



№ 35 (2024) С. 67–75
National Academy of Fine Arts and Architecture
Collection of Scholarly Works
«Ukrainian Academy of Art»
ISSN 2411–3035
Website: <http://naoma-science.kiev.ua>

УДК 72.05:728+635.3
ORCID ID: 0000-0002-7635-9138
ORCID ID: 0000-0003-3459-3636
DOI <https://doi.org/10.32782/2411-3034-2024-35-7>

Роман Рубай

*аспірант кафедри архітектурного проектування та інженерії
Національний університет «Львівська політехніка»
roman.s.rubai@lpnu.ua*

Галина Гнат

*кандидатка архітектури, доцентка,
доцентка кафедри архітектурного проектування та інженерії
Національний університет «Львівська політехніка»
halyna.o.hnat@lpnu.ua*

ВПЛИВ СИСТЕМ БЕЗҐРУНТОВОГО АГРОВИРОБНИЦТВА НА АРХІТЕКТУРНЕ ВИРІШЕННЯ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ

Анотація. *Мета статті* – визначити потенціал застосування гідропонічних систем елементів агровиробництва в структурі споруди, а також розкрити їх вплив на зовнішній вигляд фасадів житлових будівель. **Методи дослідження.** *Основою є* декомпозиційний аналіз систем безґрунтового вирощування, що застосовується у закордонній архітектурній та виробничій практиці. *Метод імітаційного моделювання застосовується для візуалізації компонентів систем, складові яких можуть бути приховані та які є можливими або неможливими для інтегрування в споруду.* **Результати.** *На основі досліджених особливостей безґрунтових систем розроблено просторові схеми для кожного з випадків, що уможливають інтегрування цих систем у будівлю; визначено вплив на архітектурні характеристики споруди. Щоб зрозуміти вплив вказаних систем на архітектуру та вигляд будівлі, автор здійснив імітаційне моделювання фрагмента зовнішньої огорожувальної конструкції споруди з урахуванням масштабів елементів системи. На прикладі наявних об'єктів із аграрними елементами показано, як технології впливають на візуальний образ споруди.* **Висновки.** *Розглянуті системи безґрунтового вирощування впливають на фасадні рішення насамперед через привнесення великої кількості озеленення, що з архітектурного погляду висуває певні вимоги щодо їх влаштування, форми й кольору. Стосовно особливостей інтеграції самих систем, вплив їх на фасадні вирішення зводиться до впорядкування малих форм споруди (тераси, балконів, лоджій) та заходів маскуванню технічного обладнання. В будь-якому разі, впровадження таких систем для агровиробництва надасть переваги та зручності, що стимулюватимуть мешканців вести таке господарство. Це сприятиме розвитку озеленення, очищенню міського повітря та покращенню мікроклімату.*
Ключові слова: *агровиробництво, безґрунтові системи, гідропоніка, щільність, житлова будівля, фасад.*

Roman Rubai

*PhD student of the Department of Architectural Design and Engineering
Institute of Architecture and Design
Lviv Polytechnic National University
roman.s.rubai@lpnu.ua*

Halyna Hnat

*PhD, Associate Professor of the Department of Architectural Design and Engineering
Institute of Architecture and Design
Lviv Polytechnic National University
halyna.o.hnat@lpnu.ua*

INFLUENCE OF SOIL-FREE PRODUCTION SYSTEMS ON ARCHITECTURAL SOLUTIONS OF THE MULTI-STOREY BUILDINGS

Abstract. *The purpose of this article is to determine the potential for the use of hydroponic systems of agricultural production elements in the structure of the building, as well as to determine their impact on the design of residential building facades. **Research methods.** The basis is a decomposition analysis of soilless cultivation systems used in foreign architectural and industrial practice. The method of simulation modeling is used to visualize the components of the systems, which can be hidden and which are possible or impossible to integrate into the building. **Results.** Based on the studied features of soilless systems, spatial schemes have been developed for each case, which make it possible to integrate these growing systems into a building; the impact on the architectural characteristics of the building has been determined. In order to understand the impact of these systems on the architecture and appearance of the building, the author carried out simulation modeling of all system elements, taking into account the scale of the system elements and structural elements of the building. The example of existing facilities with agricultural elements shows how technologies affect the visual image of the building. **Conclusions.** The considered soilless cultivation systems affect facade solutions primarily through the introduction of a large amount of landscaping, which, from an architectural point of view, puts forward certain requirements for their arrangement, shape and colour. As for the specifics of the integration of the systems themselves, their impact on facade solutions is limited to the arrangement of small building forms (terraces, balconies, loggias) and measures to disguise technical equipment. In any case, the introduction of such systems for agricultural production will provide benefits and conveniences that will encourage residents to run such a farm. This will contribute to the development of greenery, urban air purification and microclimate improvement.*

Key words: *Agricultural production, soilless systems, hydroponics, density, residential building, facade.*

