

## Енергоефективні рішення пасивного повітрообміну в архітектурі висотних будівель

Ольга Кривенко

Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037  
knuba.o.v.k@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-8949-0944

DOI: 10.32347/2310-0516.2018.11.53-60

**Анотація.** Розвиток пасивного повітрообміну в висотних будівлях є актуальним, у зв'язку з особливостями їх архітектурно-планувальних рішень. Тенденція до збільшення долі зашклення фасадів в сучасних висотних будівлях призводить до зростання енергетичної потужності кондиціонування, що може досягати 100%. Крім того, традиційне провітрювання приміщень в висотних будівлях через відкриті вікна неможливе через високий тиск зовнішнього повітря. Ці та інші фактори створюють особливі вимоги при проектуванні повітрообміну в висотних будівлях та сприяють до пошуку сучасних енергоефективних рішень.

Пасивні прийоми повітрообміну базуються на природних законах і явищах, що суттєво зменшує витрати при експлуатації таких систем. В статті на основі прикладів рішень наданий аналіз історії світового досвіду пасивного повітряного обміну в будівлях. Сучасний досвід архітектурних рішень на основі пасивних прийомів внутрішнього повітрообміну включає новітні фасадні системи, проектування атриумів з функцією повітрообміну, формування будівлі з урахуванням оптимізації забору повітря та інше.

Інтегрування в енергоефективну висотну будівлю рішень пасивного повітрообміну застосовано в рамках дослідницького проекту КНУБА при проектуванні кілометрового хмарочосу «Біотектон». Проектним рішенням передбачено основний відбір чистого та прохолодного повітря з вищих технічних поверхів, де розташовані вітрогенератори та схему розподілу повітря по будівлі з використанням пасивного повітрообміну на основі різниці температур між верхніми та нижніми поверхами.

Прийняті параметри зниження температури – з кожним кілометром від поверхні землі на 6 – 7 °С. Розрахунки підтвердили можливість



**Ольга Кривенко**  
доцент кафедри архітектурних  
конструкцій, архітектор  
к.т.н., доц.

природного вентиляування приміщень з незначним посиленням за рахунок механічних пристроїв. Для покращення якості припливного повітря використана система зелених садів, які огортають будівлю по спіралі.

**Ключові слова.** Природна вентиляція, пасивний повітрообмін, «Біотектон», висотні будівлі.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Завданням архітектури є створення комфортного середовища для людини. Фактором комфорту є забезпечення повітряного обміну для організації нормативного тепловологісного режиму та здорового мікроклімату в приміщеннях. В сучасному світі використання механічних систем повітрообміну та кондиціонування веде до суттєвого зростання енергоспоживання особливо в висотних будівлях, що пов'язано з особливостями їх архітектурно-планувальних рішень. Тенденція до збільшення долі зашклення фасадів в сучасних висотних будівлях призводить до перегріву влітку та переохолодження взимку. Крім того, традиційне провітрювання приміщень в висотних будівлях через відкриті вікна неможливе через високий тиск зовнішнього повітря.

Ці та інші фактори створюють особливі вимоги при проектуванні повітрообміну в висотних будівлях та сприяють до пошуку сучасних енергоефективних рішень [1-3, 10, 11].

Одним із напрямків зниження енергоспоживання є використання пасивних прийомів повітрообміну, що базуються на природних законах і явищах. Архітектурні рішення на основі пасивного повітрообміну мають свою історію розвитку, а також сучасний досвід та потребують вивчення, аналізу для подальшого ефективного застосування в проектній практиці [4, 12-15].

### АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Прикладом використання пасивного природного охолодження та обігріву є «земляні» чи «скельні» будинки. Основну частину будинку розташовано на схилі пагорбу, в скелі чи в землі, що дозволяло використовувати прохолоду землі влітку і її тепло взимку [10, 15]. Сучасний аналог використання низько потенціального тепла землі будівля Main Tower, Франкфурт-на-Майні, Німеччина, де в якості вертикальних ґрунтових теплообмінників використовуються палі - в них прокладена мережа трубок, по яких циркулює теплоносій - вода. Загальна довжина трубок, по яких циркулює теплоносій, становить понад 80 км. За допомогою теплонасосної установки низькопотенційне тепло землі використовується в системі кондиціонування з потужністю 500 кВт.

