

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.10.389-406

УДК 697.91; 622.7; 620.133;

к.т.н., доц. **Москвітін А.С.**,

moskvitina.as@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-3352-0646,

к.т.н., доцент **Приймаченко О.В.**,

prymachenko.ov@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5125-8472,

**Бистров Д.О.**,

bystrov\_do@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0002-8830-9311,

Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ VAV-СИСТЕМОЮ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ В ПОЄДНАННІ З ЗЕЛЕНОЮ СТІНОЮ**

*У сучасному світі люди проводять в середньому 80%-90% свого часу в приміщенні; отже, ризики для здоров'я можуть бути більшими через забруднене повітря в приміщенні, ніж через забруднене зовнішнє повітря. У багатьох містах світу система вентиляції та кондиціонування повітря стала важливим інструментом для досягнення комфорту всередині більшості будівель. Деякі дослідження показали, що звичайні кімнатні рослини можуть забезпечити запобігання зростання рівня забруднення повітря в приміщеннях і очищення повітря всередині будівель за допомогою біофільтрації та фітореMediaції (виділення кисню в процесі фотосинтезу) і це забезпечує природний спосіб допомоги в боротьбі з синдромом хворої будівлі (SBS). Крім того, можна використовувати евапотранспірацію рослин для охолодження повітря та контролю вологості навколо рослинного середовища. Використання рослинності як інструменту для покращення загального внутрішнього середовища є галуззю, яка потребує додаткових досліджень, щоб довести реальний вплив різних зелених систем у внутрішньому середовищі. Зазвичай офісні приміщення відчувають істотний вплив коливань внутрішніх та зовнішніх умов на мікроклімат повітряного середовища. Умови комфорту повітряного середовища, що формуються температурно-вологісною обстановкою, характеризуються динамічною зміною надходження шкідливостей впродовж дня. Для енергоефективного забезпечення параметрів мікроклімату в приміщенні необхідно подавати кількість зовнішнього повітря за потребою в даний момент часу, тобто використовувати систему вентиляції та кондиціонування повітря зі змінною витратою. Розроблено алгоритм управління VAV-системою вентиляції та кондиціонування повітря з урахуванням динаміки зміни забрудненості (CO<sub>2</sub>), температури та вологості повітря в приміщенні та інтегрованою живою стіною (фітокондиціонування,*

біофільтрація). Щоб побудувати оптимальну систему, проведено аналіз рослин, щоб врахувати деякі вимоги, такі як умови освітлення, кліматичні умови і поживне середовище.

*Ключові слова:* якість внутрішнього повітря, клімат контроль, система живої стіни, зелена стіна, біофільтрація, енергоефективність, вентиляція, кондиціонування повітря, зелене будівництво; забрудненість приміщень викидами CO<sub>2</sub>; інтелектуальні системи управління мікрокліматом.

**Постановка проблеми.** У сучасному світі люди проводять в середньому 80%-90% свого часу в приміщенні; отже, ризики для здоров'я можуть бути більшими через забруднене повітря в приміщенні, ніж через забруднене зовнішнє повітря. Лікарі в усьому світі стикаються з багатьма скаргами на те, що людям погано через неправильне використання системи кондиціонування повітря в їхніх кабінетах, і щороку вони платять дуже великі рахунки, щоб працювати в «зручному місці».

У багатьох містах світу система кондиціонування повітря стала важливим інструментом для досягнення комфорту всередині більшості будівель. Таким чином, важливо, щоб інженери, дизайнери, виробники та всі професіонали, задіяні у підтримці чудового внутрішнього середовища, досліджували нові альтернативи для вдосконалення поточних систем, оскільки зростає потреба в енергії для охолодження та кондиціонування повітря будівель у містах, опосередковано зростає, міський тепловий острів і зміна клімату. Сьогодні системи живих стін (LWS) — це нова технологія, яка використовує потенціал рослин у середовищі проживання, враховуючи той факт, що існує інстинктивний зв'язок між людьми та іншими живими системами в природі. Оскільки розклади в процесі фотосинтезу виділяють кисень доцільним є використання цього для забезпечення мікроклімату в приміщенні. Використання рослин як елементів дизайну в робочому середовищі привносить природу всередину, щоб створити теплі та привабливі простори, які зменшують стрес, насичують повітря киснем і покращують ваше загальне самопочуття, що призводить до більш здорових робочих місць і житлових приміщень, що зменшує кількість прогулів, підвищує продуктивність і загальне задоволення та щастя в житті людей [1-3].

При дослідженні тепло-вологісного режиму будівель у добовому та річному циклі методами математичного моделювання (зокрема, методами математичної статистики) при кондиціонуванні повітря саме моделювання систем кондиціонування займає провідне місце при проектуванні подібних систем, оскільки вирішення цієї проблеми, крім підвищення ефективності капітальних вкладень, забезпечує її енергозбереження, економію матеріалів, а також

поліпшення умов функціонування споруди, умов тренування у ній людей, а також і навколишнього середовища [4].

Зазвичай офісні приміщення відчувають істотний вплив коливань внутрішніх та зовнішніх умов на мікроклімат повітряного середовища. Умови комфорту повітряного середовища, що формуються температурно-вологісною обстановкою, характеризується як температурою внутрішнього повітря і його вологістю, так і його радіаційною температурою, що є результатом впливу температури і вологості всіх огорожувальних поверхонь приміщення.

Зокрема, теплові навантаження приміщення, як відомо [5], визначаються і теплотою, що надходить через зовнішні огороження за рахунок різниці температур між повітрям всередині приміщення і зовнішнім; теплотою, що надходить через внутрішні огороження за рахунок різниці температур між повітрям всередині приміщення і сусіднім; теплотою, що надходить внаслідок впливу сонячної радіації, враховуючи особливості огороження. Значна частина теплоти, що надходить через зовнішні поверхні огороження і скління, багато у чому визначається сонячною радіацією. Результати статистичного аналізу проектних матеріалів, які використовуються для будівництва спортивних споруд, показують, що при постійному тепловому навантаженні зовнішнього повітря коливання теплового навантаження у приміщеннях за рахунок сонячної радіації можуть становити до 50% [6]. Теплота сонячної радіації характеризується інтенсивністю прямої та розсіяної радіації та залежить (як, до речі, усі процеси тепло- масо- вологообміну) від пори року, години доби, географічної широти і стану атмосфери. Наявність зовнішнього скління приміщень сприяє інтенсифікації процесів тепломасообміну у них внаслідок різниці температур і сонячної радіації. Короткохвильове сонячне (видиме) випромінювання, проникаючи через прозоре скло не змінює їх температури.

