

В.Й. Хазін, к.т.н., професор, Д.В. Сердюк, аспірант

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

МЕХАНІЧНІ ПРИНЦИПИ АРХІТЕКТОНІКИ РОСЛИН В ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНІЙ БІОНІЦІ

Розроблено класифікацію механічних принципів архітекtonіки рослин та розкрито їх роль у переході від природних елементів до інженерних рішень.

Ключові слова: *природа, механічні принципи архітекtonіки, інженерно-будівельна біоніка.*

Вступ. *Біоніка* – наука про використання в архітектурі, техніці й будівництві знань про форми, принципи і технологічні процеси живої природи.

Архітектурна біоніка в цілому розглядає систему «жива природа (середовище) – архітектура – людина», завдяки чому соціальна і технічна сфери отримують можливість розвиватися в гармонійній єдності з навколишньою природою [1].

Разом із практикою архітектурної біоніки поступово складається і її наука, з одного боку, як галузь архітектурної науки, а з іншого – як частина нового наукового напрямку – інженерної біоніки в будівництві.

Інженерно-будівельна біоніка не просто досліджує живу природу, як це робить фізика, хімія, біологія, природознавство і т.д., а на основі вивчення закономірностей природи й використання досягнень інших галузей знань, особливо теоретичної та будівельної механіки, створює за образом природи нові конструкції й забезпечує перехід до розрахунку, конструювання і впровадження їх у будівництво.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Дослідження із цієї теми велися, але в основному природознавцями та архітекторами [2, 4, 6]. Мало приділялося уваги вивченню механічних властивостей рослин та створенню на їх основі складних просторових конструктивних систем. Відсутні приклади їх моделювання і конструювання на ПЕОМ.

Постановка завдання. Завдання роботи полягає у виявленні механічних принципів архітекtonіки рослин в інженерно-будівельній біоніці; виконанні переходу через архітектурну біоніку від елементів природи до інженерно-будівельних рішень.

Виклад основного матеріалу. Одними з перших, хто розглядали механічні принципи в анатомічній будові рослин ще наприкінці XVII століття, були біолог Швенденер та ботанік Габерланд.

Учення про механічні принципи в архітекtonіці рослин є одним із яскравих прикладів зародження і розвитку наукових ідей у процесі тісної взаємодії теорії та практики, науки і техніки.

У пору зародження науки про опір матеріалів і теорії пружності встановлення основних положень цих дисциплін перебувало в тісному зв'язку з розглядом будови рослин. Основоположник науки про опір матеріалів Галілей підійшов до питання про статику організмів, ґрунтуючись на виведених ним формулах опору балки від дії власної ваги.

Крім загальних думок про пропорцію розмірів, Галілей сформував одне з основних положень про раціональну конфігурацію балки: на основі виведених ним формул, які виражають опір згину балок різного перерізу, він приходив до висновку, що «опори двох циліндрів, побудованих із рівної кількості однакового матеріалу, – з яких один є порожнистим, а другий суцільним, – знаходяться між собою в такому ж відношенні, як їх діаметри» [4].

Отже, у порожнистих балок «без збільшення ваги значно зростає опір», і напівтрубчаста конструкція є для тіл, що піддаються згину, раціональною. Тому, стверджував Галілей, такий тип конструкції існує в природі. «Якщо б соломинка злаку, яка підтримує колос, більш важкий, ніж усе стебло, була створена з тою самою кількістю матеріалу, але була б суцільною, то вона б мала менший опір згину і злому» [4].

Найкраще можна зрозуміти роль різних конструктивних елементів рослинних органів, значення їх конфігурації та взаємного розташування, якщо розглянемо будівельно-механічні моделі рослин, тобто такі творіння інженерного мистецтва, які найбільшою мірою відображають суттєві риси рослин як побудов.

Щоб до цього підійти, необхідно ознайомитися з елементами вчення про опір матеріалів і статички споруд більшою мірою, ніж це було прийнято раніше в ботаніці, а також поповнити знання з теоретичної механіки, зокрема механіки твердого тіла й матеріальної точки [4].

Роботу колони перш за все можна розглянути на прикладах таких характерних аналогів у живій природі, якими є стебло рослини і стовбур дерева. Вони виконують, головним чином, конструктивні функції, що чітко виражаються в їх формі.

