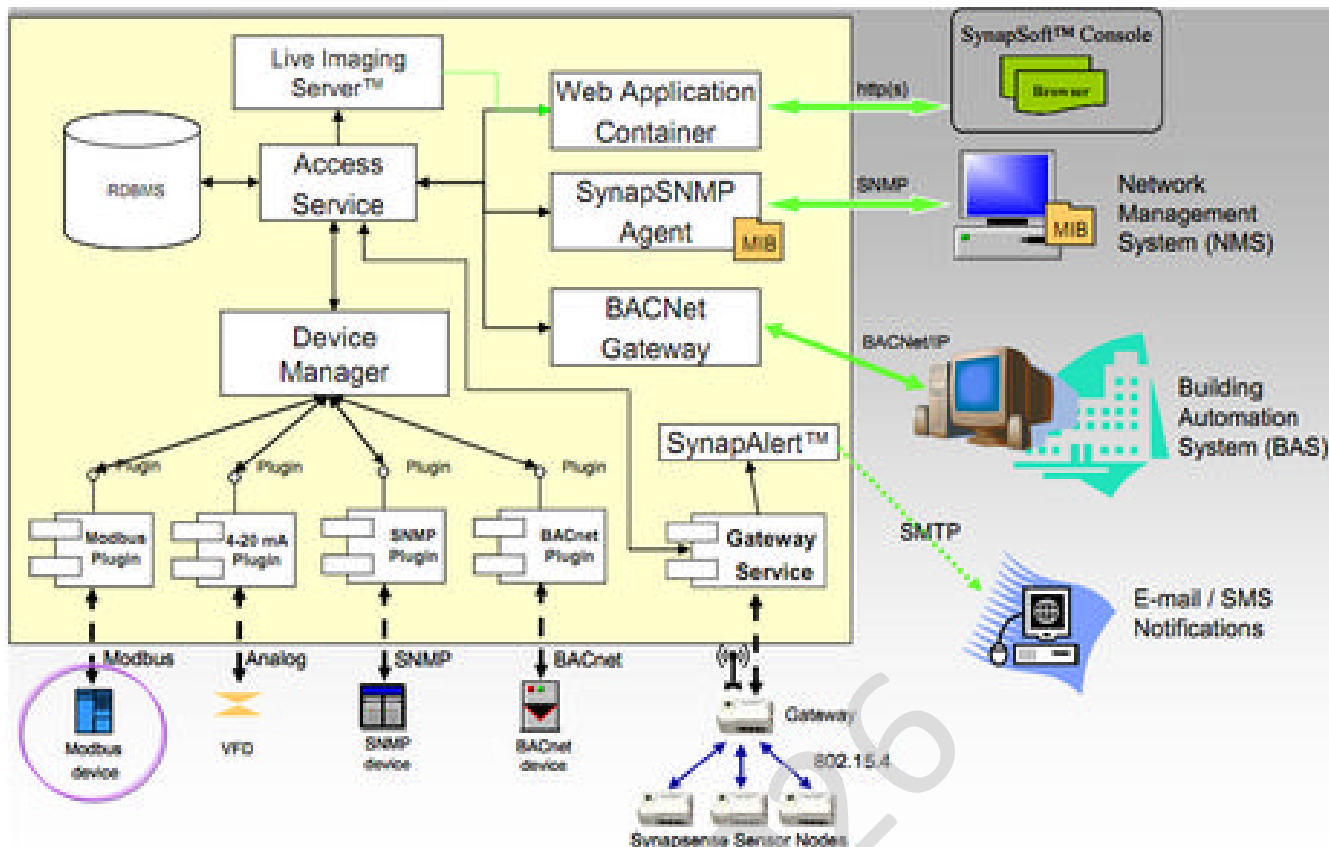


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи

Програмна архітектура системи для енергоефективного керування мікрокліматом у шафах ЦОД базується на центральному ядрі (керуючі сервіси, БД, менеджер пристроїв) та модульній системі плагінів. Останні забезпечують інтеграцію з мережами живлення та підтримку промислових протоколів (Modbus, BACNet, SNMP) для контролю вентиляції й кондиціонування. Дані про стан середовища надходять через бездротову сенсорну мережу. Користувач взаємодіє із системою через веб-інтерфейс, отримуючи критичні сповіщення через Email або SMS, тоді як SNMP слугує універсальним інструментом для діагностики та моніторингу.

3.3 Розробка функціональної схеми

Системи забезпечення параметрів мікроклімату в ЦОД

Сучасні центри обробки даних (ЦОД) дозволяють працювати з величезним потоком інформації, організовувати централізоване зберігання даних, підвищувати надійність всієї інформаційної інфраструктури й забезпечувати зв'язок між ЦОД і користувачами.

Неправильна організація центрів обробки даних і економія на системах життєзабезпечення – системах вентиляції, кондиціонування, пожежогасіння, контролю доступу й відеоспостереження – може стати причиною негативних наслідків. При виході з ладу центр обробки даних може заблокувати доступ до інформації, а в найгіршому разі відбудеться її безповоротна втрата.

Система енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД попереджає про виникнення аварійних ситуацій

Система енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД повинна забезпечувати в серверному приміщенні заданий рівень вологості й температури, необхідний для нормального функціонування активного устаткування незалежно від пори року, і повинна бути розрахована на цілодобову безперервну роботу. Для забезпечення надійності вищевказаної системи й для попередження виникнення аварійних ситуацій використовується система енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.

Система енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД виконує наступні функції:

- контроль температури й вологості в серверному приміщенні;
- архівує значення параметрів мікроклімату;
- подає сигнал аварії при перевищенні встановлених значень параметрів мікроклімату в приміщенні;

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

- повідомляє користувачів про виникнення аварійних ситуацій через Інтернет і мережу мобільного зв'язку;
- безпосереднє керування температурою й режимом роботи;
- функція для енергоефективного керування;
- індикація стану якості повітря;
- блокування екрана для захисту від несанкціонованого доступу;
- ручне перемикання режимів «ЦОД», «Поза ЦОД» і «Вимк» на екрані;
- керування температурою в приміщенні ЦОД за допомогою убудованого датчика або за допомогою зовнішнього датчика;
- функція усереднення температури при застосуванні зовнішнього датчика (опціонально);
- алгоритм, що самонавчається, ПІД-регулятора, що гарантує оптимальне керування температурою в будь-якому приміщенні ЦОД;
- функція яка зрушує час включення для досягнення необхідної температури до заданого часу;
- контроль вологості за допомогою убудованого або за допомогою зовнішнього датчика вологості;
- перемикання режимів роботи з убудованих датчиків присутності й наближення;
- функція захисту від закисання приводу клапана й насоса за допомогою їхнього періодичного запуску.

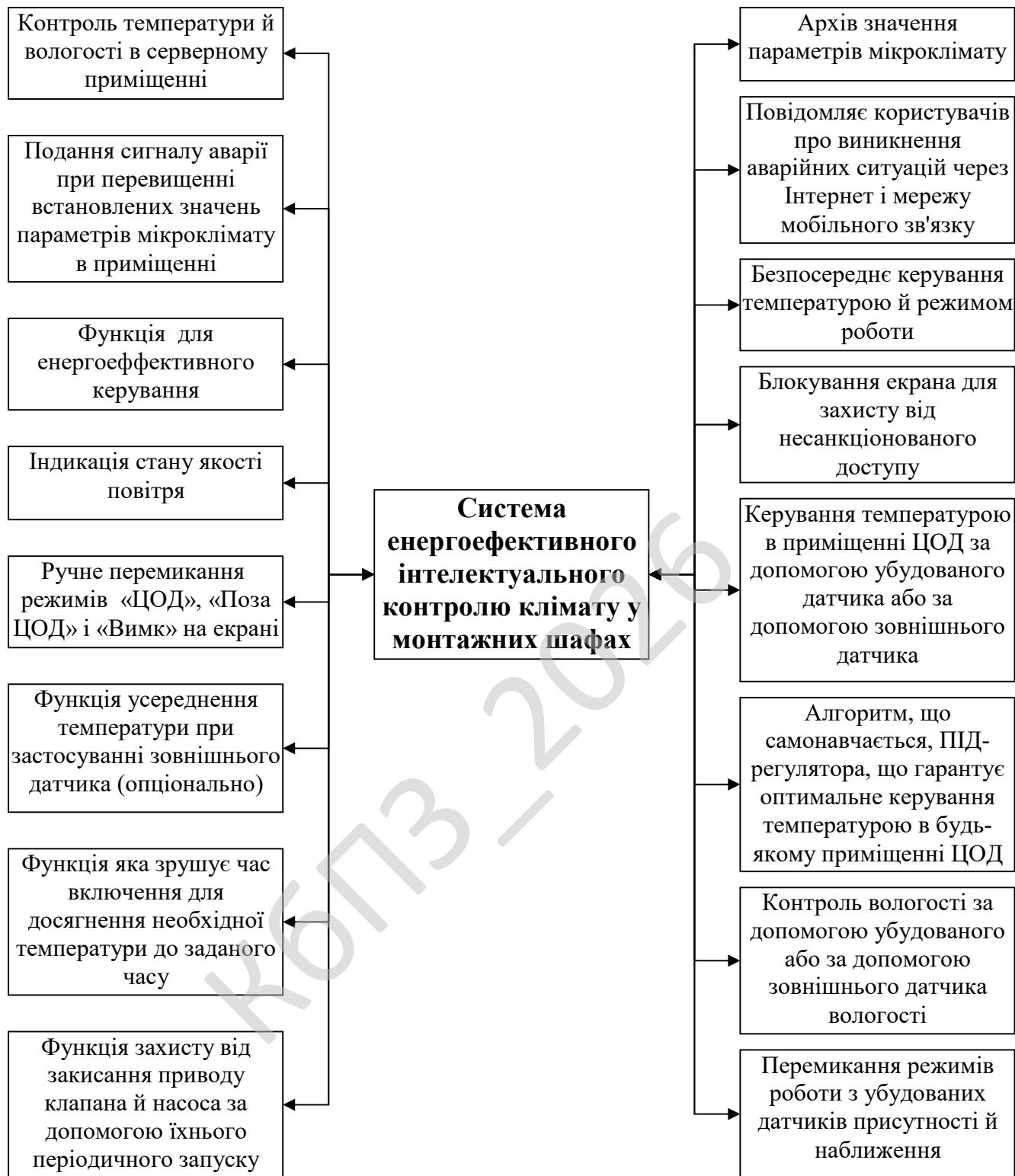


Рисунок 3.2 – Функціональна схема системи

Параметри мікроклімату (температуру, вологість, рухливість повітря) у ЦОД необхідно контролювати й регулювати з кількох причин.

