

## АРХІТЕКТУРА БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.66.135-149>

УДК 725.42+72.01

**Дорохіна Ганна Ігорівна,**  
*кандидат архітектури, доцент кафедри теорії архітектури*  
*Київський національний університет будівництва і архітектури*  
[dorokhina.gi@knuba.edu.ua](mailto:dorokhina.gi@knuba.edu.ua)  
<http://orcid.org/0000-0003-2348-1743>

**Жданова Ярина Ігорівна,**  
*аспірантка кафедри теорії архітектури*  
*Київський національний університет будівництва і архітектури*  
[zhdanova\\_yi@knuba.edu.ua](mailto:zhdanova_yi@knuba.edu.ua)  
<http://orcid.org/0000-0002-9330-6679>

### ПРИНЦИПИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АРХІТЕКТУРНО-ПРОСТОРОВОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ВЕРТИКАЛЬНИХ ФЕРМ

**Анотація:** у роботі висвітлюється використання групи принципів економічної ефективності при будівництві та архітектурно-просторовому плануванні вертикальних ферм. Наголошується, що хоч і вертикальне фермерство є більш ефективним та стійким підходом до агропромисловості, така методика виробництва вимагає значного капіталу для будівництва і функціонування. Задля вирішення даних проблем, в статті наведені методики впровадження архітектурних рішень, що здатні підвищити економічну доцільність даних об'єктів.

Авторами детально розглянуто такі принципи, як принцип зовнішнього доповнення, принцип економії та збереження ресурсів, а також принцип економії часу та простору. Відповідні прийоми даних принципів було адаптовано до особливостей вертикальних ферм та наголошено їх взаємозв'язок з архітектурними параметрами будівлі, а також їх вплив на стійкість і економічну доцільність об'єкта.

**Ключові слова:** вертикальні ферми; економічна ефективність; агропромислова архітектура; енергоефективність.

**Постановка проблеми.** Стрімко зростаюче населення, яке на сьогоднішній час вже перетнуло позначку у 8 млрд. осіб [1], а також урбанізація та локалізація соціальних центрів у містобудівних структурах встановлюють певні вимоги до сфери агропромислової індустрії. Серед них – швидке та надійне забезпечення

якісними харчовими ресурсам та переміщення центрів виробництва безпосередньо до, або поблизу міського середовища [2]. Проте традиційні методи сільського виробництва не можуть повністю відповідати цим вимогами і трохи відстають від загальних глобальних тенденцій, що швидко розвиваються. Це спричинено тим, що подібні методи харчового виробництва вимагають значної кількості площі для вирощування, легко піддаються впливу кліматичних та біо-чинників, а також мають негативний екологічний вплив на оточуюче середовище та ґрунт [3, 4]. В свою чергу, метод вертикального фермерства має в собі потенціал для забезпечення усіх сучасних вимог завдяки високотехнологічному виробництву та відсутності вище зазначених вад.

Окрім іншого слід зазначити, що під час ведення бойових дій на території України значна частина земельних ресурсів виявилась недоступною на декілька років для вирощування продукції безпосередньо через механічні пошкодження, забруднення, а також через мінування значних територій. В цьому випадку створення вертикальних фермерських господарств є засобом, в тому числі, підвищення стабільності функціонування агропромисловості та захисту працівників галузі від роботи в небезпечних умовах на відкритих територіях, що вже звільнені від окупації, проте потребують декількох років на розмінування.

Проте не дивлячись на всі позитивні сторони процесу вертикального вирощування сільськогосподарської продукції, на сьогоднішній день, головним недоліком вертикальних ферм є висока вартість їх будівництва та функціонування [5], що спричиняє їх економічну нестабільність. З точки зору архітектора, часткове вирішення даної проблеми можливо забезпечити завдяки відповідним архітектурно-планувальним рішенням. А саме, застосовуючи групу принципів економічної ефективності, яка включає в себе принцип зовнішнього доповнення, принцип економії та збереження ресурсів і принцип економії часу і простору.

**Метою публікації** є адаптація групи принципів економічної ефективності для вертикальних ферм і виведення відповідних прийомів архітектурно-планувальної організації, що здатні підвищити економічну ефективність даних об'єктів.

**Основна частина.** Перш за все, будь-яка система, включаючи структуру вертикальних ферм, має бути підпорядкована дії принципу зовнішнього доповнення, який був вперше сформований С. Біром [6]. Відповідно до даного принципу, будь-яка закрыта та ізольована система приречена на поступове самознищення, тому для ефективного функціонування важливо передбачити відкритість та адаптивність системи вертикальних ферм. Шляхом досягнення цієї цілі є певний перелік засад, яких необхідно дотримуватись при проєктуванні будь-яких типів об'єктів, а саме:

- багатофункціональності – можливості інтеграції функціональних зон різного призначення;
- відкритості системи для сторонніх відвідувачів – інтеграція загальнодоступних зон різного призначення;
- наявність гнучкої планувальної структури (каркасна або великопрольотна конструктивна схема) та розосередження таких інженерних мереж, як водопостачання та водовідведення, системи подачі ресурсів для рослин (вода, поживні речовини та вуглекислий газ), опалення, вентиляції тощо.