Як стебло рослини, так і стовбур дерева являє собою колону (опору), міцно закріплену в основі у ґрунті й вільну вгорі, зі всіма властивими такій конструктивній системі деформаціями та напруженнями, включаючи і деякі специфічні для рослин деформації. Структура стовбура монолітна, хоча матеріал його заповнення не однорідний. Причина такої структури полягає в значних розмірах стовбурів дерев і несучої ними маси гілок та листків. У зв'язку із цим дерева витримують набагато більші вітрові навантаження, ніж стебла. Їм також доводиться долати дію великих згинаючих моментів. Тому вони повинні мати велику гнучкість, щоб послабити інтенсивність нормальних і дотичних напружень, амортизувати значні навантаження на коріння, особливо у випадку високих дерев, довести до мінімуму головні напруження біля основи стовбура.

Згідно з цим і розподіляється конструктивний матеріал у тілі стовбура – рівномірно по всьому стовбуру [2].

Крім стояка-колони, в живій природі зустрічаються численні аналоги балок, консолей і рам, наприклад у листі дерева.

Хоча фізико-механічні якості будівельних матеріалів відрізняються від органів рослин, однак у них є основний будівельний принцип: робота комплексної споруди в будівельно-механічному відношенні. У цьому і є значна подібність між «конструкціями» рослинними й конструкціями залізобетонними та металевими.

У тих й інших існує менш міцна об'ємна основна маса (м'які тканини – бетон), у якій розподілена арматура з більш міцного і жорсткого матеріалу, роздробленого на більш чи менш тонкі стержні (стереом – сталевий каркас) [4].

Так, черешок листка, а також гілля, що прогинається під вагою листя, працюють як консольні балки на згин. Отже, верхні їх волокна розтягнуті, а нижні стиснуті. Відповідно до видів механічної роботи, розподіляються і механічні волокна в корінні. У тих із них, які розтягнуті, механічні волокна зосереджені в серцевині коріння, а в корінні, котре витримує стиск, природна арматура прагне зайняти периферійне положення, в результаті чого вони товщі.

Аналогічно і в залізобетонній балці: верхня зона стиснута, нижня – розтягнута.

У випадку, коли робота матеріалу збігається з роботою конструктивного елемента, витрата матеріалу буде мінімальною. Отже, в стиснутій зоні раціонально працює бетон, у розтягнутій – метал.

Перспективними є дослідження перехресних, або просторових решітчастих систем живої природи: радіолярії (одноклітинні океанні організми), діатомові водорості, лист дерева і т.д.

Широке розповсюдження в природі мають плоскі й просторово-вигнуті ребристі, сітчасті, перехресні (просторові решітки) конструкції. У цих системах одні елементи структури, наприклад плівки листа дерева, досягають мінімального перерізу за рахунок інших – ребер. Ребра, виконуючи основну несучу функцію в системі, по лініях головних максимальних напружень займають таким чином найвигідніше положення з точки зору статички. Листок лопуха досягає 60 – 80 см довжини і має співвідношення конструктивної висоти перерізу плівки листа до цього прогону, рівне 1:1200 – 1:1400. У будівлі Національного центру промисловості й техніки в Парижі показник відношення конструктивної висоти покриття (2 м) до прогону (215 м) складає 1:100. При цьому лист лопуха знаходиться в більш складних умовах механічної роботи, ніж покриття цієї будівлі, що опирається на три точки опори (звичайно в цьому порівнянні є певна умовність) [1].

Це свідчить про ще значні резерви зі збільшення прогонів споруд із просторовою системою покриття.

Використання в спорудах ребристої структури, яка відповідає головним напруженням у конструкції, може дати цікаві технічні та композиційні результати (роботи П.Л. Нерві: плоске покриття фабрики Гатті в Римі, складчасте покриття головного залу Туринської виставки з вільним прогоном, який дорівнює 98 м, складчасте покриття Палацу виставок у Ніцці, в яких як аналог використовувалися мезо- і мікроструктура листа дерева, листа екзотичної рослини вікторії-регії та форма складчастих листків).

Лист пронизаний жилками – «балками», як тими, що виступають над його поверхнею, так і тими, що заглиблені в неї (рис.1, 2) і формують несучий каркас тонкої плівки листа. Жилки – це судинно-волокнисті пучки (як ранд-балки, в тому числі консольні), що йдуть із листа в черешок, а потім у стебло. Вони – трубчастої побудови і виконують конструктивну задачу [2].