1. Забезпечення можливості роботи інформаційно-обчислювальної техніки (далі – ІОТ) у ЦОД. Величезне тепловиділення в ЦОДах обумовлено тим, що в даних приміщеннях розташовується велика кількість ІОТ на одиницю площі. У свою чергу виділення тепла ІОТ відбувається відповідно до принципу Ландауера, відповідно до якого підведена до ЕОМ електрична потужність перетворюється в теплоту при розрядці конденсаторів, розташованих на друкованих платах. Ця розрядка відбувається через видалення біт інформації в процесі обчислень.

Якщо із ЦОД не видаляти надлишки теплоти, то температура в ньому за лічені хвилини підніметься до таких значень, при яких ні ІОТ, ні персонал не зможуть працювати. Більшість серверів і активного мережного устаткування відключаються, коли температура вхідні в них повітря досягає 60^оС. Розрахунок швидкості нагрівання повітря в ЦОД у випадку аварії в системі кондиціонування носить індивідуальний характер, але для приблизної оцінки можна сказати, що в ЦОД з 100-кіловатним енергоспоживанням ІОТ температура повітря зміниться із загальноприйнятих 22 ^оС (див. далі) до критичних 60 ^оС приблизно за 4-5 хвилин.

2. Підвищення ефективності роботи ІОТ у ЦОД. При експлуатації серверів у кліматичних умовах, що відрізняються від рекомендованих, змінюються такі параметри їхньої роботи як споживана потужність, продуктивність, рівень шуму, надійність, стійкість до корозії. Наприклад, при підвищенні температури в ЦОД з 22 до 35 ^оС, енергоспоживання серверів зростає в середньому на 20%, а підвищення рівня шуму в ЦОД становить орієнтовно 6,4 дБ.

Контроль параметрів мікроклімату в ЦОД найчастіше зводиться до підтримки певного температурно-вологісного стану повітря, що подається до ІТ-устаткування.

Вимоги до мікроклімату: стандарти

Так на які необхідні параметри повітря опиратися при проектуванні й експлуатації ЦОД? Згідно (СН 512 – 78. Інструкція із проектування будинків і приміщень для електронно-обчислювальних машин.), у приміщеннях для ЕОМ повинні бути забезпечені наступні кліматичні умови.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Таблиця 3.1 – Кліматичні умови СН 512 – 78

Період року	Оптимальні		Припустимі			
	темпе- ратура повітря, ° С	відносна вологість повітря, %	швидкість руху повітря, м/с	темпе- ратура повітря, ° С	відносна вологість повітря, %	швидкість руху повітря, м/с
Холодний і перехідний періоди року (темпе- ратура повітря нижче +10°С)	21± 2	52 ± 7	Не більше 0,2	18-25	Не більше 75	Не більше 0,3
Теплий період року (темпе- ратура зовнішньо го повітря вище +10° С)	22 ± 2	52 ± 7	Не більше 0,3	Протягом трьох годин не більше ніж на 3° С вище середні темпе- ратури зовнішньо го повітря в 13 год самого жаркого місяця, але не вище 28 °С	При 28° С не більше 50%; при 27° С не більше 55%; при 26° С не більше 60%; при 25° С не більше 65%; при 24° С й нижче не більше 70%	Не більше 0,5

Стандарт, цей, втім, описує досить екзотичне на сьогоднішній день устаткування, яке варто розуміти під ЕОМ, таке як ЕОМ і ВК ЄС за ДСТ 16325-88 або обчислювальні "Ельбрус".

У сучасні ЦОД установлюють зовсім інше устаткування, отже, документ СН 512-78 формально не можна використовувати як джерело нормативів, а іншого документа, що регламентує кліматичні параметри в приміщеннях з ІОТ, в Україні немає. А що ж є?

А є такі стандарти:

- TIA – 942. Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers.
- The Uptime Institute. 2000. Heat Density Trends in Data Processing Computer Systems and Telecommunications Equipment.
- ASHRAE TC 9.9.2011. Thermal Guidelines for Data Processing Environments – Expanded Data Center Classes and Usage Guidance.

Формально вони не діють на території України, і опиратися на них, наприклад, при проходженні експертизи проектної документації, не можна. Як вийти з положення? Згідно СН 512-78 якщо в даному проекті застосовується інше устаткування, під цей проект потрібно становити спеціальні технічні умови (СТУ). Даний документ цілком можна розробляти, опираючись на західні стандарти.

ASHRAE TC 9.9

Зробимо деякий аналіз стандарту ASHRAE TC 9.9.2011. Цей документ, що поєднує й осмислює рекомендації провідних виробників обчислювального устаткування, перетерпів три видання – в 2004, 2008, і 2011 роках. У двох останніх версіях фігурує рекомендований (оптимальний) температурний діапазон, що одержав неофіційне твердження основних виробників комерційного ІТ-устаткування. У версії 2011 року все обчислювальне устаткування, потенційно встановлюване в ЦОД, розділено на 4 класи.

Таблиця 3.1 – Кліматичні умови ASHRAE TC 9.9.2011

Діапазон	Клас	Тип ІТ – устаткування	Темпе- ратура по сухому термометрі , °C	Діапазон вологості, %	Діапазон темпе- ратур точки роси, °C	Максима- льна точка роси, °C
Рекомен- дуємий	Всі	Всі	18–27	Не вище 60	5,5–15	15
Припус- тимий	A1	Сервери масштабу великого підприєм- ства, системи зберігання даних	15–32	20–80	-	24
	A2	Сервери,	10–35	20–80	-	24
	A3	системи зберігання даних,	5–40	8–85	Не нижче – 12	28
	A4	персональні комп'ютери, робочі станції	5–45	8–90	Не нижче – 12	28

Як видно з таблиці 3.2, залежно від того, до якого класу ставиться те або інше устаткування, відрізняється припустимий температурно-вологісний режим експлуатації. На i-d діаграмі нижче зображені діапазони стану повітря, що відповідають класам A1-A4, а діапазон, що рекомендується також.

По суті, ASHRAE пропонує наступний алгоритм вибору нормованого діапазону кліматичних параметрів:

1. Класифікація наявного на проекті устаткування залежно від його функцій.
2. Вибір найбільш ефективного температурно-вологісного режиму з можливого діапазону залежно від необхідного рівня надійності й виду підприємства, для якого організується ЦОД.

Ці прості на перший погляд два кроки на ділі виявляються дуже трудозатратними й вимагають серйозної кваліфікації й досвіду. При виробітку рішення потрібно враховувати наступне:

1. Рекомендований (оптимальний) діапазон визначає граничні значення, при яких ІТ – устаткування буде працювати найбільше надійно й у той же час забезпечувати розумний рівень енергоефективності ЦОД.

2. Будь-яке устаткування може працювати й за межами рекомендованого діапазону протягом коротких проміжків часу без шкоди надійності функціонування ІТ – устаткування. Дане допущення може істотно знизити PUE (Power usage effectiveness – коефіцієнт ефективності використання енергії в ЦОД) через можливу відмову від енергозатратного кондиціонування повітря з використанням циклу прямого розширення холодоагенту, і знизити капітальні витрати, тому що дані системи кондиціонування найчастіше будуються як резервні, для роботи протягом усього лише 100 годин у рік під час пікових значень температури зовнішнього повітря.

3. При всій привабливості діапазонів A1-A4 варто враховувати можливий збиток від тривалої експлуатації устаткування в більш жорстоких у порівнянні з рекомендованим температурних діапазонах, а також взяти до уваги фактори, перераховані нижче, які можуть істотно знизити або зовсім нівелювати користь від розширення кліматичного діапазону експлуатації.

– Електроживлення сервера залежно від температури навколишнього середовища (росте при підвищенні температури).

- Рівні шуму в ЦОД залежно від температури навколишнього середовища (росте при підвищенні температури);
- Надійність сервера залежно від температури навколишнього середовища;
- Надійність сервера залежно від вологості, забруднення й інших кліматичних характеристик;
- Продуктивність сервера залежно від температури навколишнього середовища (знижується при підвищенні температури експлуатації);

4. Робоча зона для ЦОД – умовна точка входу повітря в ІТ-устаткування. Вимір і контроль температури в будь-якому іншому місці опціональні.

5. Навіть оптимальний, рекомендований ASHRAE температурний діапазон (18-27 °С) значно ширше й надає більше волі інженерові й виробникові устаткування, ніж зазначений у СН 512 діапазон $21-22 \pm 1^\circ\text{C}$.

Практичний підхід і тенденції

У цей час в області стандартів, що визначають проектування, будівництво, і експлуатацію ЦОД, спостерігається тенденція до розширення припустимих і рекомендованих діапазонів параметрів мікроклімату. Даний плин спрямований у першу чергу на зниження енергоспоживання ЦОД шляхом використання технології «вільного охолодження» (фрікулінгу) технологічного устаткування за допомогою охолодного потенціалу зовнішнього повітря якнайбільше часу (по можливості – завжди) протягом року.