*Мал. 1.* Приклад багатоповерхової міської вертикальної ферми, що має багатопрольотну оболонкову конструктивну систему з ядром, а також містить прибудовані зони загальнодоступного користування (рекреаційні, комерційні та освітні приміщення) із доступом до експозиційної частини ферми.

Дані рішення дозволяють адаптувати об'єкт до змін, як і у зовнішній соціально-економічній та містобудівній структурі, так і у внутрішній системі організації та управління.

Наприклад, місце розташування об'єкту впливає на його додаткове функціональне призначення. При розміщенні вертикальної ферми в соціальних центрах міста доцільно інтегрувати рекреаційні, громадські та комерційні зони. Такими зонами можуть бути кафе та супермаркети з продукцією виробництва, музеї, виставки, зелені зони та ін. В такому випадку відкритість системи забезпечує її стійкість завдяки залученню додаткового капіталу (з комерційних надходжень) та відіграванню значної соціально-громадської ролі у місті.

Окрім цього, внутрішні зміни системи також можуть впливати на архітектурно-планувальні рішення будівлі. Наприклад, зміна чи поява нового типу продукції (через мінливість попиту на ринку) або технології вирощування

(модернізація виробництва, вирощування нових рослин) створюють необхідність в заміні або додатковому розташуванні обладнання, що впливає на просторове планування та на кількість необхідних приміщення для виробничої площі. Дані чинники є доволі значним для архітектурної структури вертикальної ферми, проте вони можуть бути швидко втіленні завдяки передбаченому відкритому плануванню та розосередженому інженерному забезпеченню.

Наступним важливим принципом групи економічної ефективності є принцип економії та збереження ресурсів, що полягає у передбаченні відповідних рішень при проектуванні, будівництві та оперуванні вертикальної ферми, а саме:

- варіативність проектування та використання методики оцінки якості проєктних рішень за різноманітними показниками;
- використання відновлювальних ресурсів для забезпечення потреб будівлі та виробництва;
- використання енергоефективних архітектурних методик.

Варіативність проектування полягає у розробці декількох архітектурно-функціональних моделей, які мають в собі значні відмінності за різними рішеннями. Наприклад, висотність будівлі, використання матеріалів, формоутворення та конструктивні рішення можуть відрізнитись у різних моделях. Таким чином можливо обрати найбільш економічно доцільну модель (або синтез декількох) та вже згодом більш детально адаптувати архітектурно-конструктивні рішення відповідно до середовищних умов та технічного завдання. Порівняння моделей виконуються за техніко-економічними показниками, до яких відносяться такі параметри як: поверховість, площа ділянки та забудови, загальна і корисна площа (та коефіцієнт ефективності використання площі), висота поверху, загальна висота будівлі, будівельний об'єм та ін. Також необхідно враховувати різницю в кількості необхідних матеріалів, їх вартості закупівлі та встановлення як і для несучих конструктивних рішень (фундамент, колони, несучі стіни, перекриття, вертикальні комунікації та покрівля), так і для архітектурно-конструктивних та декоративних рішень (тепло- та гідроізоляція, стіни і перегородки, скління, панелі, фарба і т.д). Окрім цього, важливо порівнювати загальну площу скління і зовнішнього огороження, які впливають на тепловтрати будівлі.

Оцінка якості проєктних та будівельних рішень проводиться за різноманітними методиками, серед яких варто згадати, функціонально-вартісний аналіз (ФВА), аналіз життєвого циклу (LCA) та аналіз вартості життєвого циклу (LCC). ФВА включає в себе оцінку вартості функціональних рішень та аналіз якості таких властивостей, як функціональність (ефективність використання площі та відповідність будівлі функціональному призначенню), санітарно-

гігієнічні умови, надійність і довговічність, технологічність та естетичність [7]. LCA – це багатоступенева процедура, що аналізує стійкість рішень і визначає соціальне значення об'єкту та його вплив на навколишнє середовище протягом усього терміну експлуатації [8]. В свою чергу, LCC визначає усі необхідні витрати, залучені на різних стадіях життєвого циклу системи (проектування, будівництво, функціонування) [8].

Окрім вище зазначених методів порівняння та оцінки якості проєктних рішень, також варто наголосити, що архітектурні особливості об'єкту мають відповідати засадам кваліметрії [9]. Відповідно, варто використовувати такі оперативні критерії оцінки як вартісна оцінка за укрупненими показниками, переміщення, транзитна площа, довжина фронту меблів, зонування та провітрювання [9 – 11]. Дані засади вже детально дослідженні для проєктування жилої та громадської архітектури [9 – 12], тому їх необхідно адаптувати відповідно до особливостей вертикальних ферм.