При розрахунках слід розглядати зовнішній кліматичний вплив як ймовірно – невизначений, що не існує чітких кореляційних зв'язків із сонячною радіацією. Інтенсивність сонячної радіації протягом доби, а також температура зовнішнього повітря не постійні. Зовнішні поверхні приміщень спортивної споруди опромінюються періодично із врахуванням запізнення. У момент передачі через огороження найбільшої кількості теплоти інтенсивність опромінення і зовнішня температура зростають, це, у свою чергу призводить і до інтенсифікації процесів вологообміну у приміщеннях. З плином часу починається частковий зворотний перехід поглинутої теплоти від зовнішніх огорожень до повітря. Отже, процеси тепломасообміну і зміни вологості приміщень, інтенсивність сонячної радіації носять яскраво виражений нестаціонарний характер. Така невизначеність призводить до широких діапазонів відхилень показників теплофізичних властивостей огорожень

(коефіцієнтів теплопередачі, тепловіддачі, і т.і.), показників масообміну (вологобміну, зокрема) від прийнятих при розрахунках значень.

При проведенні розрахунків систем кондиціонування повітря у приміщеннях за допомогою дослідження тепло-вологісного режиму таких будівель у добовому та річному циклах методом математичного моделювання при кондиціонуванні повітря слід враховувати нестационарні характеристики процесів тепломасообміну і, особливо, процесу передачі тепла через конструкції, що огороджують поверхні, як і інтенсивності сонячної радіації. У результаті вводиться запас задля визначення витрат повітря у приміщення, а значить, зростають фінансові витрати на обробку повітря у системах кондиціонування останнього.

При створенні подібних установок для обробки повітря необхідно знати статистичні і динамічні характеристики огороджувальних поверхонь (їх перехідні характеристики).

При таких динамічних змінах надходжень шкідливостей в приміщення, використанні живих стін та роботі систем вентиляції і кондиціонування повітря постає задача управління такими системами, щоб подавати необхідну кількість свіжого повітря за потребою в даний момент часу. Тобто інтегрувати наявність живих стін (фітокондиціонування) в алгоритм управління системою вентиляції та кондиціонування зі змінною витратою (VAV-системою) [7].

**Аналіз публікацій по темі досліджень.** Математичне моделювання і оптимізація теплової ефективності будівель, розрахунки систем кондиціонування повітря і вентиляції, працюючих у нестационарних режимах, управління ними розглянуті у роботах [8-10]. Визначення оптимальних температурних параметрів роботи VAV-систем досліджено та визначено алгоритми оптимізації систем вентиляції та кондиціонування повітря [11-13]. Проте, на думку авторів даного дослідження, специфіка управління системами вентиляції та кондиціонування повітря у приміщеннях з використанням зелених стін у сучасній науковій літературі практично не вивчена.

**Мета роботи.** Проведення аналізу для вивчення, підтвердження та оцінки ефективності систем клімат-контролю LWS з точки зору комфорту в приміщенні в офісному середовищі. Розробити схему управління такою системою з урахуванням динаміки зміни забрудненості (CO<sub>2</sub>), температури та вологості повітря в приміщенні та подачею свіжого повітря в приміщення за потребою.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Наприкінці 1970-х років, коли енергетична криза відчувалася як на газовому насосі, так і на витратах на опалення та кондиціонування, будівлі проектувалися з метою максимізації енергоефективності, щоб допомогти зменшити витрати на енергію. Дві зміни

дизайну, які покращили енергоефективність включали суперізоляцію та зменшення повітрообміну. Однак, після початку експлуатації цих будівель робітники почали скаржитися на різні проблеми зі здоров'ям такі як свербіж очей, шкірні висипання, сонливість, закладеність дихальних шляхів і носових пазух, головні болі та інші симптоми, пов'язані з алергією. Було визначено, що герметизація будівель суттєво збільшує проблеми зі здоров'ям працівників. Так само синтетичні будівельні матеріали, які, як відомо, виділяють або «мають відхідні гази» різних органічних сполук, пов'язані з численними скаргами на здоров'я. Розміщене в будівлі офісне обладнання та меблі також є фактором впливу, через типи матеріалів, які використовуються в їх виготовленні та дизайну.

Іншим джерелом забруднення повітря в приміщеннях слід вважати саму людину, особливо коли вона проживає в закритому, погано провітрюваному приміщенні. Це стає очевидним, коли велика кількість людей перебувають у закритому місці, наприклад у літаку, протягом тривалого періоду часу. Усі ці фактори разом сприяють виникненню явища під назвою «sick building syndrome». Одна з всесвітніх організацій охорони здоров'я підрахувала, що приблизно 30 відсотків усіх нових або реконструйованих будівель мають різний ступінь забруднення повітря в приміщеннях. Проблеми такого типу були зареєстровані в Сполучених Штатах і Канаді, а також у більшості інших високорозвинених країнах західного світу [1-3].

Двома основними проблемами, пов'язаними із забрудненням повітря в приміщеннях, є ідентифікація слідів хімічних речовин та їх кореляція з хворобоподібними симптомами. Енергоефективна будівля з сучасними меблями та високотехнологічним обладнанням виділяє сотні летких органічних речовин, що можливо взаємодіють одна з одною. Навіть при концентраціях, нижчих за поточні межі виявлення, деякі з цих хімічних речовин і реактивних побічних продуктів можуть негативно вплинути на мешканців цих будівель. Проблеми забруднення повітря в приміщеннях вивчали та документували багато дослідників протягом останніх десяти років. Доктор Тоні Пікерінг з лікарні Wythenshawe поблизу Манчестеру, Англія, ретельно досліджував «sick building syndrome» («синдром хворої будівлі») і дізнався що симптоми мінімальні в будівлях з природною вентиляцією, які містять високий рівень мікроорганізмів. З іншого боку, найвищий рівень симптомів виявляється в будівлі з механічною вентиляцією, що містять низький рівень мікроорганізмів. Результати його аналізів показують, що мало ймовірно, те що симптоми пов'язані з «sick building syndrome» можна віднести до мікроорганізмів.