Необхідно помітити що дана тенденція простежується лише в західних стандартах і «best practices» будівництва ЦОД. Рядові замовники й типові серверні кімнати в Україні усе ще проектуються й експлуатуються, опираючись на застарілий СН 512-78. Сподіваємося, що в найближчому майбутньому замовники й фахівці в області будівництва ЦОД будуть приділяти більше увагу вибору припустимого діапазону кліматичних параметрів для проектування й експлуатації, а вітчизняна нормативно-технічна документація буде актуалізована відповідно до останніх рекомендацій ASHRAE.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

3.4 Розробка діаграми процесів

Розглянемо розроблену діаграму процесів яка зображена на рисунку 3.13. Основна будова діаграми процесів полягає у графічному представленні складу сукупностей даних, що характеризуються як співвідношення різних частин кожної з сукупностей.



Рисунок 3.3 – Діаграма взаємодії процесів

Склад статистичної сукупності графічно може бути представлений як за допомогою абсолютних, так і відносних показників. Графічне зображення складу сукупності по абсолютними і відносними показниками сприяє проведенню більш глибокого аналізу і дозволяє проводити аналіз системи.

Діаграма взаємодії процесів використовується для візуалізації процесів обробки даних (структурне проектування).

Для розробника вважається звичним спочатку креслити діаграму взаємодії процесів даних рівня контексту, завдяки чому буде показано взаємодію системи.

Ця діаграма в подальшому підлягає уточненню шляхом деталізації процесів та потоків даних з метою показати систему що розробляється.

При детальному її розгляді можна побачити як саме проходить взаємодія у розробленій системі. Використовується модель проектування, графічне представлення «потоків» даних в інформаційній системі.

Діаграми потоків даних містять чотири типи елементів:

- Зовнішні по відношенню до системи сутності.
- Потоки даних між елементами трьох попередніх типів.
- Процеси які являють собою трансформацію даних в рамках описуваної системи.
- Сховища даних (репозиторії).

Таким чином, розглянувши опис системи, структурну, функціональну схеми системи, та діаграму взаємодії процесів перейдемо до опису блок-схем основної програми, та підпрограм, які використовуються, для реалізації системи.

КБПЗ-2026

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

4 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

4.1 Блок-схеми та опис алгоритмів функціонування системи

Були проведені розрахунки і підібрані набори тестових даних для перевірки правильності реалізації проектних рішень.

Блок-схеми показують весь процес роботи системи з підсистемами та частково доказують правильність вибраних проектних рішень. Тому від точності і детальної блок-схеми залежить результат всієї програми.

При виборі початкової точки відліку при побудові схем було враховано, що виходячи з вибору мови програмування і інших технічних засобів, програма буде об'єктно-орієнтована що вимагає високого рівня декомпозиції задач на класи.

На рисунку 4.1 зображена основна блок-схема програми, на рисунку 4.2 зображено роботу підпрограми.

З яких видно що робота основної програми складається з початкових етапів ініціалізації ПЗ, перевірки наявності ресурсів системи, блоку початку основного циклу з чеканням запиту від користувача в якому відбувається виклик підсистеми та останньої стадії – перевірка поточного стану з завершенням роботи розробленого ПЗ. При роботі підпрограми виконується основний функціонал системи з циклічними послідовностями, перевіркою поточного стану та поверненням в основну програму прапорів стану виконання.

При розробці ПЗ було використано V-Model (або VEE модель) є моделлю розробки інформаційних систем (ІС), спрямованої на спрощення розуміння складнощів, пов'язаних з розробкою систем.

Вона використовується для визначення єдиної процедури розробки програмного забезпечення, апаратного забезпечення та людино-машинного інтерфейсу.

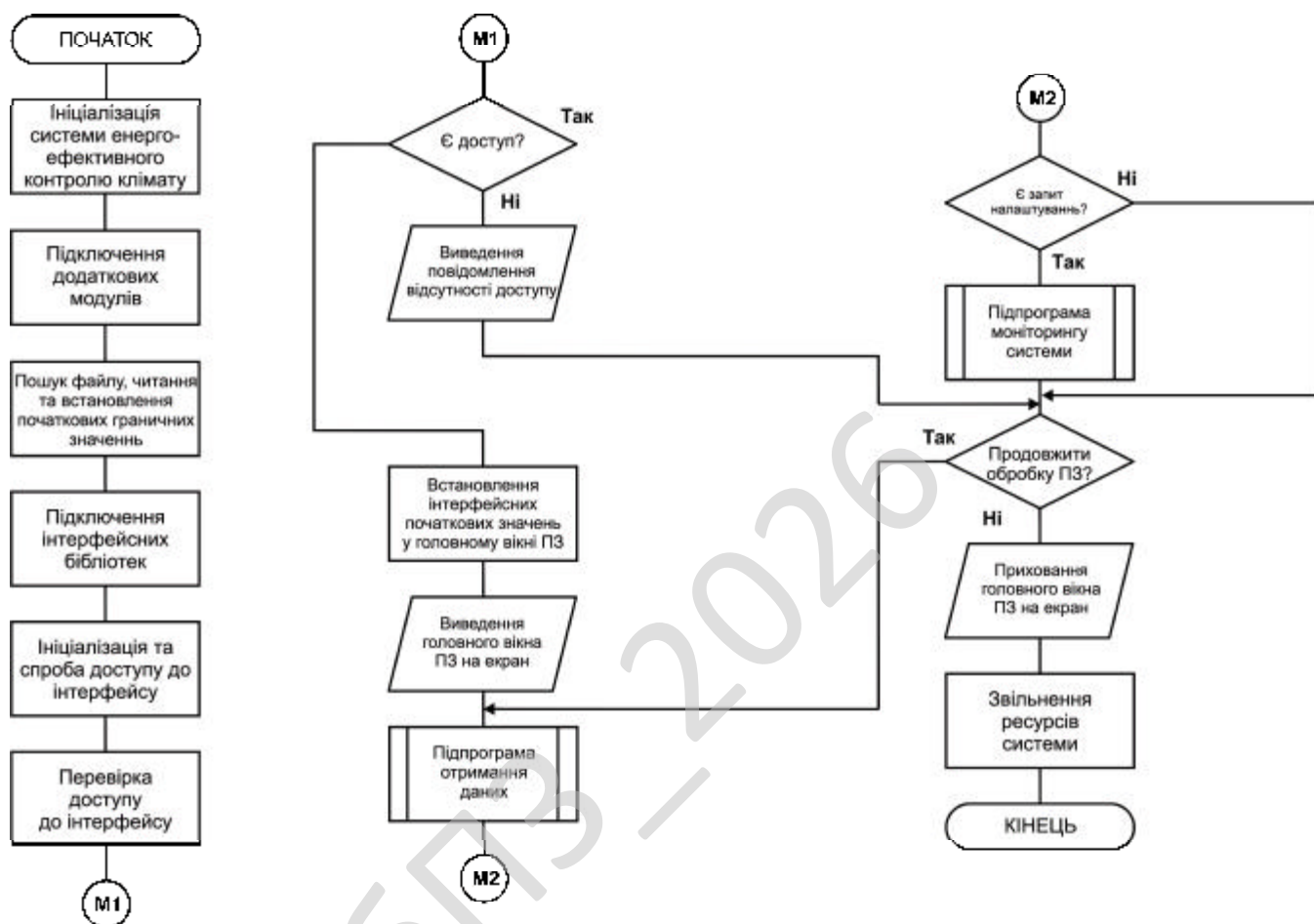


Рисунок 4.1 – Блок-схема основної програми

Концепція V-подібної моделі була розроблена Німеччиною та США в кінці 1980-х років незалежно один від одного:

– Німецька V-модель була розроблена аерокосмічної компанією IABG в Оттобрунні поряд з Мюнхеном у співпраці з Федеральним департаментом з закупівлі озброєнь в Кобленці, для Міністерства оборони Німеччини. Модель була прийнята німецькою федеральною адміністрацією для цивільних потреб влітку 1992.

– Американська V-Model (VEE) була розроблена національною радою з системної інженерії (міжнародна – з 1995 року) для супутникових систем, включаючи обладнання, програмне забезпечення та взаємодію з користувачами.

Сучасною версією V-Model є V-Model XT, яка була затверджена в лютому 2005 року. V-модель використовується для управління процесом розробки програмного забезпечення для німецької федеральної адміністрації.