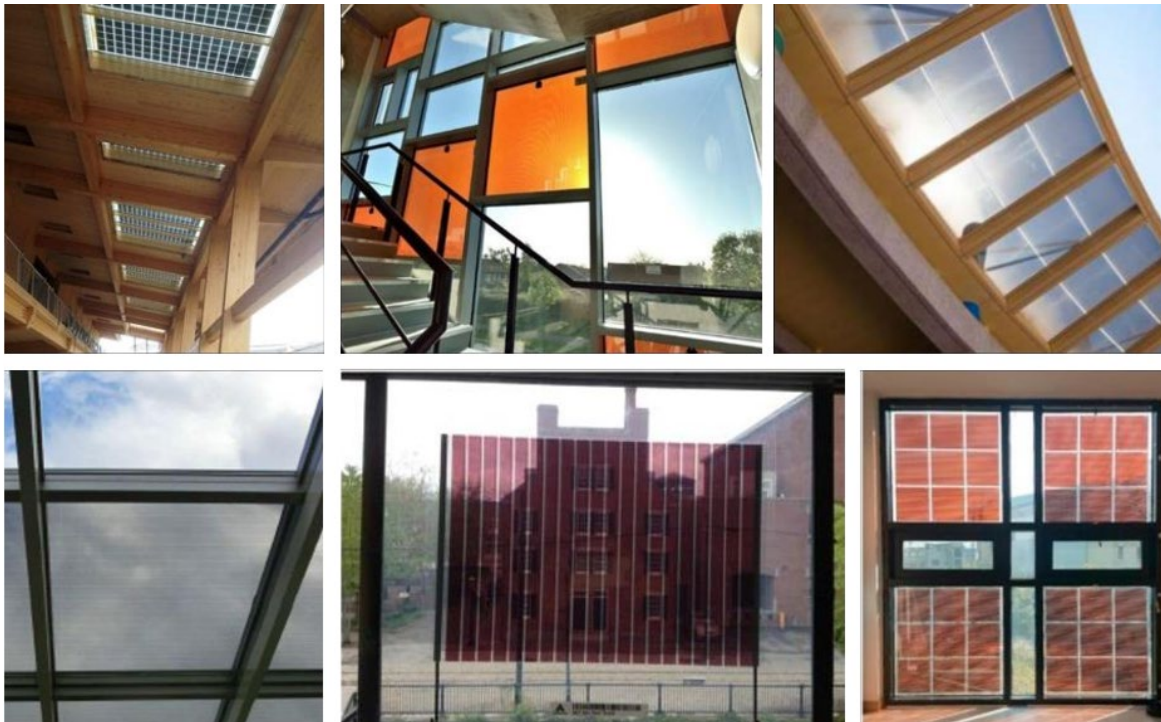
Наприклад, показник переміщення має бути розраховуваний, як і для працівників, так і для продукції згідно з відповідними потоками. При цьому має бути враховано: кількість людей/кг продукції, що користуються/проходять маршрутом; кількість разів, якою використовувався маршрут за певний проміжок часу; довжина маршруту. Наступний показник – довжина фронту меблів має бути розрахована, як і для складських приміщень (беручи за модуль стелаж визначеного розміру), так і для виробничих зон (беручи за основу контейнер для вирощування продукції, розміри якого залежать від технології виробництва). В свою чергу, зонування має базуватись на принципі збереження часу та простору (який буде розглянуто нижче), а також відповідати будівельним і санітарно-гігієнічним нормам та функціональним засадам щодо проєктування службових та виробничих приміщень.

У вертикальних фермах важливим аспектом є інтеграція відновлювальних джерел, які можуть забезпечити ресурсами виробництво та будівлю в цілому. До таких ресурсів належать: електро- та теплоенергія, вода, поживні речовини та вуглекислий газ [5]. На сьогоднішній день існує різноманітна кількість подібних відновлювальних джерел, а остаточний їх вибір залежить від кліматичних та середовищних умов, а також від особливостей технологічного процесу та матеріальних можливостей проєкту. Також важливим аспектом є вплив відновлювальних джерел та методів їх інтеграції на архітектурні параметри будівлі.

Наприклад, розташування вітрогенераторів впливає на архітектурний образ проєкту та формоутворення будівлі. Вони можуть розташовуватись: навколо будівлі та являти собою елемент благоустрою території; уздовж високого фасаду від основи до верху (для підкреслення вертикальності споруди); на покрівлі (як

завершальний акцент); безпосередньо між блоками поверхів, створюючи додаткові отвори, що розчленовує будівлю і робить її "легше". Сама форма будівлі також може являти собою дефлектор для посилення тяги та направлення повітряних потоків до турбін [13].

Фотоелектричні перетворювачі (ФЕП) зазвичай розташовуються на покрівлі будівлі або на добре освітлених ділянках прилеглих територій і вони також впливають на загальний архітектурний образ об'єкту. Окрім цього, сучасні сонячні панелі можуть бути інтегровані у фасадні системи, в тому числі і як напівпрозорі конструкції. Такі системи мають різні кольорові рішення [14], що може використовуватись для дизайну фасаду. Для вертикальних ферм рекомендовано застосовувати фотоелектричне вакуумне скління (рис. 2), що діє як енергоефективна теплоізоляція [15] для зменшення тепловтрати будівлі і підтримки сталості внутрішнього середовища.



Мал. 2. Приклади фасадних напівпрозорих конструкцій з використанням фотоелектричного вакуумного скління [15].