Першим і найбільш очевидним кроком до зменшення забруднення повітря в приміщенні є зменшення виділення газів з будівельних матеріалів та меблів

до того, як їх буде дозволено встановити. Національне Управління з аеронавтики та дослідження космічного простору (NASA) виявило понад 50 років тому, що проблеми забруднення повітря в приміщеннях, пов'язанні із закритим космічним середовищем. Хоча остаточне рішення ряду проблем із забрудненням у цих герметичних середовищах виявлено не було, НАСА перевіряє виділення газів в усіх нових матеріалах, які будуть використовуватися в майбутніх космічних структурах [1].

Ще один багатообіцяючий підхід до подальшого зменшення рівнів решток речовин, що забруднюють повітря в середині майбутніх космічних середовищ проживання – це використання вищих рослин і пов'язаних із ними ґрунтових мікроорганізмів. Оскільки існування людини на Землі залежить від системи життєзабезпечення, що включає складний зв'язку з рослинами та пов'язаними з ними мікроорганізмами, очевидно, що коли людина намагається ізолювати себе в щільно закритих будівлях подалі від цієї екологічної системи, виникають проблеми. Навіть без існування сотень синтетичних органічних хімікатів, що виділяються у щільно закрите середовище, власні відходи людини спричинять у приміщенні проблеми із забрудненням повітря. Тобто листя, коріння, ґрунт і пов'язані з ними мікроорганізми рослин оцінюються як можливий засіб зменшення забруднювачів повітря в приміщенні. Спільні зусилля НАСА та Асоціації ландшафтних підрядників Америки (ALCA) охоплюють дані за два роки про потенційне використання кімнатних рослин як інструменту вирішення проблем забруднення повітря в приміщеннях на Землі, і пройшли довгий шлях, щоб нагадати людині про його залежність від рослин для подальшого існування та добробуту на нашій планеті. Постає питання як інтегрувати кімнатні рослини в сучасні системи забезпечення мікроклімату приміщення, оскільки використання систем фітокондиціонування, живих стін потенційно може знизити навантаження на ці системи [1, 2].

Рослини поглинають воду і поживні речовини з навколишнього середовища і переносять їх з однієї зони (листя) в іншу (коріння), де їх коріння представляють собою висячу систему. Наприклад, епіфіти, такі тропічні рослини, як англійський плющ, лілія миру, очеретяна пальма, бостонська папороть і тілландсія, є рослинами, які отримують воду з повітря, а не через коріння. Це звичайні кімнатні рослини, які фільтрують вологу з повітря, таким чином знижуючи рівень надмірної вологості. Що стосується контролю температури, випаровування з рослин сприяє зниженню температури навколишнього середовища [14-16].

Вважалось, що дуже вологе середовище суттєво знижує ефект системи живих стін, діючи як випарний охолоджувач; тому необхідно було інтегрувати

процес осушення в систему (рис.1). Особливо постійний полив може теж вплинути на вологість в приміщенні [17].

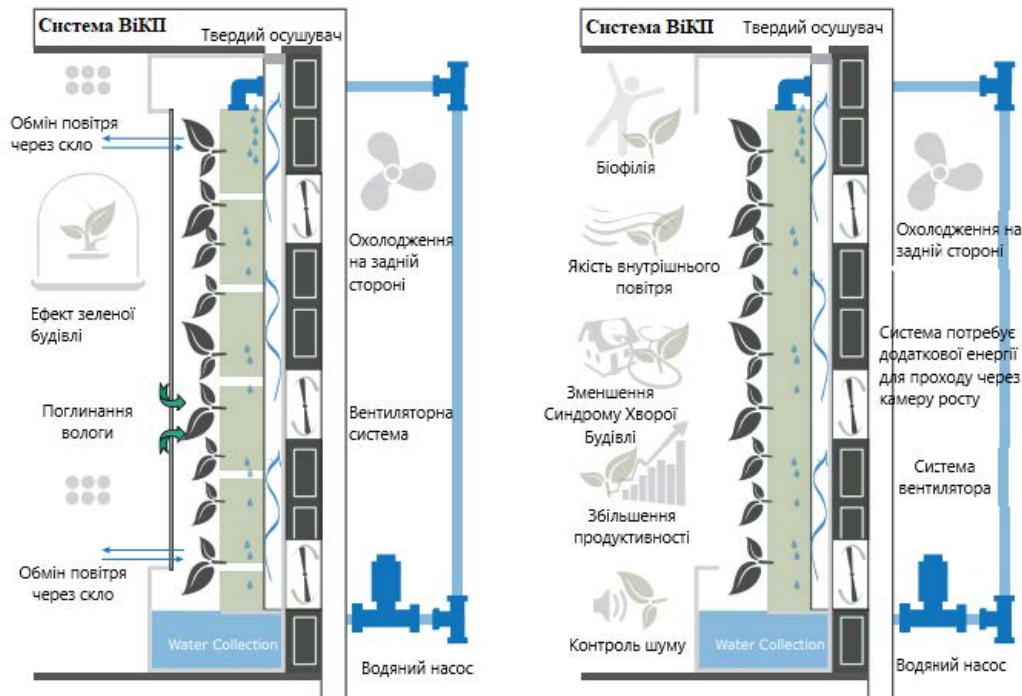


Рис. 1. Система вентиляції та кондиціонування повітря з живою стіною.

Було проаналізовано кілька процесів і стратегій осушення, де адсорбційні осушувачі виявилися більш придатними для застосування в цій системі, оскільки їх можна регенерувати та використовувати знову. Фактично, для майбутніх застосувань він може використовувати відпрацьовану теплоту для регенерації [18-20]. Адсорбційні осушувачі мають ряд переваг, наприклад, забезпечують контроль вологості, видаляють бактерії та інші мікроорганізми, і вони можуть використовувати відпрацьоване тепло для регенерації, як згадувалося раніше. Зважаючи на ці фактори, пропонується використовувати хлорид кальцію ( $\text{CaCl}_2$ ) як адсорбуючий осушувач через його властивості контролювати відносну вологість, його гнучкість і розмір частинок, які утворюються залишки води [17, 21,22] (рис.2).

Випаровування з цієї живої стіни, вентилятор і осушувач, що працюють разом, сприяли зниженню температури навколо рослин.