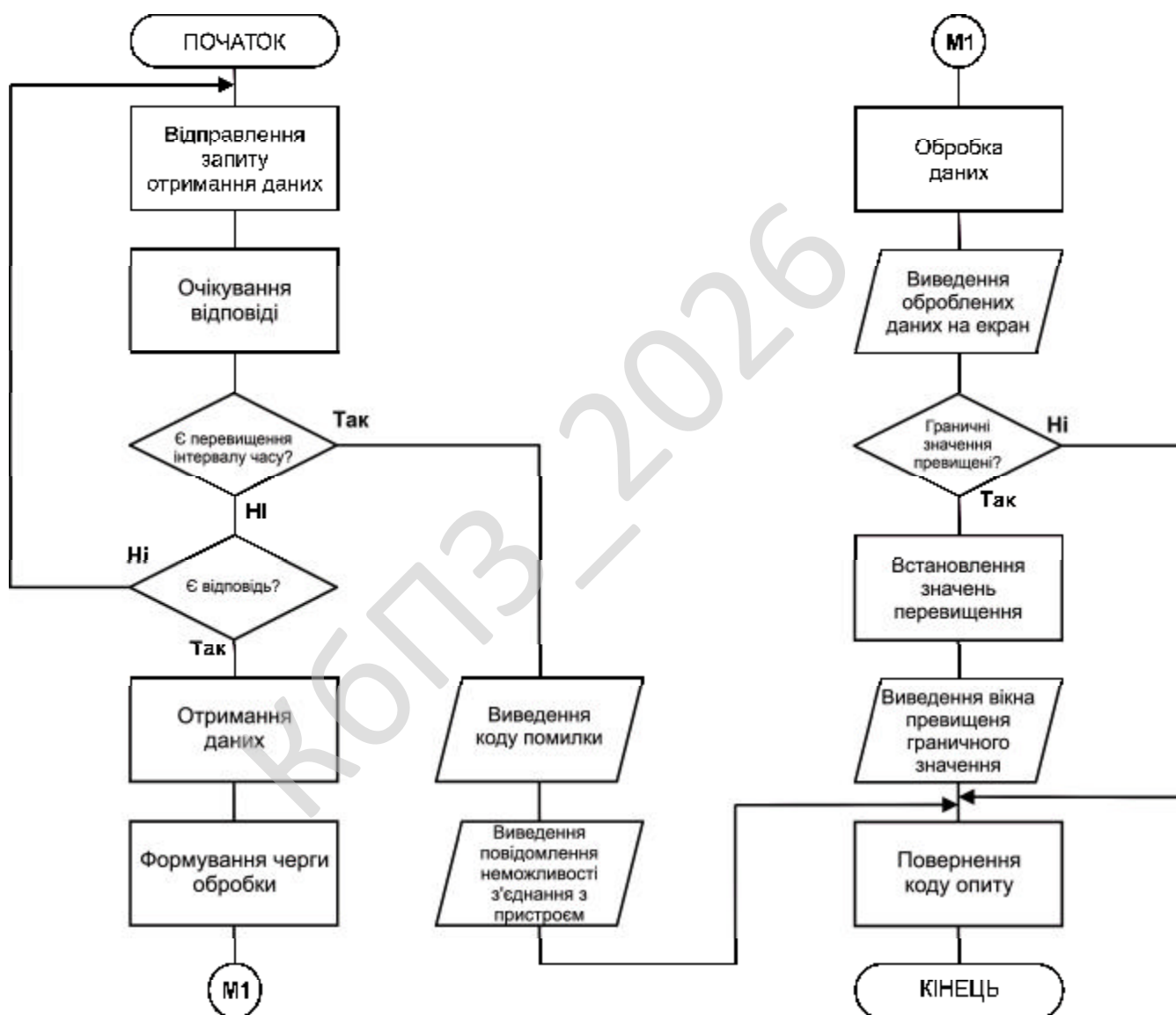


Рисунок 4.2 – Блок-схема роботи підпрограми

Зараз вона є стандартом для німецьких урядових і оборонних проектів, а також для виробників ПЗ в Німеччині. V-Model являє собою скоріше набір стандартів у галузі проектів, що стосуються розробки нових продуктів. Ця модель багато в чому схожа з Prince2 і описує методи як для проектного управління, так і для системного розвитку.

Основні принципи

Основний принцип V-подібної моделі полягає в тому, що деталізація проекту зростає при русі зліва направо, одночасно з плином часу, і ні те, ні інше не може повернути назад. Ітерації в проекті виробляються по горизонталі, між лівою і правою сторонами літери.

Стосовно до розробки інформаційних систем V-Model – варіація каскадної моделі, в якій завдання розробки йдуть зверху вниз по лівій стороні букви V, а завдання тестування – вгору по правій стороні букви V. Усередині V проводяться горизонтальні лінії, що показують, як результати кожної з фаз розробки впливають на розвиток системи тестування на кожній із фаз тестування.

Модель базується на тому, що прийнятно-здавальні випробування ґрунтуються, насамперед, на вимогах, системне тестування – на вимогах та архітектури, комплексне тестування – на вимогах, архітектурі та інтерфейсах, а компонентне тестування – на вимогах, архітектурі, інтерфейсах та алгоритмах.

Цілі

V-модель забезпечує підтримку у плануванні та реалізації проекту. В ході проекту ставляться такі завдання:

1. Мінімізація ризиків: V-подібна модель робить проект більш прозорим і підвищує якість контролю проекту шляхом стандартизації проміжних цілей і опису відповідних їм результатів та відповідальних осіб. Це дозволяє виявляти відхилення в проекті і ризики на ранніх стадіях і покращує якість управління проектом.

2. Підвищення та гарантії якості: V-Model – стандартизована модель розробки, що дозволяє домогтися від проекту результатів бажаної якості.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Проміжні результати можуть бути перевірені на ранніх стадіях. Універсальне документування полегшує читаність, зрозумілість та контрольованість.

3. Зменшення загальної вартості проекту: Ресурси на розробку, виробництво, управління і підтримку можуть бути заздалегідь прораховані та проконтрольовані. Отримувані результати також універсальні і легко прогнозуються. Це зменшує витрати на подальші стадії та проекти.

4. Підвищення якості комунікації між учасниками проекту: Універсальний опис усіх елементів та умов полегшує взаєморозуміння всіх учасників проекту. Таким чином, зменшуються неточності у розумінні між користувачем, покупцем, постачальником і розробником.

Переваги:

- Користувачі V-Model беруть участь у розробці та підтримці V-моделі. Комітет з контролю за змінами підтримує проект і збирається раз на рік для обробки всіх отриманих запитів на внесення змін до V-Model.

- На старті будь-якого проекту V-подібна модель може бути адаптована під цей проект, так як ця модель не залежить від типів організацій та проектів.

- V-model дозволяє розбити діяльність на окремі кроки, кожен з яких буде включати в себе необхідні для нього дії, інструкції до них, рекомендації та докладне пояснення діяльності.

Обмеження. Наступні моменти не враховуються в V-моделі, але можуть бути розглянуті окремо, або можливо адаптувати модель під них:

- Не регулюється розміщення контрактів на обслуговування.

- Організація і виконання управління, обслуговування, ремонту та утилізації системи не враховуються в V-моделі. Однак, планування і підготовка до цих операцій моделлю розглядаються.

- V-подібна модель більше стосується розробки програмного забезпечення в проекті, ніж всієї організації процесу.

Переваги:

– У моделі особливе значення надається плануванню, спрямованому на верифікацію та атестацію розроблювального продукту на ранніх стадіях його розробки. Фаза модульного тестування підтверджує правильність деталізованого проектування. Фази інтеграції та тестування реалізують архітектурне проектування або проектування на вищому рівні. Фаза тестування системи підтверджує правильність виконання етапу вимог до продукту і його специфікації.

– У моделі передбачені атестація та верифікація всіх зовнішніх і внутрішніх отриманих даних, а не тільки самого програмного продукту.

– У V-подібної моделі визначення вимог виконується перед розробкою проекту системи, а проектування ПО – перед розробкою компонентів.

– Модель визначає продукти, які повинні бути отримані в результаті процесу розробки, причому кожні отримані дані повинні піддаватися тестуванню.

– Завдяки моделі менеджери проекту можуть відслідковувати хід процесу розробки, так як в даному випадку цілком можливо скористатися тимчасовою шкалою, а завершення кожної фази є контрольною точкою.

Недоліки:

– Модель не передбачає роботу з паралельними подіями.

– У моделі не передбачено внесення вимоги динамічних змін на різних етапах життєвого циклу.

– Тестування вимог в життєвому циклі відбувається занадто пізно, внаслідок чого неможливо внести змін, не вплинувши при цьому на графік виконання проекту.

– У модель не входять дії, спрямовані на аналіз ризиків.

– Деякий результат можна отримати тільки при досягненні низу букви V.

Було використано **MongoDB** – документо-орієнтована система керування базами даних (СКБД) з відкритим вихідним кодом, яка не потребує опису схеми таблиць.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

MongoDB займає нішу між швидкими і масштабованими системами, що оперують даними у форматі ключ/значення, і реляційними СКБД, функціональними і зручними у формуванні запитів.

Код MongoDB написаний на мові C++ і поширюється в рамках ліцензії AGPLv3.

MongoDB підтримує зберігання документів в JSON-подібному форматі, має досить гнучку мову для формування запитів, може створювати індекси для різних збережених атрибутів, ефективно забезпечує зберігання великих бінарних об'єктів, підтримує журналювання операцій зі зміни і додавання даних в БД, може працювати відповідно до парадигми Map/Reduce, підтримує реплікацію і побудову відмовостійких конфігурацій.

У MongoDB є вбудовані засоби із забезпечення шардінгу (розподіл набору даних по серверах на основі певного ключа), комбінуючи який з реплікацією даних можна побудувати горизонтально масштабований кластер зберігання, в якому відсутня єдина точка відмови (збій будь-якого вузла не позначається на роботі БД), підтримується автоматичне відновлення після збою і перенесення навантаження з вузла, який вийшов з ладу.

Розширення кластера або перетворення одного сервера на кластер проводиться без зупинки роботи БД простим додаванням нових машин.

При розробці автори виходили з необхідності спеціалізації баз даних, завдяки чому їм вдалося відійти від принципу «один розмір під усе». За рахунок мінімізації семантики для роботи з транзакціями з'являється можливість вирішення цілого ряду проблем, пов'язаних з нестачею продуктивності, причому горизонтальне масштабування стає простішим. Використовувана модель документів зберігання даних (JSON/BSON) простіше кодується, простіше управляється (у тому числі за рахунок застосування так званого безсхемного стилю (schemaless style), а внутрішнє угруповання релевантних даних забезпечує додатковий виграш в швидкодії.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Нереляційний підхід досить зручний для створення баз даних, у яких горизонтальне масштабування означає розгортання на множині машин. Можливість забезпечувати найкращу продуктивність повинна існувати паралельно з підтримкою більшої функціональності, ніж це дозволяє використання пар «ключ-значення» (у чистому вигляді).