Такі зовнішні конструкції доцільно використовувати для огороження виробничої зони, що має орієнтуватись на світлову сторону. Даний прийом забезпечує використання природного освітлення для економії електроенергії, необхідної для штучного освітлення, що є одним з найзначніших пунктів витрат в даних типах підприємств. Варто зазначити, що світлопропускна здатність такої фасадної системи складає 50,8% [15], тому для забезпечення належних інсоляційних вимог можливо використовувати комбінацію звичайного

вакуумного скління з інтегрованими ФЕП панелями, що також створює тіньове покриття для захисту будівлі і рослин від перегріву.

Окрім вище зазначених відновлювальних джерел ресурсів також варто виділити декілька характерних саме для вертикальних ферм, серед них: біогазовий реактор, що переробляє органічні відходи виробництва на електроенергію (в даному процесі також виробляється CO<sub>2</sub> та водний залишок, які згодом направляються на потреби рослин) [5], екстрактор нутрієнтів, що використовується для видобутку поживних речовин з біо-субстрату [5] та колектор дощової води для збору вологих опадів навколишнього середовища. В даному випадку параметри обладнання та технологічні особливості процесів впливають на конфігурацію приміщень і їх такі геометричні характеристики, як форму, площу, ширину, глибину та висоту.

Тож, завдяки даним технологіям можливо забезпечувати ферму не тільки електроенергією, а і ресурсами, необхідними для виробництва рослинної продукції. Усі вище-розглянуті методики мають в собі потенціал створити стійке виробництво закритого циклу з переробкою відходів та залученням відновлювальних джерел [16], що і є ідеальним втіленням принципу економії та збереження ресурсів для вертикальних ферм.

Окрім інтеграції відновлювальних джерел, варто також застосовувати енергоефективні архітектурні методики для запобігання тепловтрат будівлі, що в свою чергу зменшує витрати на опалення та охолодження. До таких методик відносяться:

- орієнтація довгого фасаду на освітлений бік, а короткого – на північний;
- мінімізація площі огорожувальних конструкцій і компактність форми (співвідношення сторін близьке до кубу);
- теплове зонування;
- використання облицювальних матеріалів, текстур та кольорів залежно від їх затребуваності (для стимуляції або запобігання теплопоглинанню);
- використання енергоефективної теплоізоляції та мінімізація скління і отворів на північному фасаді.

Такі прийоми не тільки зменшують площу зіткнення із зовнішнім середовищем, а ефективно розподіляють та акумулюють тепло по всьому об'єму будівлі. З цією ж метою, а також щоб уникнути завихрінь та надмірної швидкості вітру, будівля має оптимізувати розподіл повітряних потоків. Цього досягають за допомогою закруглення кутів, розміщення довгих фасадів уздовж переважаючих вітрів та отворів – перпендикулярно ним.

Безумовно, час та простір є особливо важливими ресурсами при проектуванні, проте через надзвичайну цінність та визначні особливості, їх варто

винести в окремий принцип – принцип економії часу та простору. В його основі лежить мінімізація зусиль та зменшення шляху для переміщення об'єктів та суб'єктів в межах системи, що в свою чергу мінімізує використання простору. У вертикальних фермах основним об'єктами системи є безпосередньо сама продукція та ресурси (необхідні для забезпечення виробництва), а суб'єктами – працівники. Саме на них має бути зосереджено оптимізацію рішень щодо функціонально-планувальної структури. Вертикальні ферми – це індустріальні будівлі, тому задля розробки необхідних рішень на основі зазначеного принципу необхідно враховувати зв'язок шляхів переміщення об'єктів та суб'єктів із стадіями виробництва, до яких належать: 1. пророщування продукції → 2. вирощування та збір урожаю → 3. підготовка, сортування та пакування (після сортування врожай розподіляється між фазами 4 та 5) → 4. тимчасове зберігання та відправка готової продукції → 5. переробка біо-відходів [5].