Постановка проблеми. На початку ХХ ст. на Землі проживало близько півтора мільярда людей. Згідно з дослідженнями ООН, чисельність населення планети станом на 2022 рік становить більше 7-ми мільярдів. Передбачається, що до кінця поточного століття ця кількість сягне 10-ти мільярдів, що означатиме зростання чисельності населення планети усе-ро за 200 років [1, с. 3–4]. Таке стрімке зростання ніколи раніше не спостерігалось, і це може мати драматичні наслідки, включаючи реальну загрозу виживанню людства. Нинішній демографічний процес дуже відрізняється від усіх попередніх. Основні виклики, пов'язані з завершенням демографічного переходу, включають брак ресурсів, наслідки зміни клімату, забруднення довкілля та старіння населення. Майбутнє кожного регіону залежить від рівня економічного розвитку, демографічної ситуації та географічного розташування [2, с. 279–281]. Сучасні приклади використання хаотично утворених елементів

озеленення й аграрного виробництва класичного типу містять дві основні проблеми: це використання великих мас землі, що ускладнюють конструктивне завдання й ведуть за собою перевитрати ресурсів і коштів, та проблема експлуатації, що в разі недогляду здатна погіршити загальний вигляд споруди [3, с. 30].

Необхідно шукати засоби використання сучасних технологій у споруді, щоб не лише нівелювати наявні недоліки, але й надати таким способам агровиробництва переваг і зручностей, що стимулюватимуть ведення господарства. Автоматизація та правильне технічне планування мінімізує залученість людини для догляду за рослинністю й таким чином захищає проєктоване озеленення від людського чинника [4, с. 29]. Це дасть змогу впевненіше використовувати агровиробництво під час проєктування будівель. А завдяки збільшеній кількості озелених терас, атріумів чи дахів можна збагатити візуальний образ шільної забудови, тим же візуально її розширити,

що позитивно впливатиме на психологічний клімат мешканців [5, с. 20–22].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Тема використання аграрного елементу (а саме вертикальних ферм) у структурі житла базується на дотичних роботах різноманітних наукових галузей: архітектурне проектування, автоматизація, екологія, економіка та продовольча безпека. Формування аграрної структури в житловій забудові розглянули португальські урбаністи й архітектори в науковій праці «Urban Agriculture: The Allotment Gardens as Structures of Urban Sustainability», зокрема Гонсал Р. Т. А. Вільоен. Питання можливості й необхідності використання аграрного виробництва висвітлювали Л. Мужо, С. Сабель-Кошелла, Х. де Зеуш та Н. Беккер. Впровадження технології та її можливості описали Дафні Деспойна Августакі та Георг Худіс у першому розділі «How energy innovation in indoor vertical farming can improve food security, sustainability, and food safety» 2017 року. Економічну доцільність і її переваги дослідив Річард Е. Томсон у роботі «Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey» 2015 року.

Мета публікації – дослідити можливості впровадження сучасних систем агровиробництва в будівлю, а також вплив цих систем на архітектурно-об’ємне вирішення споруди.

Виклад основного матеріалу. Основні аспекти та принципи влаштування аграрного елементу в структурі багатоповерхового житла майже не відрізняються від звичайних засобів створення «зеленої» архітектури. Переважно все, що стосується «класичного» озеленення, справедливе і для вертикального фермерства щодо вітру, сонця, ґрунту, потреби в воді та підживленні. Принциповою різницею для вирощування є забезпечення безпосереднього доступу до рослин, тоді як для елементів озеленення достатньо лише візуального контакту [5, с. 19; 6, с. 38; 7, с. 73].

Із архітектурного погляду, велика кількість озеленення потребує врахування ряду вимог до облаштування фасадів, їх форми й кольору. Структура озеленення сама собою домінантна, досить складна та привертає багато уваги. Тому в разі поєднання з фасадом, інтенсивним у плані оздоблення, форми чи кольору, може мати негативний і перевантажений ефект. Найбільш вдалі архітектурні рішення в таких будівлях зводяться до двох варіантів: або рослини диктує об’ємно-просторове рішення й виступає на передній план, а будівля

при цьому виконує фонову роль, або ж озеленення є елементом доповнення та збагачення загального образу споруди.

Впровадження сучасних технологій насамперед має на меті надати всі можливі інструменти для комфортного ведення агрогосподарства [8, с. 142–143]. Тому важливо встановити, як це позначиться на проектуванні самої споруди та її зовнішньому вигляді.

Для моделювання інтеграції в споруду агроелементу було обрано саме гідропоніку як вид найменш складної технології вертикальних ферм. Адже аквапоніка, аеропоніка та фогпоніка вимагають додаткових заходів і залучення супутніх процесів, у яких мешканці не можуть бути задіяні, а також додаткового устаткування, приміщень та вимог до підтримання клімату.