Технологія баз даних має працювати скрізь, починаючи з серверів користувача та віртуальних машин і закінчуючи хмарними технологіями.

MongoDB, на думку розробників, має заповнити розрив між простими сховищами даних типу «ключ-значення» (швидкими і легко масштабованими) і великими СКБД (зі структурними схемами і потужними запитами).

Основні можливості MongoDB:

1. Документо-орієнтоване сховище (проста та потужна JSON-подібна схема даних).
2. Досить гнучка мова для формування запитів.
3. Динамічні запити.
4. Повна підтримка індексів.
5. Профілювання запитів.
7. Швидкі оновлення «на місці».
8. Ефективне зберігання бінарних даних великих обсягів, наприклад, фото та відео.
9. Журналювання операцій, що модифікують дані в БД.
10. Підтримка відмовостійкості і масштабованості: асинхронна реплікація, набір реплік і шардінг.
11. Може працювати відповідно до парадигми MapReduce.

СКБД управляє наборами JSON-подібних документів, що зберігаються в бінарному форматі BSON. Зберігання і пошук файлів в MongoDB відбувається завдяки викликам протоколу GridFS.

Подібно до інших документо-орієнтованих СКБД (CouchDB тощо), MongoDB не є реляційною СКБД.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Є докладна і якісна документація, велике число прикладів і драйверів для популярних мов Java, C++, C#, PHP, Python, Perl, Ruby.

При випуску одразу було заявлено, що реліз MongoDB 1.0 готовий до використання у виробництві як одиничний хост, так і у зв'язках master/slave.

Код цього релізу досить стабільний і перевірений в промисловій експлуатації протягом 1,5 років. MongoDB рекомендується розгортати мінімум на двох серверах використовуючи реплікацію Master/Slave.

Це забезпечує наявність актуальних даних при виході з ладу однієї з СКБД. MongoDB – продукт досить молодий, і відтак у ньому зустрічаються помилки, з'являються нові можливості тощо. Характерний високий темп розробки (проект пишуть не тільки волонтери, а й компанія людей на повній зайнятості). Компанія-розробник надає платні підтримку, хостинг, консультації.

Jira – була використана комерційна система відслідковування помилок, призначена для організації взаємодії з користувачами, хоча в деяких випадках використовується і для управління проектами. Розроблено компанією Atlassian, є одним з двох її основних продуктів (поряд з вікі-системою Confluence). Має веб-інтерфейс.

Назва системи отримано шляхом усічення слова «Gojira» – Японського імені монстра Годзилла, що, в свою чергу, є відсиланням до назви конкуруючого продукту – Bugzilla; створювалася в якості заміни Bugzilla і багато в чому повторює її архітектуру. Система дозволяє працювати з декількома проектами. Для кожного з проектів створює і веде схеми безпеки і схеми оповіщення.

До версії 3.13.5 (включно) розрізнялися редакції Enterprise, Professional і Standard, після – Залишилася тільки редакція Enterprise (для великих організацій).

Система заснована на Java EE і працює на кількох популярних системах управління базами даних і операційних системах.

Основний елемент обліку в системі – завдання (ticket або issue). Завдання містить назву проекту, тему, тип, пріоритет, компоненти і зміст. Завдання може бути розширена додатковими полями (також і нові призначені для користувача

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

поля можуть бути визначені), додатками (наприклад – Фотографіями, скріншотами) або коментарями.

Завдання може редагуватися або просто змінювати статус, наприклад, з «відкритий» в «закритий». Які переходи між станами можливі, визначається через настраюється потік операцій. Будь-які зміни в задачі записуються в журнал.

Jira має велику кількість можливостей конфігурації: для кожної програми може бути визначений окремий тип завдання з власним workflow, набором статусів, одним або декількома видами уявлення (screens). Крім того, за допомогою так званих «схем» можна визначити для кожного індивідуального Jira-проекту власні права доступу, поведінку і видимість полів і багато іншого.

Завдяки універсальному підходу можна пристосувати Jira для багатьох непрофільних завдань, наприклад, керування вимогами, керування ризиками, аж до реалізації невеликої системи бронювання, автоматизації процесу рекрутингу.

Для інтеграції з зовнішніми системами підтримує інтерфейси SOAP, XML-RPC і REST. Поставляється із засобами інтеграції з такими системами управління версіями, як Subversion, CVS, Git, Clearcase, Team Foundation Server, Mercurial і Perforce.

Існують доповнення, що дозволяють вбудувати Jira в інтегровані середовища розробки, в тому числі Eclipse і IntelliJ IDEA. Перекладена багатьма мовами, включаючи російську, англійську, японську, німецьку, французьку, іспанську.

Для сторонніх розробників надаються кошти розробки розширень системи – плагінів. Розробники розширень можуть викладати плагіни для продажу на спеціальний розділ сайту Atlassian.

Є комерційним продуктом, який може бути ліцензований для роботи на локальному сервері або доступний в якості віддаленого додатки. Ціноутворення залежить від максимального числа користувачів, при цьому близько \$50 за користувача для локального і \$7 на місяць за користувача для віддаленого доступу є типовими цінами.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Для академічних і комерційних клієнтів доступний повний вихідний код під ліцензією розробника.

Для проектів з відкритим вихідним кодом Atlassian надає спеціальну безкоштовну ліцензію при дотриманні наступних правил:

- проект використовує ліцензії, схвалені Open Source Initiative;
- вихідний код проекту доступний для скачування;
- у проекту є публічно доступна веб-сайт;
- програмне забезпечення від Atlassian є на веб-сайті проекту.

Розглянемо визначення API. Це прикладний програмний інтерфейс (Application Programming Interface, API) – набір визначень підпрограм, протоколів взаємодії та засобів для створення програмного забезпечення.

Спрощено – це набір чітко визначених методів для взаємодії різних компонентів. API надає розробнику засоби для швидкої розробки програмного забезпечення. API може бути для веб-базованих систем, операційних систем, баз даних, апаратного забезпечення, програмних бібліотек.

Одним з найпоширеніших призначень API є надання набору широко використовуваних функцій, наприклад для малювання вікна чи іконок на екрані. API є абстрактним поняттям — програмне забезпечення, що пропонує деякий API, часто називають реалізацією (implementation) даного API. У багатьох випадках API є частиною набору розробки програмного забезпечення, водночас, набір розробки може включати як API, так і інші інструменти/апаратне забезпечення, отже ці два терміни не є взаємозамінювані.

Високорівневі API часто програють у гнучкості. Виконання деяких функцій нижчого рівня стає набагато складнішим, або навіть неможливим.

В об'єктно-орієнтованих мовах, прикладний програмний інтерфейс зазвичай включає в себе опис набору визначень класу, з набором форм поведінки, пов'язаних з цими класами. Це абстрактне поняття пов'язане з реальними функціями, які надані або надаватимуться, класами, які реалізуються в методах класу.

Прикладний програмний інтерфейс в даному випадку можна розглядати як сукупність всіх методів, які публічно доступні в класах (зазвичай званий інтерфейс класу). Це означає, що прикладний програмний інтерфейс вказує методи, за допомогою яких взаємодіє з об'єктами, отриманими з визначень класів і обробляє їх.

У більш загальному плані можна визначити Прикладний Програмний Інтерфейс як сукупність усіх видів об'єктів, які можна вивести з визначення класу, і пов'язаних з ними можливих варіантів поведінки.

Наприклад: клас, що представляє Stack, може просто виставити публічно два методи Push() (для додавання нового елемента в стек) і Pop() (для вилучення останнього пункту, ідеально розташований на вершині стека).

У цьому випадку Прикладний Програмний Інтерфейс може бути інтерпретованим як два методи pop() і push(), або, більш широко, використовується варіант, коли можна використовувати елемент типу Stack, який реалізує поведінку стека, надаючи йому можливість для додавання / видалення елементів з вершини. Друга інтерпретація видається більш доречною в дусі об'єктно-орієнтованого підходу.

Якість документації, пов'язаної з Прикладним Програмним Інтерфейсом, є часто ключовим фактором, що визначає його успішність з точки зору простоти використання.

ППІ, як правило, пов'язаний із бібліотеками програмного забезпечення: ППІ описує і вказує очікувану поведінку в той час, як бібліотека є фактичною реалізацією даного набору правил. Один ППІ може мати декілька реалізацій (або жодної, будучи абстрактним) у вигляді різних бібліотек, які мають такий же інтерфейс.

Прикладний програмний інтерфейс також може бути пов'язаним з платформами програмування: платформа може бути заснована на кількох бібліотеках реалізує декілька інтерфейсів ППІ, але на відміну від звичайного використання ППІ, доступ до поведінки вбудований в платформу

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

опосередкований шляхом розширення його змісту новими класами і вставлений в саму платформу. Крім того, загальний потік управління програми може бути під контролем абонента.

Прикладний програмний інтерфейс може бути також реалізацією протоколу.

Коли ППІ реалізує протокол, він може бути заснованим на проксі-методах віддалених викликів, що засновані на протоколі зв'язку. Роль ППІ може заключатися саме в тому, щоб приховати деталі транспортного протоколу. Наприклад: RMI є ППІ, який реалізує протокол або JRMP ІОР як RMI-ІОР.

Протоколи, як правило, розподіляються між різними технологіями і зазвичай дозволяють різним технологіям обмінюватися інформацією, діючи як абстракція між двома світами. ППІ, як правило, є специфічним для конкретної технології: звідси, інтерфейси даної мови не можуть бути використані на інших мовах, якщо виклики функції не будуть перетворені з конкретної адаптації бібліотеки.