Ботаніки вважають найбільш досконалим типом жилкування і найбільш диференційованим – перистий, із розвиненою сіткою прожилок. Структура таких листків досить визначена: по поздовжній осі – основний стержень, від якого в поперечному напрямі попарно відгалужуються консолі, з'єднані жилками (рис.1). У такому древньому листі ясно відображена закономірність диференціації – поступове полегшення, потоншення від центральної осі до периферії жилок несучого каркаса і разом з тим подрібнення сітчатки до країв листа, що поєднується з тією конструктивною задачею, яку він виконує.



Рисунок 1 – Перисте та дугове (склепінчасте) жилкування

У листі втрата маси кожної окремої жилки компенсується збільшенням їх кількості. Так, біля країв листа сітка жилок може бути досить густою, починаючи знову працювати як моноліт, зміцнюючи краї листа, а інколи перетворюючись у своєрідну ранд-балку, яка йде по всьому контуру листа.

Таку розгалужену, сітчасту структуру жилкування мають листки з широкою або округлою листовою пластиною. Вузькі чи дещо витягнуті овальні листи, що мають найбільшу небезпеку згину в поздовжньому напрямі, оснащені відповідно дугоподібним (склепінчастим), або паралельним жилкуванням (рис.1). Причому в таких випадках поперечні зв'язки між головними жилками-артеріями чи слабо розвинені, чи відсутні зовсім.

У відомих будівельних конструкціях покриття фабрики Гатті в Римі (рис. 2) розташування ребер покриття нагадує перисте жилкування листа, в Технічному центрі в Парижі ребра сконструйовані по лініях головних напружень. Система ж ребер кожного із трьох елементів покриття нагадує дугоподібне жилкування листків [2].

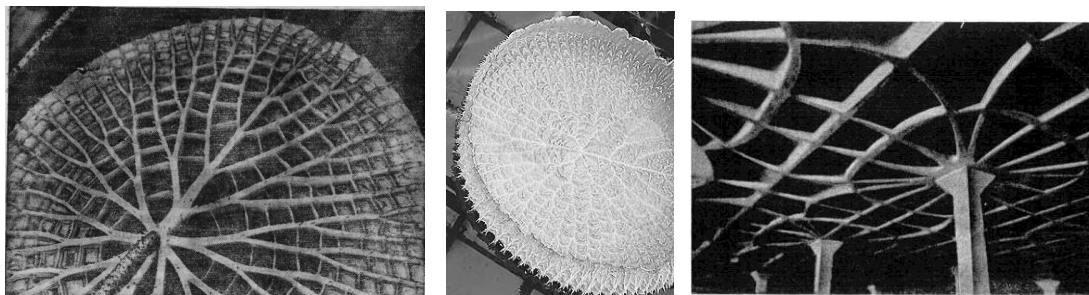


Рисунок 2 – Лист водяної квітки – вікторії-регії та плоске покриття фабрики Гатті в Римі

У другій половині XIX ст. інженерні споруди зі скла, сталі й бетону почали поступово витіснити будови традиційних архітектурних стилів, їх поява привела до перевероту в зодчому мистецтві. Успіхи в будівельній техніці дозволили створити нові, раніше невідомі архітектурні форми і конструкції.

Першою спорудою нової архітектури був Кришталевий палац у Лондоні – величезна будівля павільйонного типу, побудована суцільно зі скла і металу, її автором є архітектор Джозеф Пакстон.

В основу такого творіння покладено величезні плаваючі листки вікторії-регії, які досягають в діаметрі 2 м [6].

Підйомна сила цих листків надзвичайно велика. Дівчина, зображена на малюнку, важить майже 40 кг (рис. 3).

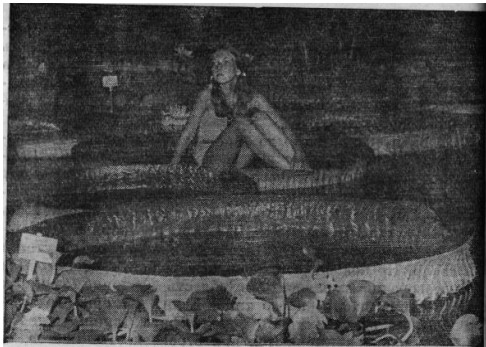


Рисунок 3 – Лист водяної квітки вікторії-регії

Незважаючи на незначну товщину, вони достатньо міцні, щоб витримати вагу дорослої людини. Своїй високій міцності листя зобов'язані тому, що їх нижня поверхня підсилена свого роду балками.