Загалом *гідропоніка* визначається як вирощування рослин без ґрунту, що їх культивують у резервуарі з багатим на поживні речовини водяним розчином. Розчин транспортується трубками з отворами, в яких рослини вирощують на оптимальній відстані одна до одної. Вода циркулює та розподіляється по трубах у закритій системі, яка відфільтровує і скидає відходи. Волога, що втрачається з рослин, знову відбирається, її обробляють і подають назад у систему. При цьому коріння росте в одному напрямку й не займає багато простору, що дає змогу збільшити щільність вирощування, адже рослині немає потреби самій шукати воду. Основна ідея полягає в тому, що коріння отримує доступ до поживних речовин без використання ґрунту. При впровадженні цієї технології було розглянуто її різновиди, де використовують подвійні контейнери з малою кількістю землі. Контейнери відіграють роль природного бар’єру для захисту кореневища від шкідливих зовнішніх чинників, та працюють як тверда основа для вкорінення рослин, щоб запобігти виривання їх вітром [3, с. 30].

Використання систем гідропоніки має низку конструктивних переваг. Порівняно з нею типові кошики для місцевого вирощування або експлуатована зелена покрівля з шаром ґрунту, товщина якого дає змогу вести агрогосподарство (іл. 1), створює значні навантаження та спричиняє здорожчання конструкції. Додатково існує проблема перенасичення ґрунту вологою, надмірне втрамбування землі, поширення шкідників, які псують рослини. Ґрунтові системи вирощування на поверхнях зумовлюють перепад висот,

а отже, потребу зробити сходи та пандуси, наприклад, на терасах, але унеможливує влаштування їх на балконах. Це відображається на архітектурному вирішенні фасадів. Застосування кошиків із неповною гідропонікою дає змогу більш гнучко використовувати аграрні елементи під час проектування споруд (див. іл. 1) [3, с. 30; 7, с. 349; 9].

Із наявних видів гідропоніки для інтегрування обрано ті, які найкраще можуть бути інтегровані в споруду. Їх вибір зумовила простота в технічному влаштуванні, подальшої експлуатації, незалежність однієї гілки від іншої, а також можливість бути використаними за змішаним принципом, разом із землею або, за потреби, як системи автоматичного поливу. Технологія гідропоніки передбачає дві основні складові: кошики для рослин та головний резервуар із водою, від якого подається живлення. Всі інші компоненти не обов'язкові, вони впроваджені для зручності, автоматизації та ефективності й їх можна замінити аналогами залежно від обставин. Це дає простір для інтегрування системи в будівлю. Найбільш поширені – системи фільтрації та скиду відходів для економії води і її повторного використання; системи підживлення, що, залежно від технології, транспортуються до рослини або змішуються з водою, утворюючи поживний розчин; різні засоби подання розчину: розприскування, крапельний полив, розпорошування. Саме ці елементи та їх комбінація і визначають певний тип гідропоніки [10].

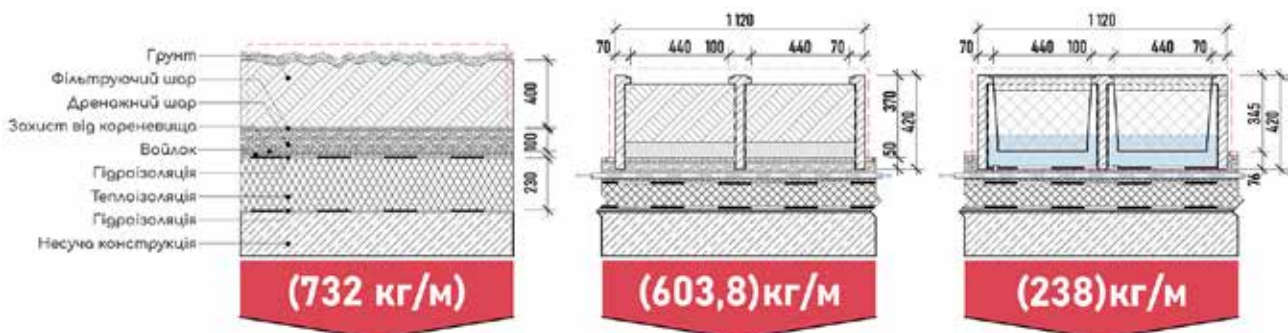
Найперша з розглянутих, це **гідропоніка статичного розчину**, – де рослини вирощують у контейнерах із живильним розчином (іл. 2, а). Якщо розчин не аерується, його рівень підтримується достатньо низьким, щоб коріння знаходилося над розчином і отримувало достатню кількість кисню. Поживний розчин змінюють

або за графіком, або коли його концентрація падає нижче заданого рівня [10, 11].

Друга **зрошувальна гідропоніка** працює як культура статичного розчину, проте з однією вагомою відмінністю: система поливу розташована над рослинами, щоб імітувати ефект дощу й обприскувати листя одночасно з поливом (іл. 2, б). У такому разі вазони, розташовані нижче, отримують воду з інших вазонів, а ґрунт працює природнім фільтром, що дає змогу отриману воду одразу перенаправляти в систему [10, 11].