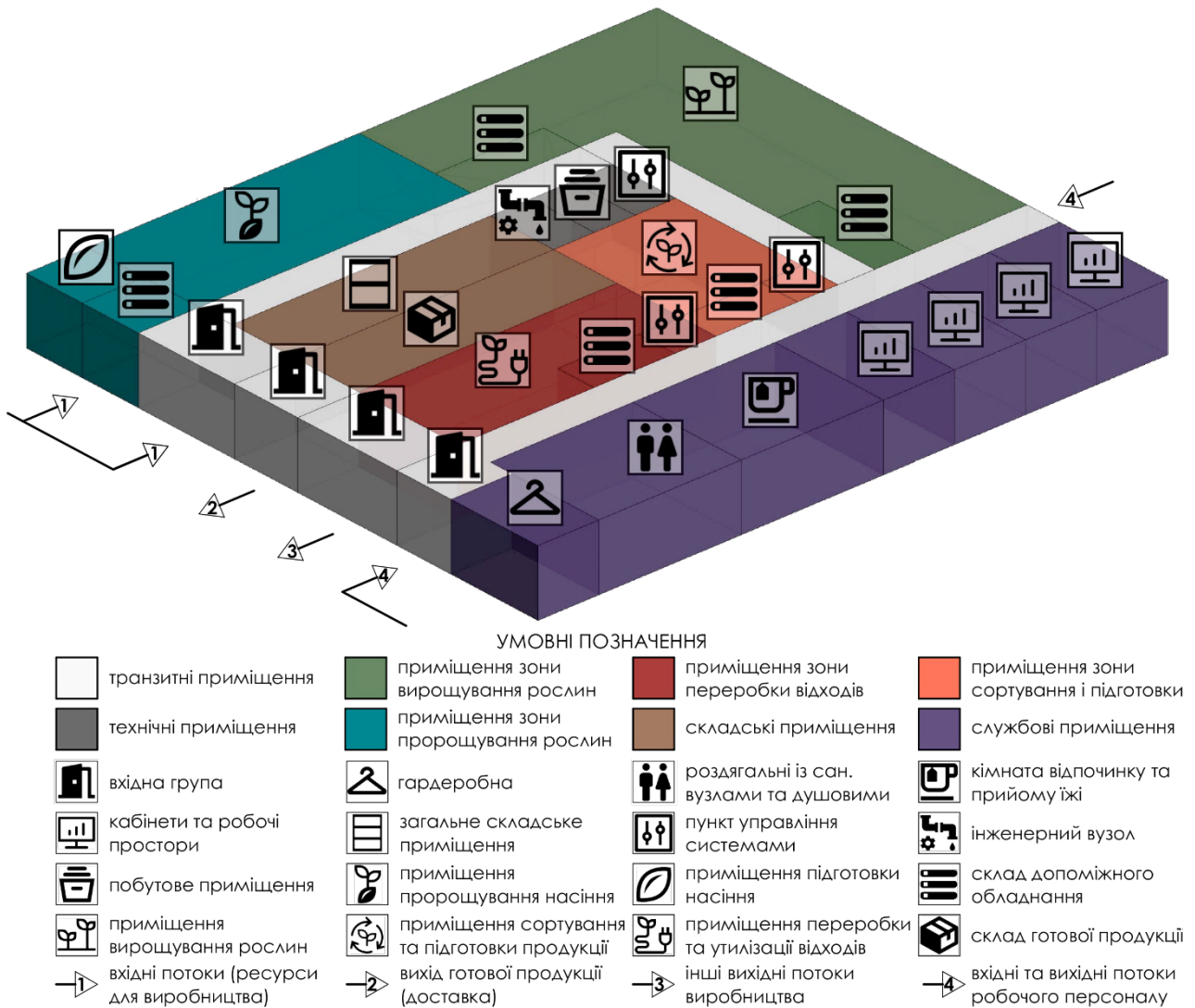
Організація шляхів переміщення органічної продукції залежить від типу просторово-об'ємної структури будівлі, серед якого варто виділити два основних – вертикальний та горизонтальний типи.

При горизонтальній структурі будівлі зони виробництва блокуються за лінійною (конвеєрною) або циклічною схемою. Функціональне зонування приміщень відбувається відповідно до послідовності технологічного процесу та шляхів переміщення продукції, ресурсів та співробітників. Важливим аспектом є розподілення вхідних та вихідних потоків системи (облаштування окремих входів у будівлю та відповідних побутових зон на ділянці). До вхідних об'єктів належать необхідні техніка та обладнання для виробництва та для самої будівлі, ресурси для вирощування рослин (добрива, поживні речовини, субстрат) та насіння. До вихідних потоків відносяться безпосередньо сам готовий та упакований врожай та відходи виробництва (проте, як уже було наголошено, у вертикальній фермі можливо організувати цикл, де відходи будуть утилізовані в межах внутрішньої системи). Внутрішнє переміщення продуктів системи може відбуватись, як і за допомогою механічного транспортеру (доцільно при лінійній схемі), так і за допомогою спеціальних вантажних візків.

Окремо варто влаштувати вхід для співробітників, що веде до блоку службових приміщень. Загалом, вирощування продукції методами вертикального фермерства (гідропоніка чи аеропоніка) не вимагає ідеальної чистоти технологічного процесу. Тому співробітники можуть попадати до виробничих приміщень без проходження «чистої кімнати» (звісно, якщо протилежне не було зазначено в технічному завданні). Незважаючи на це, службовий блок має обов'язково містити в собі душові, санітарні вузли (які мають бути розподілені рівномірно по усій будівлі відповідно до переміщення і



концентрації співробітників), роздягальні, кімнати відпочинку та прийому їжі (кухня, кафетерій чи їдальня), а також адміністративні кабінети, пункти управління системами, побутові і допоміжні кімнати. Їх кількість та площа розраховується відповідно до кількості співробітників та технічного завдання.



Мал. 3. Просторово-функціональне зонування вертикальної ферми для горизонтальної структури будівлі

При наявності хімічних чи біо-лабораторій, рекомендовано виділяти їх в автономний дослідницький блок з власним службовими приміщеннями, входами та шляхами евакуації. Дане рішення необхідне для більш контрольованого забезпечення санітарно-гігієнічних вимог, захищеності досліджень та ізоляції осередку в разі виникнення критичних ситуацій чи інцидентів, пов'язаних з даним типом роботи. Зв'язок з виробничими блоками та наявність «чистих» приміщень залежить від типу досліджень та встановлюються завданням на проєктування.