Деякі мови, серед яких такі, що працюють на віртуальних машинах (наприклад: мови, сумісні з NET CLI середовища CLR і JVM сумісних мов у віртуальній машині Java) можуть ділитися програмними інтерфейсами.

У цьому випадку віртуальна машина дозволяє мові взаємодії завдяки спільному знаменнику віртуальної машини, що абстрагується від конкретної мови, використовувати проміжний байт-код і його мову.

При використанні прикладного програмного інтерфейсу в контексті веб-розробки, як правило, ППІ визначається набором повідомлень запиту HTTP, також визначається структура повідомлень-відповідей, зазвичай у розширенні мови розмітки XML або в форматі об'єктного запису JavaScript (JSON). У той час як прикладний програмний інтерфейс у Web історично був практично синонімом для веб-служби, останнім часом тенденція змінилась (так званий Web 2.0) на відхід від Simple Object Access Protocol (SOAP) на основі веб-сервісів і сервіс-

орієнтованої архітектури (SOA) на більш прямі передачі репрезентативного стану (REST) стилів веб-ресурсів та ресурсів-орієнтованої архітектури (ROA).

Частина цієї тенденції пов'язана з рухом Семантичного веб-ресурсу до Опису Платформ (RDF), Концепції розвитку веб-технологій інженерних онтологій. Прикладні програмні інтерфейси у Web, що дозволяють комбінувати декількома прикладними програмними інтерфейсами в нові додатки називають гібридними.

4.2 Захист розробленого програмного забезпечення

Дані в програмі захищаються за допомогою використання алгоритму Md5. Він отримує на вході повідомлення довільної довжини і створює на виході дайджест повідомлення довжиною 128 біт. Алгоритм складається з наступних кроків:

1. Додавання недостаючих біт. Повідомлення доповнюється так, щоб його довжина стала рівна 448 по модулю 512 (довжина $448 \bmod 512$). Це означає, що довжина доданого повідомлення на 64 біта менше, ніж число, кратне 512. Додавання проводиться завжди, навіть якщо повідомлення має потрібну довжину. Наприклад, якщо довжина повідомлення 448 біт, воно доповнюється 512 бітами до 960 біт. Таким чином, число біт, що додаються, знаходиться в діапазоні від 1 до 512.

Додавання складається з одиниці, за якою слідує необхідна кількість нулів.

2. Додавання довжини. 64-бітове представлення довжини початкового (до додавання) повідомлення в бітах приєднується до результату першого кроку. Якщо первинна довжина більша, ніж 264, то використовуються тільки останні 64 біта. Таким чином, поле містить довжину початкового повідомлення по модулю 264.

В результаті перших двох кроків створюється повідомлення, довжина якого кратна 512 бітам. Це розширене повідомлення представляється як

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

послідовність 512-бітових блоків $Y_0, Y_1, \dots, Y_{l-1}$, при цьому загальна довжина розширеного повідомлення рівна $L \cdot 512$ бітам. Таким чином, довжина отриманого розширеного повідомлення кратна шістнадцяти 32-бітовим словам.

3. Ініціалізація MD-буфера. У алгоритмі Md5 використовується 128-бітовий буфер для зберігання проміжних і остаточних результатів хеш-функції. Буфер може бути представлений як чотири 32-бітові регістри (A, B, C, D). Ці регістри ініціалізувалися наступними шістнадцятковими числами:

$$A = 01234567$$

$$B = 89abcdef$$

$$C = Fedcba98$$

$$D = 76543210$$

4. Обробка послідовності 512-бітових (16-словних) блоків. Основою алгоритму Md5 є модуль, що складається з чотирьох циклічних обробок, позначений як Hmd5. Чотири цикли мають схожу структуру, але кожен цикл використовує свою елементарну логічну функцію, ff , що позначається, fg , fh і fi відповідно.

Кожен цикл приймає на вхід поточний 512-бітовий блок Y_q , що обробляється в даний момент, і 128-бітове значення буфера ABCD, яке є проміжним значенням дайджесту, і змінює вміст цього буфера. Кожен цикл також використовує четверту частину 64-елементної таблиці $T[1 \dots 64]$, побудованої на основі функції $\sin$. i -ий елемент T , $T[i]$, що позначається, має значення, рівне цілій частині від $232 * \text{abs}(\sin(i))$, і задане в радіанах. Оскільки $\text{abs}(\sin(i))$ є числом між 0 і 1, кожен елемент T є цілим, яке може бути представлене 32 бітами. Таблиця забезпечує “випадковий” набір 32-бітових значень, які повинні ліквідовувати будь-яку регулярність у вхідних даних.

Для отримання $Mdq+1$ вихід чотирьох циклів складається по модулю 232 з Mdq . Складання виконується незалежно для кожного з чотирьох слів в буфері.

5) Вихід Md5. Після обробки всіх L 512-бітових блоків виходом L -ої стадії є 128-бітовий дайджест повідомлення.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Детальніше логіку кожного з чотирьох циклів виконання одного 512-бітового блоку розглянуто нижче. Кожен цикл складається з 16 кроків, що оперують з буфером $ABCD$.

$$A \leftarrow B + \text{Cls} (A + f(B, C, D) + X[k] + T[i]),$$

A, B, C, D – чотири слова буфера; після виконання кожного окремого кроку відбувається циклічне зрушення вліво на одне слово.

f – одна з елементарних функцій ff, fg, fh, fi .

CLS – циклічне зрушення вліво на s біт 32-бітового аргументу.

$X[k] - M[q * 16 + k]$ – кодує 32-бітове слово в q -ому 512 блоці повідомлення.

$T[i]$ – i -е 32-бітове слово в матриці T .

$+$ – складання по модулю 232.

На кожному з чотирьох циклів алгоритму використовується одна з чотирьох елементарних логічних функцій. Кожна елементарна функція отримує три 32-бітові слова на вході і на виході створює одне 32-бітове слово. Кожна функція є безліччю побітових логічних операцій, тобто n -ий біт виходу є функцією від n -ого біта трьох входів. Елементарні функції наступні:

$$ff = (B \& C) \text{ (not } B \& D)$$

$$fg = (B \& D) \vee (C \& \text{not } D)$$

$$fh = B \oplus C \oplus D$$

$$fi = C \oplus (B \& \text{not } D)$$

Масив з 32-бітових слів $X[0..15]$ містить значення поточного 512-бітового вхідного блоку, який обробляється зараз. Кожен цикл виконується 16 разів, а оскільки кожен блок вхідного повідомлення обробляється в чотирьох циклах, то кожен блок вхідного повідомлення обробляється по схемі 64 рази. Якщо представити вхідний 512-бітовий блок у вигляді шістнадцяти 32-бітових слів, то кожне вхідне 32-бітове слово використовується чотири рази, по одному разу в кожному циклі, і кожен елемент таблиці T , що складається з 64 32-бітових слів, використовується тільки один раз. Після кожного кроку циклу відбувається

циклічне зрушення вліво чотирьох слів A, B, C і D . На кожному кроці змінюється тільки одне з чотирьох слів буфера $ABCD$. Отже, кожне слово буфера змінюється 16 разів, і потім 17-й раз в кінці для отримання остаточного виходу даного блоку.

К6ПЗ_2026

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

5 МЕТОДИКА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ

На рисунку 5.1 зображено розроблена система енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД. З рисунку можна побачити що інтерфейс головного вікна розподілено на наступні функціональні розділи:

- Навігаційного меню яке викликається натисканням правої клавіші маніпулятора миші.
- Розділу обрання групи опиту.
- Розділу виведення результату роботи системи.

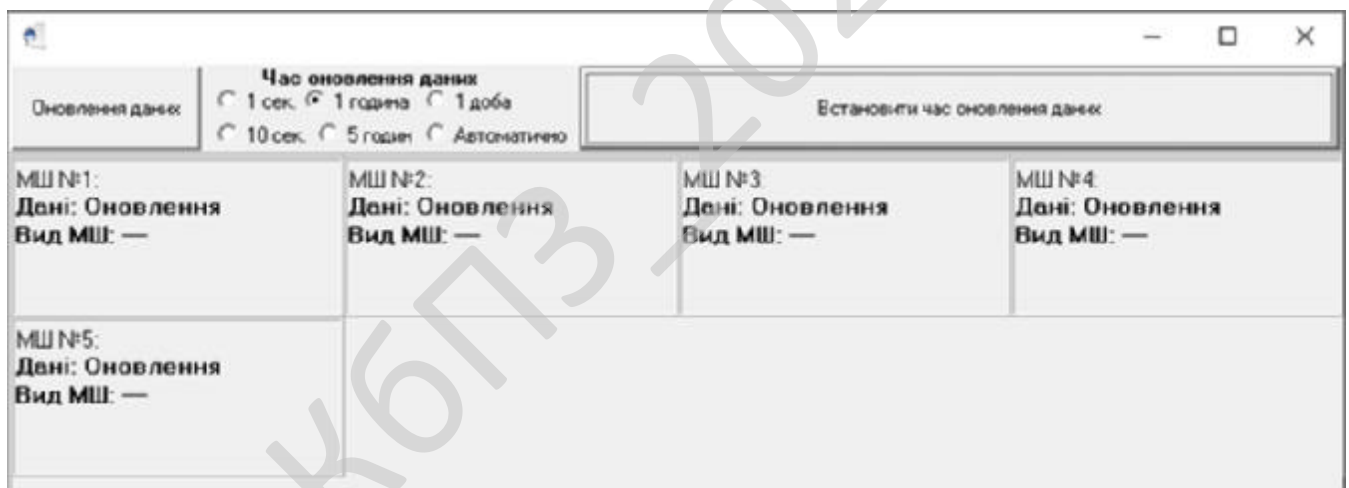


Рисунок 5.1 – Головне вікно ПЗ

Розроблена програма має дуже простий і зрозумілий інтерфейс з користувачем. Кожен, хто в достатньому обсязі володіє операційним середовищем Windows без особливих складностей освоїть і цю програму, оскільки її інтерфейс інтуїтивно зрозумілий. Якщо програма не видала ніяких помилок, і працює, то можна використовувати, інакше слід слідувати інструкціям, які пропонує програма.