Остання – це культура в безперервному потоці розчину, де поживна рідина постійно протікає повз коріння (іл. 2, в). Ця система автоматизована у великому резервуарі, де проводять відбір зразків і регулюють температуру, рН і концентрацію поживних речовин. Найпопулярнішим є метод поживної плівки (ПП), за якого потік води з усіма поживними речовинами, рециркулює тонким шаром повз оголену кореневу систему рослин у каналі, верхня частина якого природньо аерується. Як наслідок, до коріння рослин надходить достатня кількість кисню. Система базується на використанні правильного нахилу каналу, швидкості потоку й довжини каналу (див. іл. 2, а, б, в) [11, 12].

Для впровадження такої технології необхідно чітко розуміти, яку функцію вона має виконувати. Сучасні технології дають змогу використовувати гідропоніку як промислове вирощування продукції, локальне вирощування продукції для місцевої реалізації, для власного вжитку і як допоміжну систему для власного хобі та підтримки озеленення [8, с. 142; 13, с. 130]. Це дасть змогу концентруватися на основних характеристиках і заходах, які уможливають їхнє забезпечення. Оскільки ми розглядаємо інтегрування



Іл. 1. Поперечний перетин конструкцій: а – експлуатована зелена покрівля для агровиробництва; б – експлуатована покрівля з кошиками для ведення агровиробництва; в – експлуатована покрівля з гідропонічною системою. [Ілюстрація Р. Рубая]

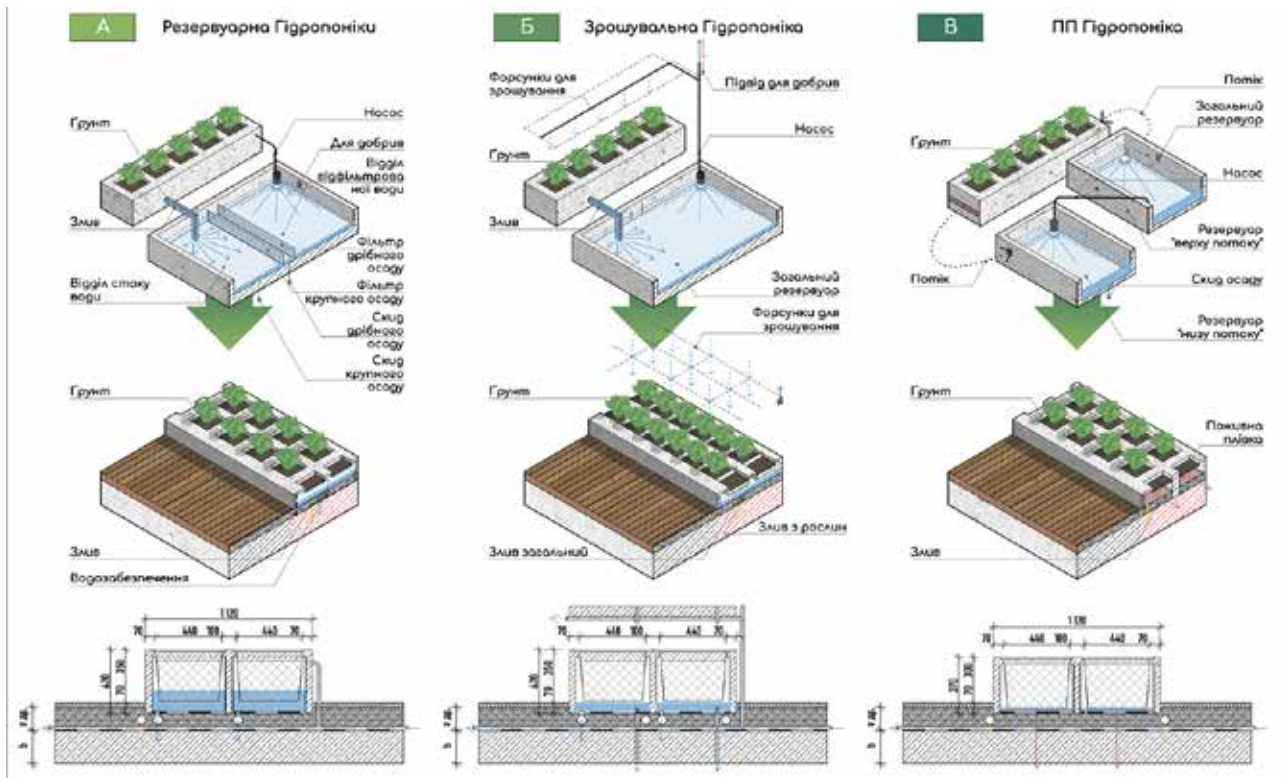
в житлову будівлю, тому проектування таких систем зосереджене саме на забезпеченні всіма інструментами для комфортного ведення господарства й підтримки візуального образу споруди. Для цього в межах дослідження всі складові системи відмасштабовані й перенесені до архітектурних елементів споруди, що дало змогу встановити, які елементи системи можливо пристосувати, які замінити, а чим можна знехтувати.