Із центра листка проміннями, котрі нагадують спиці в колесах, розходяться в усі сторони товсті жилки, які в міру наближення до краю листка стають усе більш і більш плоскими. Через те, що жилки багаторазово, до п'яти разів, розгалужуються, відстань між ними біля кромки листа залишається невеликою. У результаті з однієї великої жилки в центрі листа у його периферії знаходяться численні жилки, скріплені одна з одною більш плоскими поперечними зв'язками [6].

За таким же принципом було сконструйовано Кришталевий палац у Лондоні. Основу склали нечисленні великі силові балки, від них відходять менш великі розпірки, які з'єднують між собою численні тонкі в'язі (рис. 4).

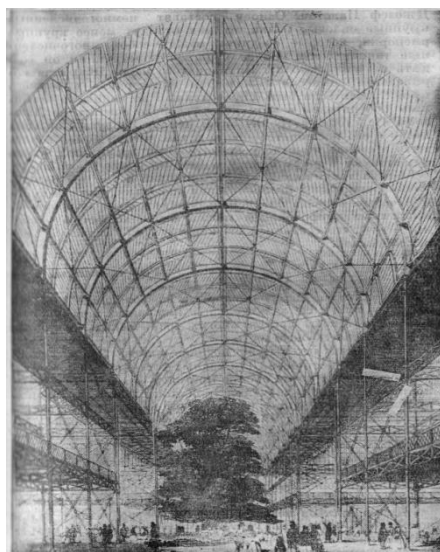


Рисунок 4 – Конструкція Кришталевого палацу (архітектор Джозеф Пакстон запозичив ідею в листків тропічних водяних лілій)

Таким чином, одним із перспективних напрямів взаємодії форми і механічних сил, запозичених із природи, є дослідження нових просторових аркових систем у формі склепіння циркульного окреслення одинарної та подвійної (Гаусової) кривизни, склепіння у вигляді гіперболічного параболоїду, куполоподібні тощо.

Розглянуті приклади базуються на механічних принципах архітекtonіки рослин (рис. 5).



Рисунок 5 – Схема механічних принципів інженерно-будівельної біоніки

Принцип анізотропності полягає в розподіленні матеріалу, розрахованого на найбільш випадковій і різнонаправленій дії навантажень.

Принцип полегшення конструкцій знизу догори (полегшення конструкції по висоті), прикладом його в природі є стовбури дерев, а в будівництві – радіо- та телевежі.

Принцип розміщення міцного матеріалу по лініях максимальних напружень у живому організмі складає його арматуру, яка аналогічно відповідає арматурі в залізобетонних конструкціях і каркасі будівлі.

Принцип роботи по формі найкраще пояснити на таких простих прикладах. Якщо взяти аркуш паперу і покласти його вузькими краями на чотири опори, то аркуш не втримається на них. Але коли зробити із цього ж аркуша паперу оболонку аркового окреслення та розмістити на ті ж опори, то вона не тільки не впаде під дією власної ваги, а й зможе нести додаткові, відносно своєї ваги, великі навантаження. Подібні зміни можна пояснити тим, що змінилася форма паперу та відбувся перерозподіл внутрішніх зусиль, а вага збереглася. Саме це і є зв'язком форми конструкції з її механічними можливостями.

Таким чином, використання принципів, запозичених з живої природи, рослинного і тваринного світу, є прогресивним напрямом конструктивного рішення будівель та споруд або їх окремих елементів.

На кафедрі проектування сільських будівель ПолтНТУ розроблено, запатентовано і частково впроваджено низку конструктивних рішень, заснованих на закономірностях біоніки. Наприклад, використовуючи принцип побудови бджолиних стільників, розроблено низку планувальних і конструктивних рішень силосних корпусів елеваторів із шестигранними уніфікованими силосами стільниковоподібного типу.

Раціональним є використання форми крони ялини під час створення сушарок, зерносушвищ легкого типу із плівковим укриттям, що трансформується вертикально.

Використовуючи властивість гусені скорочуватися та збільшуватися, запропоновано горизонтальну споруду, що трансформується. Це може бути теплиця, парник, укриття для зерна, мінеральних добрив, сушарка для фруктів, укриття для сушіння цегли (рис. 6).