На рисунку 5.2 зображено авторські дані розробленого програмного забезпечення.

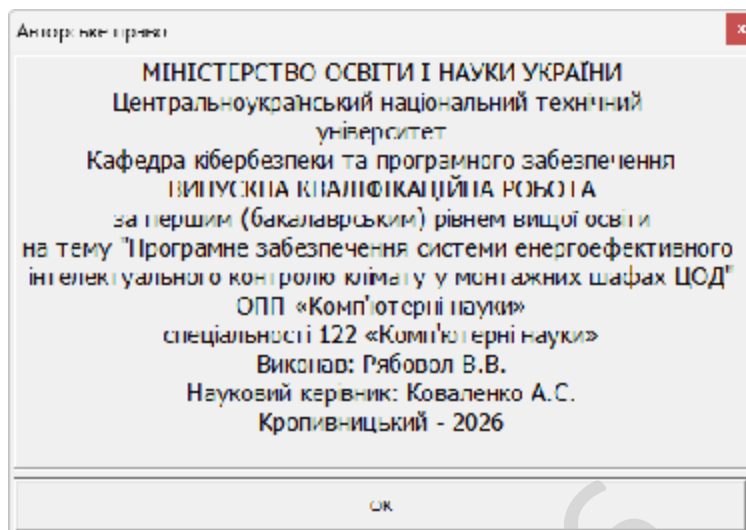


Рисунок 5.2 – Авторське право

Розглянемо процес впровадження програмного забезпечення, це процес налаштування програмного забезпечення під певні умови використання, а також навчання користувачів роботі з програмним продуктом. Впровадження програмного забезпечення це усі дії, що роблять розроблену програмну систему готовою до використання. Даний процес є частинною життєвого циклу програмного забезпечення.

Загалом процес розгортання складається з кількох взаємопов'язаних дій із можливими переходами між ними. Ця активність може відбуватися як з боку виробника так і з боку споживача. Оскільки кожна програмна система є унікальною, то усі процеси та процедури під час розгортання важко передбачити. Тому, "розгортання" можна трактувати як загальний процес відповідно до певних вимог та характеристик. Розгортання може здійснюватись програмістом і в процесі розробки програмного забезпечення.

До діяльностей пов'язаних із розгортанням програмного забезпечення відносять:

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

- Випуск.
- Встановлення та активація.
- Деактивація.
- Адаптація.
- Оновлення.
- Вмонтування.
- Відстежування версій.
- Видалення.
- Вилучення з обігу.

При впровадженні програмного забезпечення потрібно урахувати наступні дії:

– Виділення критичних, з точки зору загального результату, процедур в діяльності організації. Коли набір таких процедур визначений, необхідно в першу чергу використовувати ІТ рішення для автоматизації операцій усередині саме цих процедур. Таким чином, розроблене ІТ рішення автоматично стає життєво важливим і затребуваним для організації, а також буде забезпечена публічність процесу впровадження;

– Розширення нормативної бази організації шляхом включення до неї регламентів, що описують порядок виконання процедур автоматизованих процесів. В іншому випадку є небезпека виникнення неузгодженості між автоматизованими процедурами та іншими процесами організації.

– Виконання робіт з загальної стандартизації існуючої діяльності організації, коли виділяються кращі практики виконання процедур і включаються в ІТ рішення за принципом найбільшої корисності для більшості учасників. Відсоток таких процедур щодо загального обсягу автоматизації може бути невеликий, але це надає процесу побудови рішення вагу в організації за рахунок збільшення його необхідності.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Під час роботи над програмою було проведено тестування програмного забезпечення, тобто технічне дослідження, призначене для виявлення інформації про якість продукту відносно контексту, в якому воно має використовуватись.

Тестування включає як процес пошуку помилок або інших дефектів, так і випробування програмних складових з метою їх оцінки.

Проводилась оцінка:

- відповідності поставленим вимогам;
- правильна відповідь для усіх можливих вхідних даних;
- виконання функцій за прийнятний час;
- практичність;
- сумісність з ОС та стороннім ПЗ.

Оскільки число можливих тестів для програмних компонент практично нескінченне, тому стратегія тестування полягала в тому, щоб провести всі можливі тести з урахуванням наявного часу та ресурсів.

Як результат ПЗ тестувалось стандартним виконанням програми з метою виявлення помилок або інших дефектів.

Проводилось тестування чорної скриньки. Основне місце програми тестів «чорної скриньки» — інтерфейс ПЗ. Відомі: функції програми. Досліджується: робота кожної функції на всій області визначення.

Ці тести демонструють:

- Як виконуються функції програми.
- Як приймаються вихідні дані.
- Як виробляються результати.
- Як зберігається цілісність зовнішньої інформації.

При тестуванні «чорної скриньки» розглядаються системні характеристики програм, ігнорується їхня внутрішня логічна структура. Вичерпне тестування, як правило, неможливе.

Наприклад, якщо в програмі 10 вхідних величин і кожна приймає по 10 значень, то кількість тестових варіантів становитиме 10^{10} . Тестування «чорної скриньки» не реагує на багато особливостей програмних помилок.

Тестування «чорної скриньки» (функціональне тестування) дозволяє отримати комбінації вхідних даних, які забезпечують повну перевірку всіх функціональних вимог до програми.

Програмний виріб тут розглядається як «чорна скринька», чію поведінку можна визначити тільки дослідженням його входів та відповідних виходів. При такому підході бажано мати:

- Набір, утворений такими вхідними даними, які призводять до аномалій у поведінці програми (назвемо його ІТс).

- Набір, утворений такими вхідними даними, які демонструють дефекти програми (назвемо його ОТ).

Будь-який спосіб тестування «чорної скриньки» повинен:

- Виявити такі вхідні дані, які з високою ймовірністю належать набору ІТс;
- Сформулювати такі очікувані результати, які з високою ймовірністю є елементами набору ОТ.

Принцип «чорної скриньки» не альтернативний принципу «білої скриньки». Скоріше це доповнює підхід, який виявляє інший клас помилок.

Тестування «чорної скриньки» забезпечує пошук наступних категорій помилок:

- Некоректних чи відсутніх функцій;
- Помилки інтерфейсу;
- Помилки у зовнішніх структурах даних або в доступі до зовнішньої бази даних;
- Помилки характеристик (необхідна ємність пам'яті і т.д.);
- Помилки ініціалізації та завершення.

Обрано умови розповсюдження – Shareware. Під умовно-безплатним програмним забезпеченням можна розуміти спосіб або метод розповсюдження

комерційного ПЗ на ринку (тобто на шляху до кінцевого користувача), при якому випробувачеві пропонується обмежена за можливостями (не повнофункціональна або демонстраційна версія), терміном дії (тріал версія) або версія з вбудованим набридливим нагадуванням про необхідність оплати використання програми.

В угоді про використання (ліцензії для кінцевого користувача, EULA) також може бути обумовлена заборона на комерційне або професійне (не тестове) її використання.

Основний принцип умовно-безплатного ПЗ – «спробуй, перш ніж купити» (try before you buy). ПЗ що поширюється як умовно-безплатний, надається користувачам безоплатно. Звичайно користувач платить тільки за час завантаження файлів через Інтернет або за носій (CD диск, флешку, ключ). Протягом певного терміну, що становить зазвичай тридцять днів, він може користуватися програмою, тестувати її, освоювати її можливості.

Якщо після закінчення цього терміну користувач вирішить продовжити використання ПЗ, він зобов'язаний купити його (zareestruvatisya), заплативши авторові певну суму.

В іншому випадку користувач повинен припинити використання ПЗ та видалити його зі свого комп'ютера.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

6 ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Програмне забезпечення, створене в результаті виконання випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти, призначено для системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.

В межах України в недостатній мірі представлені вітчизняні розробки в цій області.

Рішення завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.
- Досліджена система енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.
- На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.

Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД.

Розроблене програмне забезпечення має простий, дружній та зручний інтерфейс користувача, що забезпечує легкість у освоєнні роботи програмного продукту, зручність у використанні, і не потребує особливих спеціальних знань.

При створенні програмного забезпечення було використано об'єктно-орієнтований підхід, що відповідає сучасним тенденціям у галузі розробки комерційних програмних систем.

Програма реалізована на мові високого рівня Python. Дана мова програмування дозволяє найбільш ефективно обробляти дані призначені для

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

системи енергоефективного інтелектуального контролю клімату у монтажних шафах ЦОД. Це дозволило мінімізувати строк розробки програмного забезпечення, і, як слід, зменшити витрати на його розробку. Запропоноване програмне забезпечення ділиться на загальне програмне забезпечення, що поставляється із засобами обчислювальної техніки й спеціальне програмне забезпечення, що спеціально розроблене для даної конкретної системи й включає програми, що реалізують її функції.

Програма призначена для виконання під управлінням багатозадачної операційної системи Windows 10/11.

Даються необхідні рекомендації з установки розробленого програмного забезпечення.

Для підвищення рівня безпеки запропоновано застосовувати алгоритм Md5.