Для обраних типів гідропоніки насамперед необхідно забезпечити правильне функціонування двох основних складових: головного резервуару та кошиків для рослин. Обидві складові без додаткових заходів інтегруються у структуру споруди. Кошики можуть бути різної форми та розмірів, мобільні або стаціонарні, вмонтовані в балконний простір, стінові, або розміщені окремо, що забезпечує гнучкість під час проектування. Основний резервуар має бути пропорційний кількості приєднаних до нього рослин, розташований вище за них, щоб за допомогою гідравлічного тиску вода надходила до всіх агроелементів. Інакше підживлення рослин залежатиме від сторонніх чинників, та потребуватиме залучення сторонніх механізмів [4, с. 25].

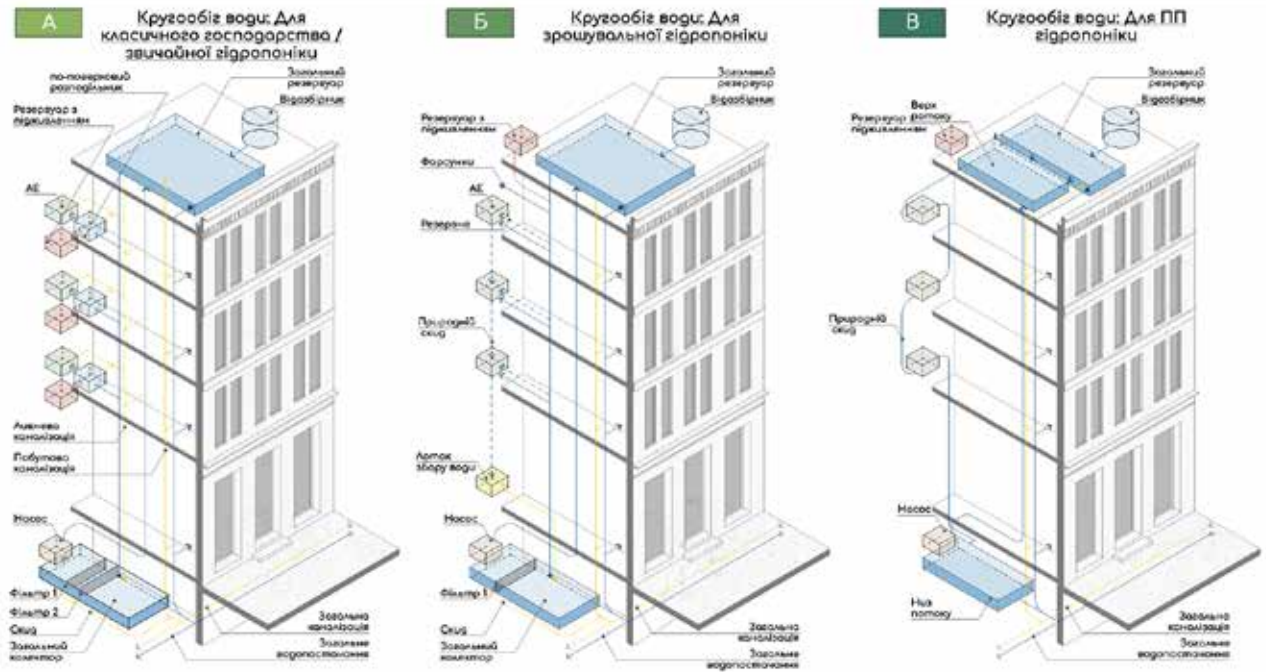
Для гідропоніки статичного розчину (іл. 3, а) в структурі споруди необхідно впроваджувати додаткові проміжні резервуари, вони можуть бути як розташовані на кожному поверсі, так і на певній частині агрогосподарства. Це зроблено для того, щоб розділити в рослинах одну гілку від іншої, таким чином забезпечивши їм окремішність. До цього резервуара приєднують додаткову ємкість із підживленням. Позаяк системи вже розділені, це дає змогу оптимальніше використовувати розчини для підживлення рослин залежно від їх біохімічного складу [11, 13].

Для зрошувальної гідропоніки (іл. 3, б) важливим є розташування агроелементів один під одним або з невеликим зміщенням. Вертикально між такими елементами є направляючі у вигляді ланцюгів, полімерних ниток, трубок тощо. Це проектують для того, щоб забезпечити пряме стікання з одного елемента на інший, завадити неконтрольованому розприскуванню води. Опрыскувачі з підживленням додатково розташовуються над кожною групою рослин, щоб незалежно від поверху забезпечити однакову кількість поживних речовин [11, 13].