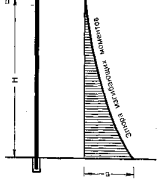

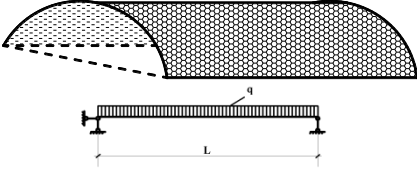



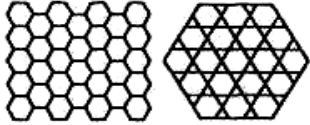

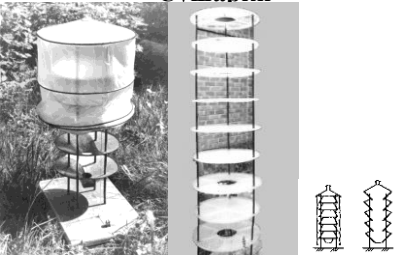


Елементи природи	Пропозиція щодо використання	Об'єкт використання
<p>Стебло, стовбур дерева</p> 	<p>Колона</p> 	<p>Колона (опора)</p>
<p>Лист дерева</p> 	<p>Покриття аркового окреслення</p> 	<p>Укриття для зерна, сільгосптехніки, виставкові зали</p>
<p>Перевернута ялинка</p> 	<p>Пальовий анкер</p> 	<p>Анкерний пристрій для закріплення трубопроводів, пальовий анкер</p>
<p>Бджолиний стільник</p>  <p>1.1.1.1.1.1</p>	<p>Стільниковоподібний силосний корпус</p> 	<p>Елеватори, склади мінеральних добрив</p>
<p>Ялинка</p> 	<p>Сушарки</p> 	<p>Сушарки для фруктів та зерна</p>
<p>Гусінь</p> 	<p>Горизонтальна споруда, що трансформується</p> 	<p>Теплиці, парники, укриття для зерна, мінеральних добрив</p>

Рисунок 6 – Приклади практичного застосування принципів архітектурної біоніки в будівництві

Висновки. Таким чином, розглянувши елементи природи, близькі за властивостями до конструктивних елементів, дослідивши їх роботу і механічні властивості, можна зробити висновок про те, що ще далеко не вичерпані можливості

інженерно-будівельної біоніки при створенні більш складних просторових конструктивних систем.

Виконані дослідження дозволили встановити співвідношення висоти перерізу плівки листа рослини до його довжини і можливість практично до десяти разів збільшити величину прогонів споруд, яка досягнута в сучасній практиці будівництва.

Література

1. Лебедев, Ю. С. *Архитектурная бионика* / Ю. С. Лебедев, В. И. Рабинович, Е. Д. Положай. – М.: Стройиздат, 1990. – 289 с.
2. Лебедев, Ю. С. *Архитектурная бионика* / Ю. С. Лебедев. – М.: Стройиздат, 1971. – 118 с.
3. Михайленко, В. Е. *Природа – геометрия – архитектура* / В. Е. Михайленко, А. В. Кащенко. – К.: Будівельник, 1988. – 176 с.
4. Раздорский, В. Ф. *Архитектоника растений* / В. Ф. Раздорский. – М.: Советская наука, 1955. – 430 с.
5. Хазін, В. Й. *Будівлі і споруди агропромислового комплексу: навч. посіб.* / В. Й. Хазін. – 2-ге вид., доп. і переробл. – К.: Вища шк., 2006. – 255 с.:іл.
6. Патури, Ф. *Растения – гениальные инженеры природы* / Ф. Патури. – М.: Прогресс, 1982. – 261с.

Надійшла до редакції 05.12. 2011

© В.Й. Хазін, Д.В. Сердюк

В. И. Хазин, к.т.н., профессор, Д. В. Сердюк, аспирант

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ АРХИТЕКТониКИ РАСТЕНИЙ В ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ БИОНИКЕ

Разработана классификация механических принципов архитектоники растений и раскрыта их роль в переходе от природных элементов к инженерным решениям.

Ключевые слова: *природа, механические принципы архитектоники, инженерно-строительная бионика.*

V. I. Hazin, Ph.d., professor, D. V. Serduk, postgraduate

Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk

MECHANICAL PRINCIPLES OF PLANT ARCHITECTONICS IN THE ENGINEERING AND CONSTRUCTION BIONICS

There was offered the classification of mechanical principles of plant architectonics and was revealed their role in the transition from natural elements to engineering solutions.

Key words: *nature, mechanical principles of architectonics, engineering and construction bionics.*