Жителі давньої Індії винайшли оригінальний спосіб охолодження приміщень з використанням рідини з капілярів дерева татті (різновид кокосової пальми). Над входом в будівлю встановлювали ємність, куди поступала рідина з капілярів дерева, коли ємність наповнювалась, вода перегорталась на стіну будинку, повітря з вулиці зволожувалось та в приміщенні відбувалось природне кондиціонування. Сучасний варіант такого рішення це створення зимових садів в висотних будівлях для зволоження та збагачення внутрішнього повітря [12, 13].

В Ірані зустрічаються відкриті вежі, які ловлять вітер і забезпечують природну вентиляцію в будинках. Якщо вітру немає, то вони дозволяють виходити повітря зсередини. В шахти по яким рухається повітря встановлювали ємності з водою для зволоження потоку повітря, що проходило по ним [4, 14]. Аналогічний прийом забору повітря запропоновано в «Біотектоні», про що більш детально в статті далі.

На ближньому та дальньому сході (ОАЕ, Іран, Індія, Узбекистан) будівлі зводились з внутрішнім двориком. Зовнішні стіни будинку не дозволяли Сонцю обігрівати дворик, тому повітря там завжди було прохолодним, а розміщення в ньому фонтанів та басейнів зволожувало повітря. Сучасний аналог такого рішення - проектування та зведення атриумів в висотних будівлях. Атриум на всю висоту будівлі забезпечує природну вентиляцію. Вікна, що виходять в атриум можуть відкриватись для провітрювання (наприклад, Коммерцбанк, м. Франкфурт - на Майні, Німеччина, арх. Норман Фостер) [5, 9, 16, 18, 19].

В природі відомий приклад застосування природного повітрообміну в термітниках. Терміти (білі мурахи) проживають в сухому жаркому кліматі Австралії. Завдяки унікальній конструкції термітника відбувається процес пасивного повітрообміну. В зовнішньому панцирі термітника прокладено безліч вентиляційних каналів, по яких проходить охоложене повітря з глибини землі. Сучасний аналог такого рішення - конструкції подвійних фасадних систем, що мають «буферну зону». Зимою «буферна зона» перешкоджає виходу тепла назовні, а влітку накопичене за ніч холодне повітря перерозподіляється по всій будівлі. Така система може знижувати витрати енергії майже на третину. (Будівля Deutsche Post, м. Бон, Німеччина, арх. Хельмут Ян) [6, 8, 9, 18].

Вивчення цих та інших прикладів застосування пасивного повітрообміну в проектній практиці підтверджують їх ефективність як засобів енергозбереження в будівництві [20]. Зазначені вище приклади стали поштовхом для пошуку рішень по інтегру-

ванню в енергоефективну висотну будівлю пасивного повітрообміну в рамках дослідницького проекту КНУБА при проектуванні кілометрового хмарочосу «Біотектон».

## ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

З 1980 року архітектором О.І. Лазаревим проведено ряд анатомічних досліджень будови стебла злаку Gramineae, Triticale, що має здатність витримувати великі вітрові навантаження, відновлювати вертикальне положення без руйнування, при цьому має коефіцієнти стрункості  $K_c=1:335$ .

З 2015 року викладачі та студенти КНУБА долучились до наукової та проектної роботи над «Біотектоном - надвисотної споруди висотою в 1000 метрів, в об'ємно-просторову форму якого закладено тектонічна форма стебла пшениці – багатоярусна, багатофункціональна структура.