Гідропоніка поживної плівки (іл. 3, в) має забезпечувати безперервний потік під



Іл. 2. Принципи роботи технології: а – гідропоніка статичного розчину; б – зрошувальна гідропоніка; в – гідропоніка ПП. [Ілюстрація Р. Рубая]

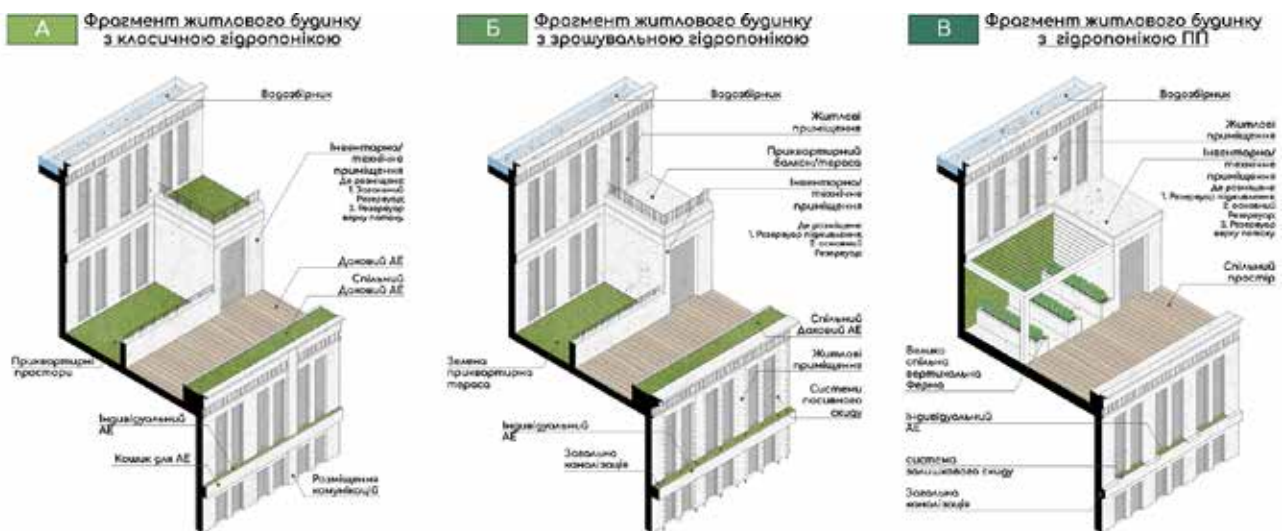


Іл. 3. Принцип роботи систем у будівлі: *а* – гідропоніка статичного розчину; *б* – зрошувальна гідропоніка; *в* – гідропоніка ПП. [Ілюстрація Р. Рубая]

правильним ухилом, тому основний резервуар тут поділений на три частини: резервний резервуар, резервуар «верх потоку» та резервуар «низ потоку». До верху потоку під'єднана ємність зі щільним поживним розчином, із якого й утворюється плівка. Вода циркулює замкнутою системою й повертається назад. Із резервного резервуара надходить нова вода, щоб забезпечити рівномірний потік і наситити розчин поживними речовинами [11, 13].

У всіх трьох випадках речовина надходить до нижнього резервуару, де фільтрується, натомість осад стікає в каналізацію. Звідси вода повертається до основного резервуару й далі циркулює системою (див. іл. 3, *а*, *б*, *в*).

Вплив систем гідропоніки на архітектурно-просторове вирішення будівлі вирішується на етапі саме планувальних заходів. Необхідно передбачати місця для розташування резервуарів і систем поливу, забезпечити до них



Іл. 4. Вплив технологій на архітектурно-планувальні особливості споруди та фасад: *а* – гідропоніка статичного розчину; *б* – зрошувальна гідропоніка; *в* – гідропоніка ПП. [Ілюстрація Р. Рубая]



Іл. 5. Приклади облаштування фасадів: зліва – Edison Lite Apartment Building [14]; по центру – The Foam of Waves [15]; справа – маркет «Whole foods market» [16]

доступ. Для кожної перехідної ланки необхідно передбачити ревізію та захистити від небажаного втручання. Проте не кожна з гідропонік висуває обмеження стосовно зовнішнього вигляду будівлі. На вигляд фасадів ці системи впливають насамперед через привнесення великої кількості озеленення, що саме собою є досить вимогливим до форми будівлі.

Гідропоніка статичного розчину є найпростішою у впровадженні й від того найбільш гнучкою, відповідно, вона може не впливати на візуальне вирішення споруди. Приклад – Edison Lite Apartment Building (іл. 4, а; іл. 5).

Зрошувальна гідропоніка висуває чіткі вимоги до архітектури виступаючих частин споруди. Це балкони, лоджії, накриття, дахи. Їх розташування не має утруднювати роботу системи, ба більше, не перешкоджати взагалі. Приклад – The Foam of Waves, Франція (див. іл. 4, б; іл. 5).

Гідропоніка ПП є найбільш вибагливою, адже принцип її функціонування якраз базується на влаштуванні правильного нахилу потоку, це не завжди можна зробити в площині фасадів, що накладає певні обмеження. Найкраще вона працює в умовах цільних відкритих терас, просторих дахів. Приклад – «Whole foods market» в Брукліні, Нью-Йорк (див. іл. 4, в; іл. 5).

Головні висновки й перспективи використання результатів дослідження.