При вертикальній структурі будівлі, зонування також має відповідати технологічним процесам і мінімізувати шляхи переміщення об'єктів і суб'єктів системи. У даному випадку на перших поверхах рекомендовано розмішувати: зону прийому продукції, звідки на підйомниках необхідні об'єкти будуть направлятись до зони виробництва та інженерного блоку; зону сортування, підготовки та пакування продукції, куди на відповідних підйомниках відправляється готовий врожай із зони виробництва, а після обробки готова продукція направляється до складу; зону тимчасового зберігання готової продукції, яка після минулої фази була транспортована до даного блоку на спеціальних візках або за допомогою транспортеру (також з даної зони необхідно влаштувати зручний зв'язок із зовнішньою побутовою зоною, звідки продукція направляється на доставку).

У підвальному поверсі доцільно розмішувати інженерно-технічний блок та зони переробки і зберігання ресурсів. В зону переробки відходи виробництва потрапляють із зони сортування за допомогою підйомнику. В свою чергу, у зону зберігання ресурсів, необхідні ресурси направляються також за допомогою підйомнику, проте із зони прийому продукції. Дані приміщення рекомендовано розмішувати у підземних рівнях через санітарно-гігієнічні норми, правила безпеки, а також для економії простору на верхніх поверхах для кімнат, де використання природного освітлення є більш доцільним.

На верхніх поверхах розміщуються зони пророщування та вирощування продукції, які варто блокувати на одному рівні, оскільки для переміщення органічної продукції між цими зонами найзручніше використовувати візки (дані зони складають безпосередньо сам блок виробництва продукції). Дані блоки доцільно розташовувати біля світлового фасаду для використання прийому економії штучного освітлення, що був розглянутий вище. Відповідно, розташування контейнерів для вирощування рослин має бути облаштовано таким чином, щоб максимально забезпечити рівнодоступність до сонячного освітлення. Окрім цього, кожен з блоків виробництва продукції має мати вертикальний зв'язок (підйомник) із зоною прийому вхідних потоків та зоною сортування. Загалом, таких виробничих блоків може бути декілька і вони можуть розташовуватись, як один над одним, так і на одному поверсі. Визначення кількості поверхів з даними блоками (та безпосередньо самої поверховості будівлі) має базуватись на місцевих містобудівних обмеженнях, умовах оточуючої забудови, розмірі ділянки, потужності виробництва (кількості тон врожаю на рік та відповідної площі виробництва), матеріальних, технічних та інженерних можливостей проекту і ділянки.

Проектування блоку службових приміщень та дослідницько-лабораторного блоку (за його наявності у проекті) відбувається аналогічно принципам, що були

зазначені для горизонтальної структури будівлі. Головною умовою є те, що їх розташування та функціонально-просторове планування має оптимізувати відповідні шляхи переміщення суб'єктів в межах системи даних блоків та самої вертикальної ферми. Також необхідно забезпечити належні горизонтальні і вертикальні комунікації (сходові клітки і ліфти) та шляхи евакуації.

Варто наголосити, що усі ліфти/підйомники мають бути окремо облаштовані для переміщення вхідних продуктів, для безпосередньо самої рослинної продукції, для відходів, а також для співробітників. Їх розміри та кількість розраховуються згідно з технічним завданням та характеристиками цільових об'єктів чи користувачів.

**Висновки.** Дотримання законів (принципів) економічної ефективності є необхідною умовою при проєктуванні вертикальних ферм. Для кожного з вищенаведених принципів було запропоновано відповідні прийоми та інструменти, що варто застосовувати при проєктуванні та будівництві ефективних та стабільних систем вертикальних ферм.

Зазначено, що основу першого принципу складають методи підвищення стійкості системи та її адаптивності до непередбачуваних зовнішніх та внутрішніх змін. Задля цього використовуються прийоми щодо поліфункціональності будівлі, її відкритості для громадськості, гнучкої планувальної структури та розосередженості інженерних мереж.

Наведено, що основною метою принципу економії та збереження ресурсів є загальне підвищення енергоефективності та стійкості будівлі і виробництва. Найбільш доцільними прийомами даного принципу є: варіативний підхід до проєктування з методиками порівняння різних функціонально-архітектурних моделей проєкту; оцінка якості проєктних та будівельних рішень за допомогою функціонально-вартісного аналізу, аналізу життєвого циклу, аналізу вартості життєвого циклу та кваліметрії. Також було встановлено взаємозв'язок таких прийомів як: інтеграція відновлювальних джерел ресурсів для забезпечення потреб будівлі і виробництва; застосування енергоефективних архітектурних рішень для зменшення тепловтрат будівлі, і оптимізації зовнішніх вітрових потоків з архітектурно-функціональними параметрами вертикальних ферм.