В рамках наукової роботи студенти архітектурного факультету під керівництвом викладачів кафедри архітектурних конструкцій, кафедри теплогазопостачання та вентиляції КНУБА вирішували задачі по застосуванню прийомів пасивного повітрообміну в об'ємно – планувальне рішення

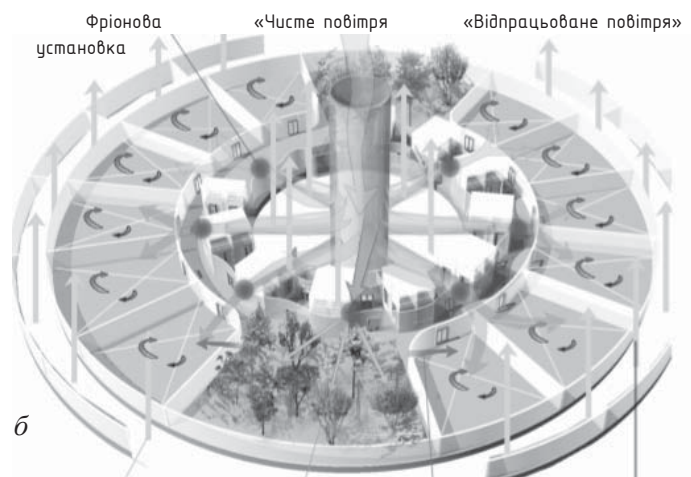
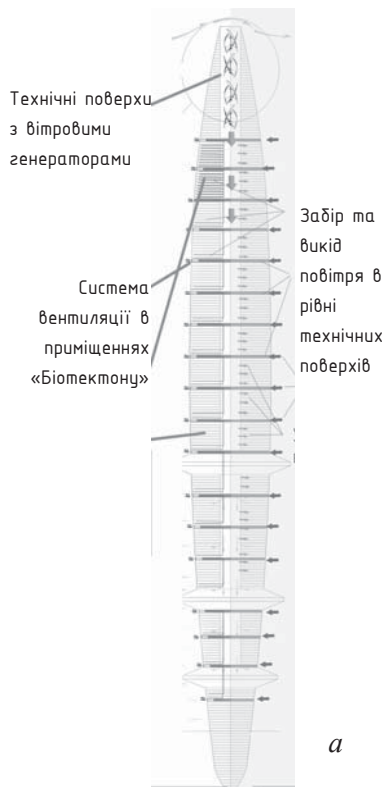
«Біотектону».

Для моделювання прийняті кліматичні умови м. Шанхай, Китай. В процесі моделювання з'ясувалось, що завдання носить комплексний характер та потребує аналізу наступних питань:

- кліматичного аналізу місця забудови, визначення розрахункових параметрів температур та вітру;
- вихідних проектних даних для розрахунку (кількість людей та площі приміщень);
- внесення змін до об'ємно – планувального рішення будівлі для оптимізації повітрообміну в будівлі.

Для створення повноцінного здорового мікроклімату та заощадження енергії в «Біотектоні» запроєктовано систему з переважно природною циркуляцією повітря.

Проектним рішення передбачений основний відбір свіжого, прохолодного, більш чистого ніж в рівні Землі повітря з верхніх рівнів «Біотектона», а додатковий з технічних поверхів (рис.1). На верхніх рівнях розташовані технічні поверхи (з 180 по 240 поверхи) з вітровими генераторами та спеціальними отворами по периметру будівлі для ефективного забору повітря [7].



**Рис.1.** Система вентиляції приміщень в «Біотектоні»: *a* – на схемі розрізу будівлі; *б* – просторова схема розподілу повітря по приміщеннях «Біотектона» .