Щоб побудувати оптимальну систему, при виборі типу використаних рослин враховувались деякі вимоги, такі як умови освітлення [23], кліматичні умови и поживне середовище. Отже, були використані незапилювальні рослини, стійкі до середнього та низького освітлення, а також неорганічна поживна среда.

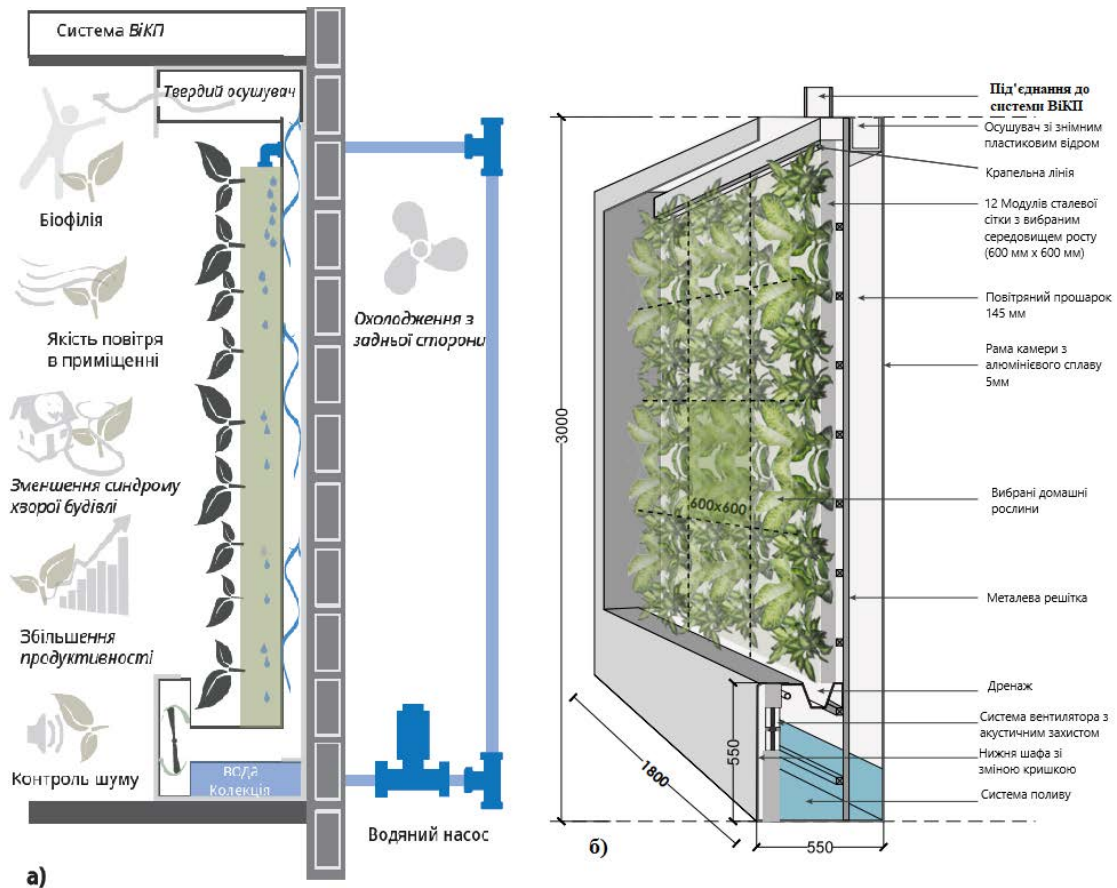


Рис.2. Прототип секції зеленої стіни з рециркуляцією повітря через неї: а – схема конструкції LWS; б – розріз.

Аналізуючи дані досліджень [1-3, 14-22] було зроблено такі висновки і зведено в таблицю 1.

Таблиця 1

### Кімнатні рослини: переваги та вимоги

Потреби для системи	Інтенсивність світла	Відносна вологість	Температура
1	2	3	4
	Кімнатні рослини повинні бути стійкими до низької інтенсивності освітлення	Кімнатні рослини віддають перевагу рівню відносної вологості між 50-70% для хорошої роботи.	Кімнатні рослини, як правило, адаптуються до внутрішньої температур приміщення
Переваги	<b>Біофілія</b>	<b>Архітектурні</b>	<b>Інженерні</b>
	Між людиною та іншими живими системами в природі існує інстинктивний зв'язок. Назад до землі, назад до природи	Кімнатні рослини як архітектурний елемент визначають простір, забезпечують приватність, закривають неприємні види та створюють нові.	Кімнатні рослини можна використовувати для контролю руху, зменшення відблисків або акустичного контролю.



1	2	3	4
	<b>Психологічні переваги</b>	<b>Культурні і соціальні переваги</b>	<b>Екологічні переваги</b>
	Рослини можуть зменшити стрес, покращити самооцінку, навчити довгостроковим цінностям, забезпечити зв'язок між минулим і сьогоденням.	Рослини є невід'ємною частиною образотворчого мистецтва людей. Рослини є темою для розмови. Вони пропонують гордість володіння.	Рослини можуть очищати повітря, воду та ґрунт від забруднюючих речовин, виробляти кисень і можуть допомогти усунути парниковий ефект.
<b>Фізичні властивості</b>	<b>Водоутриму-вальна здатність</b>	<b>Аерація</b>	<b>Пористість</b>
	Це відсоток загального порового простору, який залишається заповненим водою після гравітаційного дренажу.	Це відсоток загального простору пор, який залишається заповненим повітрям після того, як надлишок води витікає	Це сума простору в макропорах і мікропорах
<b>Хімічні властивості</b>	<b>pH</b>	<b>Об'ємна щільність</b>	<b>Плодючість і ємність катіонного обміну (ЄКО)</b>
	Основним впливом pH на ріст рослин є його контроль над доступністю поживних речовин	Насипна щільність означає вагу на об'єм	ЄКО середовища для вирощування відображає його здатність до зберігання поживних речовин і вказує на те, як часто потрібно буде вносити добрива.