Третій принцип – економії часу та простору є основоположним для збереження основних трудових та виробничих ресурсів. Економія часу та зусиль є шляхом мінімізації площ, будівельних ресурсів, трудовитрат на будівництво та виробництво продукції. Дотримання даного принципу є запорукою загального зниження витрат на вироблення агропромислової продукції, а отже зниження її собівартості та вартості на ринку, і як наслідок стабілізація та зменшення ціни та доступності для споживача. Проте, варто наголосити, що, в будь-якому випадку, головними засадами проєктування залишаються відповідність проєктних рішень

технологічному процесу, та розподілення потоків системи (співробітники, вхідні, вихідні потоки і відходи), а отже першочергове дотримання санепідеміологічних норм при виробленні продукції.

#### Список джерел

1. United Nations Department of Economic and Social Affairs, World population projected to reach 9.6 billion by 2050: звіт UN DESA. UN Department of Economic and Social Affairs, 2013.
2. Tablada A., Kosorić V., Huang H., Lau S.S.Y., Shabunko V. Architectural quality of the productive façades integrating photovoltaic and vertical farming systems: survey among experts in Singapore. *Frontiers of Architectural Research*, 2020. Вип. 9, № 2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.005>.
3. Розораність земель в Україні є найбільшою в світі та досягла 56% території держави. *Agravery*. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/rozoranist-zemel-v-ukraini-e-najbilsou-v-sviti-ta-dosagla-56-teritorii-derzavi-apostol> (дата звернення: 01.03.2023).
4. Дорогунцов С., Коценко К., Хвесик М. Екологія: підручник. Київ: КНЕУ, 2006. 371.
5. Zeidler C., Schubert D., Vrakking V. Vertical Farm 2.0: Designing an Economically Feasible Vertical Farm - A combined European Endeavor for Sustainable Urban Agriculture». *Vertical farming*, 2017. URL: <https://www.researchgate.net/publication/321427717> (дата звернення: 27.02.2023).
6. Adey S.W., Beer S. Cybernetics and Management». *OR*, 1960. Вип. 11, № 3. DOI: <https://doi.org/10.2307/3007077>
7. Барановська І., Казанський Ю.Н., Ключев А.Ф. Економіка будівництва: підручник. 2003. с. 506
8. Santos R., Costa A.A., Silvestre J.D., Pyl L. Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment. *Autom Constr*, 2019. Вип. 103. с. 127–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.011>
9. Яблонська Г.Д. Економіка архітектурного проектування і кваліметрія: конспект лекцій. Київ: КНУБА, 2009. с. 48.
10. Яблонская А.Д. Анализ архитектурно-планировочной структуры жилых зданий и их элементов на основе стоимостной сопоставимой оценки: дис. ... канд. арх: 18.00.02. Київ, 1990. с. 135.
11. Яблонский Д.Н. Количественные методы решения задач типологии жилища: Автоматизация проектирования жилища. *Будівельник*, 1971. с. 50–55.
12. Дорохіна Г. Архітектурно-планувальна організація фізкультурно-оздоровчих закладів для людей з обмеженими фізичними можливостями: дис. ... канд. арх: 18.00.02. Київ, 2013. с. 244

13. Donnelly B.G. Who knew Gherkins were so aerodynamic. URL: <https://brandondonnely.com/2013/11/24/who-knew-gherkins-were-so-aerodynamic/> (дата звернення: 02.03.2023).

14. Visual Inspiration: Photovoltaic Facades. *Eppu*. URL: <https://co-geeking.com/2018/09/26/visual-inspiration-photovoltaic-facades> (дата звернення: 03.03.2023).

15. Sun Y. Integrated semi-transparent cadmium telluride photovoltaic glazing into windows: Energy and daylight performance for different architecture designs. *Appl Energy*, 2018. Вип. 231. с. 972–984. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.133>

16. Жданова Я. Архітектурно-планувальна організація поліфункціональних вертикальних агрокомплексів: атестаційна робота магістра. Київ: КНУБА, 2021. с. 107. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26188.54408/1>

#### References

1. UN DESA. (2013). United Nations Department of Economic and Social Affairs, World population projected to reach 9.6 billion by 2050. *UN Department of Economic and Social Affairs*. (in English)

2. Tablada, A., Kosorić, V., Huang, H., Lau, S. S. Y., & Shabunko, V. (2020). Architectural quality of the productive façades integrating photovoltaic and vertical farming systems: Survey among experts in Singapore. *Frontiers of Architectural Research*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.005> . (in English)

3. Agravery. (2020, April 21). The plowed land in Ukraine is the largest in the world and has reached 56% of the country's territory. [Rozoranist' zemel' v Ukrayini ye naybil'shoyu v sviti ta dosyahla 56% terytoriyi derzhavy]. Source: <https://Agravery.Com/Uk/Posts/Show/Rozoranist-Zemel-v-Ukraini-e-Najbilsou-v-Sviti-Ta-Dosagla-56-Teritorii-Derzavi-Apostol> . (in Ukrainian)