На основі аналізу наукових джерел, а також проведених досліджень наявних прикладів упровадження в споруду елементів аграрного

виробництва, виокремлено три типи гідропонічних систем, що здатні найпростіше інтегруватися в житлову будівлю, їх функціональні особливості та як вони впливають на зовнішній вигляд споруди. Загалом ці системи висувають більше вимог до планування, зокрема до поверхового розміщення й правильної організації процесів, щоб захистити їх від небажаного втручання мешканців і впливу довкілля. На фасадні вирішення ці системи впливають насамперед через привнесення великої кількості озеленення, що з архітектурного погляду висуває певні вимоги до облаштування фасадів, їх форми й кольору. Стосовно особливостей самих систем, то їхній вплив є досить незначним і зводиться до впорядкування малих форм споруди: терас, балконів, лоджій.

Результати цього дослідження, а також моделі інтеграції систем безґрунтового вирощування будуть корисними для архітекторів-практиків та проєктантів і можуть бути використані як у новому будівництві, так і під час реновації старих будівель. Наведені імітаційні моделі впливу технології на архітектурно-планувальні характеристики наочно демонструють можливості влаштування вертикального озеленення та способи приховування деяких елементів системи, щоб зменшити втручання в зовнішній вигляд споруди, а схеми принципу роботи – специфіку технологічних вирішень інтеграції систем зрошування. Ці результати можуть бути корисними також у навчальному процесі, доповнюючи лекційний курс спеціальності 191.

Список використаних джерел

1. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects 2022: Summary of Results. 2020. UN DESA/POP/2022/TR/NO.3. URL: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf (Дата звернення: 13.03.2024.)
2. Vial J., Barrabys C., Moreno C. The Challenges of the End of the Demographic Transition. There's a future. Visions for a better world. 2012. P. 279–309. URL: <https://www.bbvaopenmind.com/>

wp-content/uploads/2013/01/BBVA-OpenMind-Book-There-is-a-Future_Visions-for-a-Better-World-1.pdf

3. Рубай, Р., Гнат, Г., & Петренко, Ю.. Елементи сільськогосподарського озеленення в структурі житлових будівель та їх вплив на проектні рішення. Теоретичні та наукові засади досліджень в інженерії: колективна монографія / Бережук О., Лемешев М., Стадніцький М. (ред.), Бостон: Primedia eLaunch. 2020. pp-28–39. DOI: 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.1
4. Avgoustaki D. D., Xydis G. How energy innovation in indoor vertical farming can improve food security, sustainability, and food safety?. *Advances in Food Security and Sustainability*. 2020. P. 1–51. URL: <https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2020.08.002> (Дата звернення: 13.03.2024.).
5. Мудра А., Гнат Г.. Роль міського господарства в створенні безпечного простору. Теоретичні та наукові засади досліджень в інженерії: колективна монографія / Бережук О., Лемешев М., Стадніцький М. (ред.), Бостон: Primedia eLaunch. 2020. С. 28–39. DOI: 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.1
6. Рубай Р. С., Гнат Г. О. Містобудівна обумовленість та особливості застосування елементів агропромисловості при формуванні нових житлових комплексів. Містобудування та територіальне планування : науково-технічний збірник. 2022. Вип. № 80. С. 347–358. DOI: 10.32347/2076-815x.2022.80.347-358
7. *Growing Cities, Growing Food: Urban Agriculture on the Policy Agenda*. Gьndel, S. [et al]. Feldafing, Germany: Deutsche Stiftung für internationale Entwicklung, 2000. 531 с.
8. Vertical farm. New architectures and cities from the forms of agriculture / Basso, Sara et al. *AGATHYN*. 2023. No. 13. P. 141-152. DOI: 10.19229/2464-9309/13122023
9. Simon M. The Hydroponic, Robotic Future of Farming in Greenhouses. *WIRED*. 2017. URL: <https://www.wired.com/story/the-hydroponic-robotic-future-of-farming-in-greenhouses-at-iron-ox> (Дата звернення: 13.03.2024.).
10. Ardill N. *Growing Food in Cities*. Cham: Springer International Publishing, 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-98475-5> (Дата звернення: 13.03.2024.).
11. James E. Rakocy¹, Michael P. Masser² and Thomas M. Losordo. *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture*. SRAC Publication. 2006. No. 454 URL: https://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_454_recirculating_aquaculture_tank_production_systems_-_aquaponics_-_integrating_fish_and_plant_culture.pdf (Дата звернення: 13.03.2024.)
12. Hygnstrom, Jan R., Skipton, Sharon O., Woldt, Wayne. "Residential Onsite Wastewater Treatment: Constructed Wetlands for Effluent Treatment". 2008. URL: <https://web.archive.org/web/20140714132500/http://www.ianrpubs.unl.edu/live/g1474/build/g1474.pdf> (Дата звернення: 13.03.2024.)
13. Ashish. How to build an indoor Aquaponics system. *Agriculture land USA*. 2023. URL: <https://www.agriculturelandusa.com/2023/12/Aquaponics-system.html> (Дата звернення: 13.03.2024.).
14. Pintos P. Edison Lite Apartment Building / Manuelle Gautrand Architecture. *ArchDaily*. URL: <https://www.archdaily.com/951775/edison-lite-apartment-building-manuelle-gautrand-architecture> (date of access: 20.06.2024).
15. The foam of waves, first prize winner – vincent callebaut architectures. Vincent callebaut architectures. URL: https://vincent.callebaut.org/zoom/projects/190305_aixlesbains/new_pl001 (Дата звернення: 13.03.2024.).
16. Our Farms. Gotham Greens. URL: <https://www.gothamgreens.com/our-farms/> (Дата звернення: 13.03.2024.).