Оскільки рослини будуть продукувати кисень вдень, а ввечері починають «дихати», тобто виділяти CO<sub>2</sub>, нам подрібно, щоб система вентиляції та кондиціонування повітря підлаштовувалась під потреби необхідної кількості зовнішнього повітря та температуру в приміщенні з урахуванням процесів тепловологообміну в приміщенні та динаміки зміни теплонадходжень впродовж дня. Дане завдання вирішує система вентиляції та кондиціонування повітря зі змінною витратою (VAV-система) [24-26]. Якщо взяти за основу систему вентиляції і кондиціонування з живою стіною (рис.2), то у нас виникає ще місцевий осушувач. Але в період опалення та охолодження за допомогою поверхневих охолоджувачів у нас в приміщенні навпаки виникає сухість повітря, тобто осушувач більше потрібен для передного періоду (міжсезоння). Тому його роботу винесемо з основного процесу управління і зробимо

паралельним процесом. За основні параметри візьмемо рівень  $\text{CO}_2$  та температуру повітря в приміщенні. Схема блоку управління з нечіткою логікою для холодного періоду включає в себе управління вентилятором, секцією нагріву та внутрішніми нагрівачами-доводчиками (рис. 3,а). Схема блоку управління для літа включає в себе управління вентилятором, секцією охолодження та внутрішніми охолоджувачами-доводчиками (рис. 3,б), що як наслідок тягне за собою управління потужністю компресора холодильної машини.

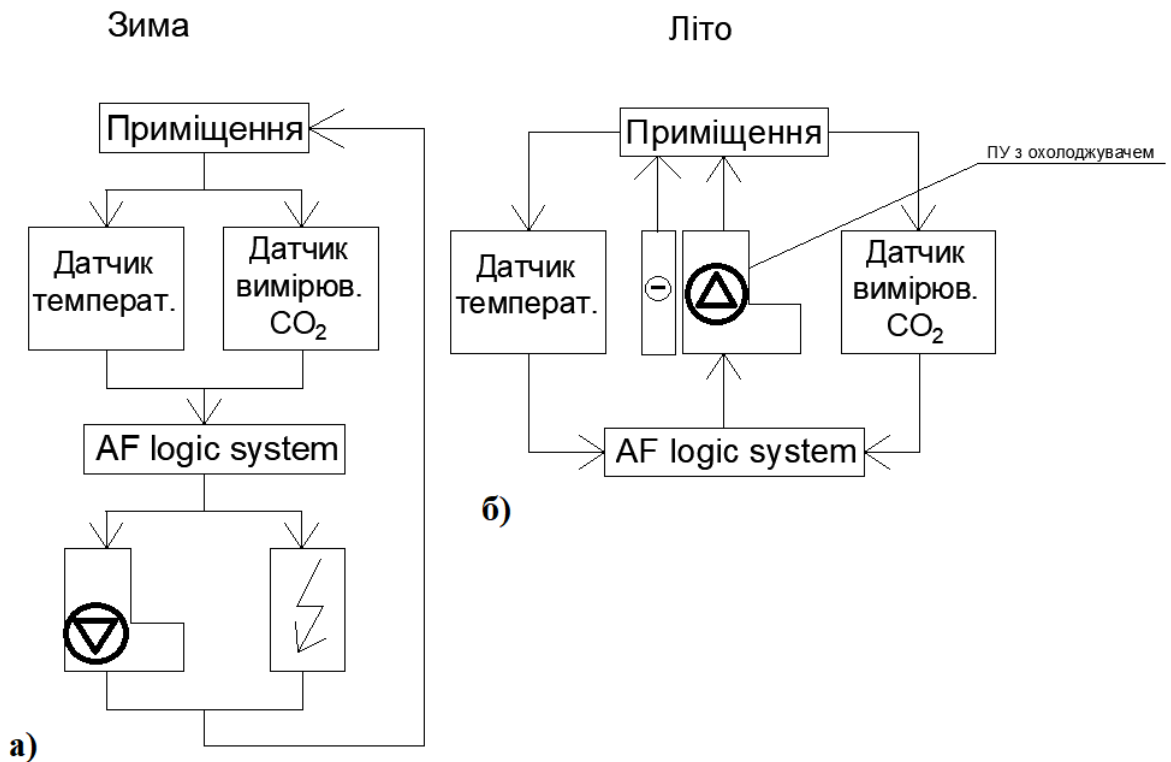


Рис. 3. Блок-схема системи автоматизації з нечіткою логікою:  
а – холодний період; б – теплий період.

В таблиці 2 наведено вхідні параметри для зими, в таблиці 3 рівні вихідних сигналів для зими, а в таблиці 4 наведена матриця відповідності для зими. Аналогічні дані для теплового періоду наведені в таблцях 5-7.

Таблиця 2

#### Вхідні параметри для холодного періоду

Рівень	Minimum	Less than normal	normal	More than normal	Maximum
Температура ( $T_{\text{soil}}$ ), °C	14-16	15-19	18-20	19-24	23-25
Рівень концентрації $\text{CO}_2$ , ppm	400-450	425-475	450-600	550-750	650-900

Таблиця 3

Рівень	Off*	low	Medium	fast	intensely
G-вентилятор	0-1	0,5-2	1,5-3,5	3-4,5	4-5
Q-нагрівач	0-1	0,5-2	1,5-3,5	3-4,5	4-5

Рівні вихідного сигналу для холодного періоду

\*- вимикання місцевих фанкойлів/ нагрівачів-доводчиків.

Таблиця 4

## Матриця відповідності для холодного періоду

CO <sub>2</sub> \ T	T				
	T <sub>1</sub> (14-16 °C)	T <sub>2</sub> (15-19 °C)	T <sub>3</sub> (18-20°C)	T <sub>4</sub> (19-24°C)	T <sub>5</sub> (23-25°C)
(CO <sub>2</sub> ) <sub>1</sub> (400-450)	G=0	G=0	G=0	G=0	G=0
	Q=5	Q=3,5	Q=2,5	Q=1	Q=0
(CO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (425-475)	G=1	G=1	G=1	G=1	G=1
	Q=5	Q=3,5	Q=2,5	Q=1	Q=0
(CO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> (450-600)	G=2,5	G=2,5	G=2,5	G=2,5	G=2,5
	Q=5	Q=3,5	Q=2,5	Q=1	Q=0
(CO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> (550-750)	G=3,5	G=3,5	G=3,5	G=3,5	G=3,5
	Q=5	Q=3,5	Q=2,5	Q=1	Q=0
(CO <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> (650-900)	G=5	G=5	G=5	G=5	G=5
	Q=5	Q=3,5	Q=2,5	Q=1	Q=0

Таблиця 5

## Вхідні параметри для теплого періоду

Рівень	Minimum	Less than normal	Normal	More than normal	Maximum
Температура (T <sub>soil</sub> ), °C	19-21	20-23	22-24	23-27	26-30
Рівень концентрації CO <sub>2</sub> , ppm	400-450	425-475	450-600	550-750	650-900

Таблиця 6 Рівні вихідного сигналу для теплого періоду

Рівень	Off*	low		Medium	fast	intensely
G-вентилятор	0-1	0,5-2		1,5-3,5	3-4,5	4-5
Q-охолоджувач	0-1	0,5-2		1,5-3,5	3-4,5	4-5

\*- вмикання місцевих фанкойлів/ охолоджувачів-доводчиків.