4. Doroguntsov S., Kotsenko K., Khvesyuk M. (2006). *Ecology*. [Ekolohiya]. Kyiv. P. 371. (in Ukrainian)

5. Zeidler, C., Schubert, D., & Vrakking, V. (2017). Vertical Farm 2.0: Designing an Economically Feasible Vertical Farm - A combined European Endeavor for Sustainable Urban Agriculture. *Vertical Farming, January*. (in English)

6. Adey, S. W., & Beer, S. (1960). Cybernetics and Management. *OR*, 11(3). <https://doi.org/10.2307/3007077> . (in English)

7. Baranovska I., Kazanskyi Y.N., Klyuev A.F. (2003). *Economics of construction*. [Ekonomika budivnytstva]. P. 506. (in Ukrainian)

8. Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2019). Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment. *Automation in Construction*, 103, 127–149. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.011> . (in English)

9. Yablonska G.D. (2009). Economics of architectural design and quality measurement: summary of lectures (p. 48). [Ekonomika arkhitekturnoho proektuvannya i kvalimetriya]. Kyiv. (in Ukrainian)
10. Yablonskaya A.D. (1990). *Analysis of the architectural and planning structure of residential buildings and their elements based on a comparative cost estimate*. [Analiz arkhitekturno-planirovochnoy struktury zhilykh zdaniy i ikh elementov na osnove stoimostnoy sopostavimoy otsenki]. [PhD Thesis]. Kyiv. P. 135 (in Russian)
11. Yablonsky D.N. (1997). *Quantitative methods for solving housing typology problems*. [Kolichestvennyye metody resheniya zadach tipologii zhilishcha: Avtomatyzatsiya proyektirovaniya zhilishcha]. *Avtomatyzatsyya Proektyrovannya Zhylyshcha, Kyiv: Budivel'nyk*, 50–55. (in Russian)
12. Dorokhina H. (2013). *Architectural and planning organization of sport and health care facilities for people with physical disabilities*. [Arkhitekturno-planuval'na orhanizatsiya fizkul'turno-ozdorovchyykh zakladiv dlya lyudey z obmezhenymy fizychnymy mozhlyvostyamy]. [PhD Thesis]. Kyiv. P. 244. (in Ukrainian)
13. Donnelly, B.G. (2013, November 24). *Who knew Gherkins were so aerodynamic*. <https://Brandondonnelly.Com/2013/11/24/Who-Knew-Gherkins-Were-so-Aerodynamic/>. (in English)
14. Eppu. (2018, September 26). *Visual Inspiration: Photovoltaic Facades*. <https://Co-Geeking.Com/2018/09/26/Visual-Inspiration-Photovoltaic-Facades/>. (in English)
15. Sun, Y., Shanks, K., Baig, H., Zhang, W., Hao, X., Li, Y., He, B., Wilson, R., Liu, H., Sundaram, S., Zhang, J., Xie, L., Mallick, T., & Wu, Y. (2018). Integrated semi-transparent cadmium telluride photovoltaic glazing into windows: Energy and daylight performance for different architecture designs. *Applied Energy*, 231, 972–984. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.133> . (in English)
16. Zhdanova Y. (2021). *Architectural and planning organization of polyfunctional vertical agrocomplexes*. [Arkhitekturno-planuval'na orhanizatsiya polifunktsional'nykh vertykal'nykh ahrokompleksiv]. [Master's Thesis]. Kyiv. P. 107. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26188.54408/1> . (in Ukrainian)

## Annotation

**Hanna Dorokhina**, Ph.D., associate professor, Department of Theory of Architecture, Kyiv National University of Construction and Architecture.

**Yaryna Zhdanova**, Ph.D. student, Department of Theory of Architecture, Kyiv National University of Construction and Architecture.

**Economic efficiency principles for architectural and space-planning design of vertical farms**

The paper highlights use of the economic efficiency principles group during construction and architectural planning of vertical farms. Even though vertical farming is a more efficient and sustainable approach to agro-industry than convenient farming, this method requires significant capital for building and operation. To overcome these shortcomings, the paper describes methods of implementing project solutions that can increase the economic feasibility from architectural perspective. The authors divided the principles group into three main ones: the principle of completion from without, the principle of economy and saving resources, and the principle of saving time and space.

The basis of the first principle consists of diverse techniques for increasing the system's stability and adaptability to unpredictable external and internal changes. For this purpose, it is recommended to implement such solutions as poly-functionality of the building, its openness to the public, space-planning and structural flexibility, and dispersal of engineering networks.

The main purpose of the second principle is the overall increase in energy efficiency and in building and production sustainability. It is determined that the most appropriate techniques of this principle are: a variable approach to design process with implementation of different comparison methods for architectural solutions; quality assessment of project decisions, using functional-cost analysis, LCA, LCC, and qualimetry; sustainable methods integration for energy and production resources restoration; application of energy efficiency architecture methods.

The principle of saving time and space is fundamental for maintaining the main labor and production resources, which is a way to minimize areas, construction resources, and labor costs for construction and production. This principle is the key to a general reduction in the cost of agro-industrial products production, and therefore reducing its cost on the market. Hence, it leads to stabilization and reduction of price, and product accessibility to the consumer.

**Keywords:** vertical farms; economic efficiency; agro-industrial architecture; energy efficiency.