В цілому створене програмне забезпечення підтверджує правильність використаних проектних рішень та повністю відповідає вимогам технічного завдання. Створене програмне забезпечення має потенційну можливість для подальшого вдосконалення і застосування у різних галузях.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Е. Таненбаум, Д. Уезеролл «Комп'ютерні мережі». – [5-е вид.]. – 2016. – 960 с.
2. Wendell Odom. «CCNA 200-301 Official Cert Guide, Volume 1». Cisco Press. 2020. – 848 p.
3. Wendell Odom. «CCNA 200-301 Official Cert Guide, Volume 2 Premium Edition eBook and Practice Test». Cisco Press. 2020. – 624 p.
4. Scott Jernigan «CompTIA Network+ Certification All-in-One Exam Guide, Eighth Edition». 2022. – 976 p.
5. Doug Lowe «Networking For Dummies 12th Edition». 2020. – 480 p.
6. Ramon Nastase «Computer Networking: The Beginner's guide for Mastering Computer Networking, the Internet and the OSI Model». 2018. – 186 p.
7. Russ White & Ethan Banks «Computer Networking Problems and Solutions: An Innovative Approach to Building Resilient, Modern Networks». 2017. – 832 p.
8. Вінтенко Б., Смірнов О., Миронець І., Смірнова Т., Смірнов С. «Імітаційна модель шляхів вхідних даних комп'ютерної інтелектуальної системи підтримки оператора енергоблоку АЕС». *Комбінаторні конфігурації та їхні застосування: Матеріали XXVII Міжнародного науково-практичного семінару, присвяченого 125-річчю Національного університету «Запорізька політехніка» (Запоріжжя-Кропивницький-Київ, 4-6 червня 2025 р.)*. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. С.82-91.
9. Al-Azzeh, J., Ayyoub, B., Mesleh, A., Smirnova, T., Gnatyuk, S., Drieiev, O., Smirnov, O., Dorenskyi, O. «Cloud-Based Information System for Evaluating Caverns in the Process of Blasting Metal Surfaces of Details». *International Review on Modelling and Simulations* 18 (1), 2025. pp. 32-42.
10. Смірнова Т.В., Коноплицька-Слободенюк О.К., Буравченко К.О., Смірнов С.А., Кравчук О.В., Козірова Н.Л., Смірнов О.А. «Дослідження

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

технологій забезпечення кібербезпеки хмарних сервісів IaaS, PaaS та SaaS». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2024. №4(24), С. 6-27.

11. Батрак О., Смірнова Т., Гнатюк В., Одарченко Р., Смірнов О. «Дослідження показників ефективності функціонування та перспектив розвитку систем IP-телефонії». *Підводні технології*, 2024, № 13, с. 28-35.

12. Kuznetsov, O., Kryvinska, N., Ilchenko, O., Smirnova, T., Ulianovska, Y. «Comparative Analysis of Cryptocurrency Trading Platforms Using the Analytic Hierarchy Process». *CEUR Workshop Proceedings*, 2023, 3628, pp. 106-115.

13. Al-Mudhafar Aqeel, A.M., Smirnova, T., Buravchenko, K., Smirnov, O. «The method of assessing and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning». *Advanced Information Systems*, 2023, 7(2), pp. 49-56.

14. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchев, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.

15. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2023, 178, pp. 208–223.

16. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». *Сучасні інформаційні системи*, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.

17. Smirnova, T., Gnatyuk, S., Yudin, O., Sydorenko, V., Polozhentsev, A., «The Model for Calculating the Quantitative Criteria for Assessing the Security Level of Information and Telecommunication Systems». *CEUR Workshop Proceedings* Volume 3156, 2022, Pages 390-399.

18. Смірнова Т.В., Гнатюк С.О., Сидоренко В.М., Юдін О.Ю., Сидоренко С.Ю., «Модель визначення критичності галузевих інформаційно-

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

телекомунікаційних систем». *Проблеми інформатизації та управління*, № 2(70). 2022. С. 28-37.

19. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Якименко Н.М., Смірнов С.А., Поліщук Л.І., «Дослідження стійкості до диференціального криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2022, № 3(69). С. 93-98.

20. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Якименко Н.М., Поліщук Л.І., Смірнов С.А. «Дослідження статистичної стійкості та швидкісних характеристик запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки»*, № 2 (307). С. 46-52. 2022.

21. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Константинова Л.В., Смірнов С.А., Якименко Н.М., «Дослідження стійкості до лінійного криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2022, № 1(67). С. 84-89.

22. Smirnova T., Gnatyuk S., Berdibayev R., Avkurova Zh., Iavich M. «Cloud-Based Cyber Incidents Response System and Software Tools». *Communications in Computer and Information Science*, 2021, vol 1486. Springer, Cham. pp 169-184.

23. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR Workshop Proceedings*. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.

24. Smirnov O., Alimseitova Zh., Adranova A., Akhmetov B., Lakhno V., Zhilkishbayeva G. «Models and algorithms for ensuring functional stability and cybersecurity of virtual cloud resources». *Journal of theoretical and applied information technology* Vol.98. No 21, 2020, P. 3334-3346.

					ВКРБ-122.26.0027.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

25. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
26. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhiienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.
27. Smirnov, O., Markovets, O. Vovk, N., Turchyn, Y., «Model of informational support for social network administrators' content creation». *CEUR Workshop Proceedings Volume 2616*, 2020, Pages 125-136.
28. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R., Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». *CEUR Workshop Proceedings Volume 2616*, 2020, Pages 366-379.
29. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», *CEUR Workshop Proceedings Volume 2608*, 2020, Pages 633-645.
30. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». *International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019*; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.
31. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». *International Journal of Computing*; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.

32. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». *2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.

33. Smirnov, O., Odarchenko, R., Abakumova, A., Usik, P., Kundyz, M., «QoE optimization technique for media delivery in 5G networks». *2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019. P.597-601.

34. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». *CEUR Workshop Proceedings*, Vol 2588, P. 90-106, 2019.

35. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT-2019/* Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.

36. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kiian, A., Zamula, A., Rudenko, S., Hryhorenko, V., «Variance Analysis of Networks Traffic for Intrusion Detection in Smart Grids», *2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS)*, Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 353-358.

37. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kavun, S., Babenko, B., Nakisko, O., Kuznetsova, K., «Malware Correlation Monitoring in Computer Networks of Promising Smart Grids», *2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS)*, Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 347-352.

38. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., Prokopovych-Tkachenko, D., «Discrete Signals with Special Correlation Properties», *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2353, *CEUR Workshop Proceedings* 2019, Pages 618-629.

39. Smirnov A.A., Kuznetsov A.A., Danilenko D.A., Berezovsky A., «The statistical analysis of a network traffic for the intrusion detection and prevention systems», *Telecommunications and Radio Engineering*. – Volume 74, Issue 1. – Begel House Inc. – 2015. – P. 61-78.

40. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Кравченко С.С., Горбов В.О., «Хмарна система підтримки прийняття рішень технологічного процесу відновлення поверхонь конструкцій і деталей машин». *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Т. 5, № 4. С. 79-95

41. Смірнов О.А., Усік П.С., Миронець І.В., Буравченко К.О., Якименко Н.М. «Метод підвищення ефективності розподіленої обробки даних у комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку» *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки*. №4. С. 103-110. 2020.

42. О.А.Смірнов, Т.В.Смірнова, Л.І. Поліщук, К.О. Буравченко, А.О.Макевнін, «Дослідження хмарних технологій як сервісів», *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. № 3(7). С. 43-62. 2020.

43. Смірнов О.А., Коноплицька-Слободенюк О.К., Смірнов С.А., Буравченко К.О., Смірнова Т.В., Поліщук Л.І. Інформаційна безпека в комп'ютерних мережах. Навчальний посібник – Кропивницький: вид. Лисенко В.Ф. 2020. – 294 с.

44. О.А. Смірнов, П.С. Усік, «Дослідження перспектив використання технологічних рішень в мережах 5G» у *Кібербезпека та інформаційні технології: монографія*. – Х. : ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2020.С. 122-135.

45. Смірнов О.А., Дреєва Г.М., Дреєв О.М., Смірнова Т.В. «Фрактальний аналіз генератора самоподібного трафіку на основі ланцюга Маркова». *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. № 2(33). с. 161-172, 2019.

46. Смірнов О.А., Коноплицька-Слободенюк О.К., Смірнов С.А., Буравченко К.О., Смірнова Т.В. Поліщук Л.І. Проектування комп'ютерних

систем та мереж. Навчальний посібник – Кропивницький: вид. Лисенко В.Ф. 2019. – 264 с.

47. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kuznetsova., K. Synthesis of Discrete Signals with Improved Correlation Properties. Монографія: In.: ISCI'2019: Information Security in Critical Infrastructures. Collective monograph. Edited by Ivan D. Gorbenko and Alexandr A. Kuznetsov, ASC Academic Publishing, USA, 2019, pp. 281-299. – ISBN: 978-0-9989826-8-7 (Hardback), ISBN: 978-0-9989826-9-4 (Ebook).

48. Смірнов О.А., Дреєва Г.М. Метод генерування фрактального трафіку за допомогою моделі генератора на графі. Монографія: Інформаційна безпека та інформаційні технології : монографія / за заг. ред. В. С. Пономаренка. – Х. : Вид. Рожко С.Г. 2019. С. 123-139

49. Дреєва Г.М., Смірнов О.А., Дреєв О.М. Метод генерування фрактальноподібної числової послідовності на основі скінченного автомату для моделювання трафіку у мережі. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. № 1(32). с. 173-183, 2019.

50. Смірнова Т.В., Солових Є.К., Смірнов О.А., Дреєв О.М. Побудова хмарних інформаційних технологій оптимізації технологічного процесу відновлення та зміцнення поверхонь деталей. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. № 1(32). с. 184-194, 2019.