Таблиця 7

## Матриця відповідності для теплого періоду

CO <sub>2</sub> \ T	T				
	T <sub>1</sub> (19-21 °C)	T <sub>2</sub> (20-23 °C)	T <sub>3</sub> (22-24°C)	T <sub>4</sub> (13-27°C)	T <sub>5</sub> (26-30°C)
(CO <sub>2</sub> ) <sub>1</sub> (400-450)	G=0	G=0	G=0	G=0	G=0
	Q=0	Q=1,5	Q=2,5	Q=3,75	Q=5
(CO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (425-475)	G=1	G=1	G=1	G=1	G=1
	Q=0	Q=1,5	Q=2,5	Q=3,75	Q=5
(CO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> (450-600)	G=2,5	G=2,5	G=2,5	G=2,5	G=2,5
	Q=0	Q=1,5	Q=2,5	Q=3,75	Q=5
(CO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> (550-750)	G=3,5	G=3,5	G=3,5	G=3,5	G=3,5
	Q=0	Q=1,5	Q=2,5	Q=3,75	Q=5
(CO <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> (650-900)	G=5	G=5	G=5	G=5	G=5
	Q=0	Q=1,5	Q=2,5	Q=3,75	Q=5

Цей алгоритм дозволяє забезпечити ефективне керування VAV-системою вентиляції та кондиціонування повітря з використанням фітокондиціонування від живої стіни в приміщенні. Тобто використовувати очищення повітря за допомогою кімнатних рослин.

**Висновки.** Оптимальний потоковий вимірювач забруднення повітря вуглекислим газом (CO<sub>2</sub>) чи вологомір повинен будуватись за дискретною схемою з цифровою обробкою інформації, яка надходить від датчика (система штучного інтелекту для управління процесами газообміну повітря у приміщенні спортивної споруди), за алгоритмом визначення ковзаючого середнього із часом усереднення сигналу 10...20 хв й інтервалом видачі результатів 2...5 хв.

Можна зробити висновок, що система демонструє кілька позитивних результатів, таких як зниження температури навколо системи за допомогою екологічного методу контролю клімату (LWS), який створює приємне та здоровіше середовище. Але є деякі складності. По-перше, підвищення відносної вологості повітря у районах з рослинами є однією з головних проблем, через постійний полив. Фактично, дуже вологе середовище зменшує ефект LWS, що діє як випарний охолоджувач; таким чином, необхідно було інтегрувати метод осушення в систему, в даному випадку осушувач, щоб контролювати рівень вологості в навколишньому середовищі. З іншого боку, система кондиціонування – це як легені будь-якої будівлі. Вона втягує зовнішнє повітря, фільтрує його, контролює та підтримує температуру, вологість, рух повітря, чистоту повітря, рівень звуку та різницю тиску, циркулює повітря навколо будівлі, а потім викидає його частину у зовнішнє середовище. Однак між охолодженим і циркулюючим повітрям відбувається постійна конкуренція.

Повітря має циркулювати, щоб забезпечити хорошу якість повітря, але блок кондиціонування повітря покладається на замкнутий цикл, де, якщо вводиться нове повітря, воно потребує більшої кількості охолодження. Таким чином, очікується, що цей метод матиме важливий вплив на кількість енергії, яка використовується стандартною системою кондиціонування повітря, оскільки рециркуляція повітря через LWS упустила процес охолодження зовнішнього повітря, тому що повітря в приміщенні вже матиме необхідну температуру і рівень вологості. А також в період фотосинтезу розроблений алгоритм управління на базі нечіткої логіки дозволить подавати тільки необхідну кількість повітря по датчику CO<sub>2</sub>. Тобто, за допомогою використання живої стіни ми зменшуємо кількість свіжого зовнішнього повітря, проводимо очищення внутрішнього повітря, його зволоження, бо осушувач вмикається за потребою. Такий алгоритм керування з використанням VAV-системи вентиляції і кондиціонування повітря дозволить уникнути непродуктивних втрат в системі забезпечення мікроклімату будівлі. Більше того, системи кондиціонування повітря на основі осушувачів, як правило, також використовують зволожувач як частину процесу, оскільки повітря всередині іноді надто сухе. Тому ця система, швидше за все, допоможе знизити навантаження і на зволожувачі повітря. Досі не вистачає твердих і значущих цифр, щоб зрозуміти всі можливі переваги активної LWS як системи клімат-контролю, наприклад справжні механізми видалення забруднювачів, і навіть більше вплив цих систем на енергетичну ефективність будівлі.

#### **Бібліографічний список:**

1. Wolverton B.C. Interior landscape plants for indoor air pollution abatement. Stennis Space Center, Miss : National Aeronautics and Space Administration, 1989. 22 p.
2. Davis M.M., Hirmer S. The potential for vertical gardens as evaporative coolers: An adaptation of the 'Penman Monteith Equation'. *Building and Environment*. 2015. Vol. 92. P. 135–141.
3. Fjeld T. The Effect of Interior Planting on Health and Discomfort among Workers and School Children. *HortTechnology*. 2000. Vol. 10, no. 1. P. 46–52.
4. Pease, P.; Chhabra, J.; Zolfaghari, Z. Planning for net zero by 2050, what HVAC system interventions will today's code minimum commercial buildings require? arXiv 2021, arXiv:2111.03899.
5. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE Handbook-Applications. Chapter 43-Supervisory Control Strategies and Optimization; American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta, GA, USA, 2019.