References

1. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). *World Population. Prospects 2022: Summary of Results*. UN DESA/POP/2022/TR/NO.3. https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf (date of access: 13.03.2024).
2. Vial, J., Barrabñs, C., & Moreno, C. (2012). The Challenges of the End of the Demographic Transition. *There's a future. Visions for a better world*, 279–309. https://www.bbvaopenmind.com/wp-content/uploads/2013/01/BBVA-OpenMind-Book-There-is-a-Future_Visions-for-a-Better-World-1.pdf (Original work published 2012 p.)
3. Rubai, R., Hnat, H., & Petrenko, Y. (2022). *Elementy sil's'kohospodars'koho ozelenennya v strukturi zhytlovykh budivel' ta yikh vplyv na proektni rishennya* [Elements of agricultural landscaping in the structure of residential buildings and their impact on design decisions]. O. Beresjuk, M. Lemeschew, & M. Stadnijschuk (Eds.), *Theoretical and scientific foundations in research in Engineering: collective monograph* (P-28–39). Boston: Primedia eLaunch. DOI: 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.1 [in Ukrainian]

4. Avgoustaki, D. D., & Xydis, G. (2020). How energy innovation in indoor vertical farming can improve food security, sustainability, and food safety? In *Advances in Food Security and Sustainability* (pp. 1–51). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2020.08.002>
5. Mudra, A., & Hnat, H. (2022). Rol' mis'koho hospodarstva v stvorenni bezpechnoho prostoru [The role of urban farming for creating defensible space]. Beresjuk, M. Lemeschew, & M. Stadnijschuk (Etc.), *Theoretical and scientific foundations in research in Engineering: collective monograph* (pp. 28–39). Boston: Primedia eLaunch. DOI: 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.1 [in Ukrainian].
6. Rubai, R., & Hnat, H. (2022). Mistobudivna obumovlenist' ta osoblyvosti zastosuvannya elementiv ahrovyrobnytstva pry formuvanni novykh zhytlovykh kompleksiv [Urban planning conditionality and features of application of elements of agricultural production at formation of new housing estates]. *Urban Development and Spatial Planning*, (80), 347–358. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.80.347-358> [in Ukrainian]
7. Gьndel, S., Dubbeling, M., Zeeuw, H.D., Bakker, N., & Sabel-Koschella, U. (2000). *Growing Cities, Growing Food: Urban Agriculture on the Policy Agenda*.
8. Basso, Sara & Bisiani, Thomas & Martorana, Pierluigi & Venudo, Adriano. (2023). Vertical farm. New architectures and cities from the forms of agriculture. 141-152. DOI:10.19229/2464-9309/13122023.
9. Simon, M. (2017, November 20). The Hydroponic, Robotic Future of Farming in Greenhouses. WIRED. <https://www.wired.com/story/the-hydroponic-robotic-future-of-farming-in-greenhouses-at-iron-ox/> (date of access: 13.03.2024).
10. Ardill, N. (2022). *Growing Food in Cities*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-98475-5>
11. Rakocy, J.E. & Masser, Michael & Losordo, Thomas. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating fish and plant culture. SRAC Publication. 454. https://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_454_recirculating_aquaculture_tank_production_systems_-_aquaponics_-_integrating_fish_and_plant_culture.pdf (date of access: 13.03.2024).
12. Hygnstrom, Jan R., Skipton, Sharon O., Woldt, Wayne. (2008). "Residential Onsite Wastewater Treatment: Constructed Wetlands for Effluent Treatment" <https://extensionpubs.unl.edu/publication/g1474/pdf/view/g1474-2008.pdf> (date of access: 13.03.2024).
13. Ashish. (2023). How to build an indoor Aquaponics system. Agriculture land usa. URL: <https://www.agriculturelandusa.com/2023/12/Aquaponics-system.html> (date of access: 13.03.2024).
14. Pintos P. (2022, December 27). Edison Lite Apartment Building / Manuelle Gautrand Architecture, 2022. ArchDaily. URL: <https://www.archdaily.com/951775/edison-lite-apartment-building-manuelle-gautrand-architecture> (date of access: 13.03.2024).
15. The foam of waves, first prize winner – vincent callebaut architectures. (n.d.). Vincent callebaut architectures. https://vincent.callebaut.org/zoom/projects/190305_axilesbains/new_pl001 (date of access: 13.03.2024).
16. Our Farms. (n.d.). Gotham Greens. <https://www.gothamgreens.com/our-farms/> (date of access: 13.03.2024).

Подано до редакції 06.05.2024