6. Москвітін А.С., Шишина М.О. Дослідження поля температур у приміщенні при роботі систем кондиціонування при змінних теплових навантаженнях приміщення. Молодий вчений - Випуск 3(79). 2020. С. 186-192.
7. Москвітін, А.С., Шишина М.О., Корчмінський М. Техніко-економічне та екологічне обґрунтування використання систем зі змінною витратою повітря для адміністративних будівель. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник. Випуск 36.К.: КНУБА, 2021. С.62-79.
8. Dovhaliuk V., Mileikovskiy V. New approach for refined efficiency estimation of air exchange organization. International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. Vol. 7. №. 3. P. 591-596.
9. Човнюк Ю.В., Чередніченко П.П., Москвітін А.С. Моделювання та алгоритм розрахунку параметрів системи регулювання мікроклімату приміщення з елементами штучного інтелекту. Містобудування та територіальне планування. Випуск 79. К.: КНУБА. 2022. С. 446-462.
10. Човнюк Ю.В., Диктерук М.Г., Довгалюк В.Б., Скляренко О.М. Концептуальні основи створення мехатронних систем керування мікрокліматом музейних приміщень з використанням нечітких логічних контролерів (регуляторів). Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2018. №27. С. 6–17.
11. Човнюк Ю.В., Чередніченко П.П., Москвітін А.С., Золотар Л.В. ІННОВАЦІЙНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЗМІНИ ЗАБРУДНЕНОСТІ ТА ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ СПОРТИВНИХ СПОРУД: ФІТНЕС-ЗАЛИ ТА ПЛАВАЛЬНІ БАСЕЙНИ. Містобудування та територіальне планування. Випуск 83. К.: КНУБА. 2023. С. 374–385.
12. Talib R., Nabil N., Choi W. Optimization-Based Data-Enabled Modeling Technique for HVAC Systems Components. Buildings. 2020. Vol. 10, no. 9. P. 163.
13. Wang, G., Song, L. Air handling unit supplies air temperature optimal control during economizer cycles. Energy Build. 2012. Vol. 49. P. 310–316.
14. Stanghellini C, Van-Meurs WThM. Environmental control of greenhouse crop transpiration. J Agric Eng Res. 1992. Vol. 51. P. 297-311.
15. Santamouris M. Energy and Climate in the Urban Built Environment. Routledge, 2013.
16. Sunakorn P, Yimprayoon C. Thermal performance of biofacade with natural ventilation in the tropical climate. Procedia Eng. 2011 Vol. 21. P.34-41.
17. Armijos Moya T. Green Climate Control. Architecture and the Built Environment. 2021.

18. Wong N.H., Kwang TAY, Chen Y., Sekar K., Tan PY., Chan D., et al. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Build Environ.* 2010. Vol. 45. no.3 P. 663—72.
19. Ling C.Z., Ghaffarian H.A. Greenscaping buildings: amplification of vertical greening towards approaching sustainable urban structures. *J Creative Sustain Archit Built Environ.* 2012. Vol.2. P. 13-22.
20. Green horizons: Exploring the potential of vertical green walls / Jeyasurya T et al. *Plant Science Today.* 2024.
21. Ottele M. The green building envelope: vertical greening [dissertation]. Delft: Delft University of Technology; 2011.
22. Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review / G. Pérez et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2014. Vol. 39. P. 139–165.
23. Tetiana Tkachenko, Viktor Mileikovskiy, Anna Moskvitina, Iryna Peftieva, Viktoriia Konovaliuk, Adam Ujma. PROBLEMS OF STANDARDISING ILLUMINATION FOR PLANTS IN GREENHOUSES AND GREEN STRUCTURES. Contents of Proceedings of 22nd International Scientific Conference ‘ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT’ May 24-26, 2023. P.1011-1016
24. Nassif, N. Modeling and Optimization of HVAC Systems Using Artificial Neural Network and Genetic Algorithm. *Int. J. Build.Simul.* 2014. Vol. 7. P. 237–245.
25. Rismanchi, B.; Zambrano, J.M.; Saxby, B.; Tuck, R.; Stenning, M. Control Strategies in Multi-Zone Air Conditioning Systems. *Energies.* 2019. Vol. 12. P. 347.
26. Kim, S.-K.; Hong, W.-H.; Hwang, J.-H.; Jung, M.-S.; Park, Y.-S. Optimal Control Method for HVAC Systems in Offices with a Control Algorithm Based on Thermal Environment. *Buildings.* 2020. Vol. 10. P. 95.

Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor **Moskvitina Anna**,  
Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor **Priymachenko Aleksey**,  
Post-graduate student **Bystrov Denis**  
Kyiv National University of Construction and Architecture

## USING FUZZY LOGIC TO CONTROL A VAV AIR CONDITIONING SYSTEM IN COMBINATION WITH A GREEN WALL.

In today's world, people spend an average of 80%-90% of their time indoors; therefore, health risks can be greater from polluted indoor air than from polluted outdoor air. In many cities around the world, the ventilation and air conditioning

system has become an important tool for achieving comfort inside most buildings. Some studies have shown that common houseplants can provide prevention of rising levels of indoor air pollution and purification of air inside buildings through biofiltration and phytoremediation (release of oxygen through photosynthesis) and this provides a natural way to help combat Sick Building Syndrome. In addition, plant evapotranspiration can be used to cool the air and control humidity around the plant environment. The use of vegetation as a tool to improve the overall indoor environment is an area that needs more research to prove the real impact of different green systems in the indoor environment. Typically, office spaces are significantly affected by fluctuations in indoor and outdoor conditions on the microclimate of the air environment. The comfort conditions of the air environment, which are formed by the temperature and humidity conditions, are characterized by a dynamic change in the intake of harmful substances throughout the day. For energy-efficient provision of indoor microclimate parameters, it is necessary to supply the amount of outdoor air as needed at a given time, i.e., to use a variable-flow ventilation and air conditioning system. A control algorithm for the VAV ventilation and air conditioning system was developed, taking into account the dynamics of changes in pollution (CO<sub>2</sub>), temperature and humidity in the room and the integrated living wall (phyto-conditioning, biofiltration). To build the optimal system, a plant analysis was conducted to take into account certain requirements, such as lighting conditions, climatic conditions, and growing medium.

Key words: indoor air quality; climate control; living wall system; green wall; biofiltration; energy efficiency; ventilation; air conditioning; green building; indoor CO<sub>2</sub> emissions; intelligent microclimate control systems.

#### REFERENCES:

1. Wolverton B.C. Interior landscape plants for indoor air pollution abatement. Stennis Space Center, Miss : National Aeronautics and Space Administration, 1989. 22 p. {in English}
2. Davis M.M., Hirmer S. The potential for vertical gardens as evaporative coolers: An adaptation of the 'Penman Monteith Equation'. *Building and Environment*. 2015. Vol. 92. P. 135–141. {in English}
3. Fjeld T. The Effect of Interior Planting on Health and Discomfort among Workers and School Children. *HortTechnology*. 2000. Vol. 10, no. 1. P. 46–52. {in English}
4. Pease, P.; Chhabra, J.; Zolfaghari, Z. Planning for net zero by 2050, what HVAC system interventions will today's code minimum commercial buildings require? arXiv 2021, arXiv:2111.03899. {in English}



5. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE Handbook-Applications. Chapter 43-Supervisory Control Strategies and Optimization; American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta, GA, USA, 2019. {in English}
6. Moskvitina A.S., Shyshyna M.O. Doslidzhennya polya temperatur u prymishchenni pry roboti system kondytsionuvannya pry zminnykh teplovykh navantazhennyakh prymishchennya. Molodyy vchenyy - Vypusk 3(79). 2020. P. 186-192. {in Ukrainian}
7. Moskvitina, A.S., Shyshyna M.O., Korchmins'kyy M. Tekhniko-ekonomichne ta ekolohichne obgruntuvannya vykorystannya system zi zminnoyu vytratoyu povitrya dlya administratyvnykh budivel'. Ventylyatsiya, osviltennya ta teplohapostachannya: naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. Vypusk 36.K.: KNUBA, 2021. P.62-79. {in Ukrainian}
8. Dovhaliuk V., Mileikovskiy V. New approach for refined efficiency estimation of air exchange organization. International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. Vol. 7. №. 3. P. 591-596. {in English}
9. Chovnyuk YU.V., Cherednichenko P.P., Moskvitina A.S. Modelyuvannya ta alhorytm rozrakhunku parametriv systemy rehulyuvannya mikroklimatu prymishchennya z elementamy shtuchnoho intelektu. Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya. Vypusk 79. K.: KNUBA, 2022. P. 446-462. {in Ukrainian}
10. Chovnyuk YU.V., Dykteruk M.H., Dovhalyuk V.B., Sklyarenko O.M. Kontseptual'ni osnovy stvorennya mekhatronnykh system keruvannya mikroklimatom muzeynykh prymishchen' z vykorystannyam nechitkykh lohichnykh kontroleriv (rehulyatoriv). Ventylyatsiya, osviltennya ta teplohapostachannya. №27, P. 6–17. {in Ukrainian}
11. Chovnyuk YU.V., Cherednichenko P.P., Moskvitina A.S., Zolotar L.V. INNOVATSIYNYI METOD DOSLIDZHENNYA DYNAMIKY ZMINY ZABRUDNENOSTI TA VOLOHOSTI POVITRYA SPORTYVNYKH SPORUD: FITNES-ZALY TA PLAVAL'NI BASEYNY. Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya. Vypusk 83. K.: KNUBA. 2023. P. 374–385. {in Ukrainian}
12. Talib R., Nabil N., Choi W. Optimization-Based Data-Enabled Modeling Technique for HVAC Systems Components. Buildings. 2020. Vol. 10, no. 9. P. 163. {in English}
13. Wang, G.; Song, L. Air handling unit supplies air temperature optimal control during economizer cycles. Energy Build. 2012. Vol. 49. P. 310–316. {in English}
14. Stanghellini C, Van-Meurs WThM. Enviromental control of greenhouse crop transpiration. J Agric Eng Res. 1992. Vol. 51. P. 297-311. {in English}

15. Santamouris M. *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. Routledge, 2013. {in English}
16. Sunakorn P, Yimprayoon C. Thermal performance of biofacade with natural ventilation in the tropical climate. *Procedia Eng.* 2011 Vol. 21. P.34-41. {in English}
17. Armijos Moya T. *Green Climate Control. Architecture and the Built Environment*. 2021. {in English}
18. Wong NH, Kwang TAY, Chen Y, Sekar K, Tan PY, Chan D, et al. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Build Environ.* 2010. Vol. 45. no.3 P. 663—72. {in English}
19. Ling C.Z., Ghaffarian H.A.. *Greenscaping buildings: amplification of vertical greening towards approaching sustainable urban structures*. *J Creative Sustain Archit Built Environ.* 2012. Vol.2. P. 13-22. {in English}
20. *Green horizons: Exploring the potential of vertical green walls* / Jeyasurya T et al. *Plant Science Today*. 2024. {in English}
21. Ottele M. *The green building envelope: vertical greening* [dissertation]. Delft: Delft University of Technology; 2011. {in English}
22. *Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review* / G. Pérez et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 39. P. 139–165. {in English}
23. Tetiana Tkachenko, Viktor Mileikovskiy, Anna Moskvitina, Iryna Peftieva, Viktoriia Konovaliuk, Adam Ujma. PROBLEMS OF STANDARDISING ILLUMINATION FOR PLANTS IN GREENHOUSES AND GREEN STRUCTURES. *Contentsof Proceedings of 22nd International Scientific Conference ‘ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT’* May 24-26, 2023. P.1011-1016. {in English}
24. Nassif, N. *Modeling and Optimization of HVAC Systems Using Artificial Neural Network and Genetic Algorithm*. *Int. J. Build.Simul.* 2014. Vol. 7. P. 237–245. {in English}
25. Rismanchi, B.; Zambrano, J.M.; Saxby, B.; Tuck, R.; Stenning, M. *Control Strategies in Multi-Zone Air Conditioning Systems*. *Energies*. 2019. Vol. 12. P. 347. {in English}
26. Kim, S.-K.; Hong, W.-H.; Hwang, J.-H.; Jung, M.-S.; Park, Y.-S. *Optimal Control Method for HVAC Systems in Offices with a Control Algorithm Based on Thermal Environment*. *Buildings*. 2020. Vol. 10. P. 95. {in English}