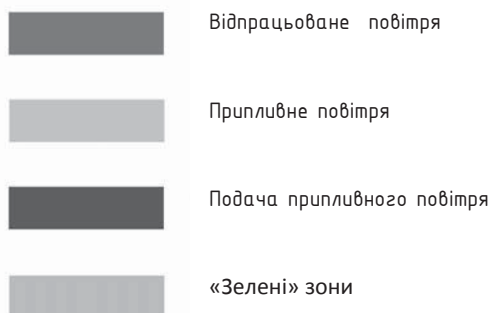
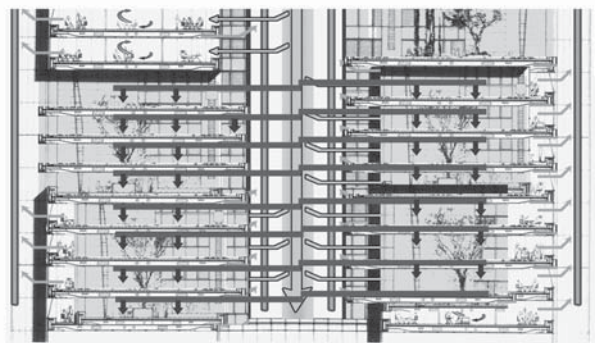
**Fig.1.** Ventilation system of the premises in «Biotecton»: *a* – in the scheme of sectional view of the building; *б* – air distribution scheme in the premises of the «Biotecton».



Вітрові генератори при необхідності можуть бути використані для посилення потоку повітря в будівлю.

Повітря по внутрішньому ядру жорсткості за рахунок різниці в температурі спускається вниз (прийняті параметри зниження температури - з кожним кілометром від поверхні землі на 6-7°C). Запроектоване ядро жорсткості використовується лише для технічних потреб будівлі для розміщення інженерних мереж та інше тому конструктивно та функціонально може забезпечувати будь-який необхідний тиск повітря.

Далі в рівні кожного поверху «чисте» повітря поступає через коридори в приміщення та за допомогою фріонових установок може попередньо охолоджуватись до комфортної для людини температури в 21°C. Враховуючи різницю в 6-7°C між температурами зовнішнього повітря на верхніх поверхах (місце забору повітря) і нижніх поверхах доохолодження повітря з верхніх поверхів буде давати значну економію енергії.



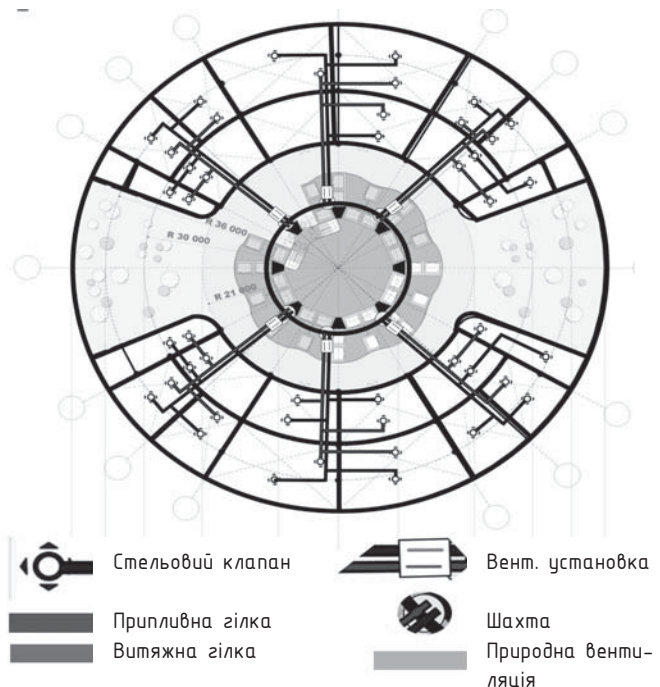
**Рис.2.** Прийнята система пасивного повітрообміну в «Біотектоні».

**Fig.2.** System of passive air exchange in the "Biotektone".

Був зроблений розрахунок можливості вентиляування природнім шляхом, визначено втрати тиску повітря при температурі повітря влітку +32°C, розрахована з урахування зниження температури з висотою +25°C. Результати розрахунку тиску повітря показав втрати тиску повітря на один поверх у 3,23 Па, що дає можливість для розподілення повітря природнім шляхом, але потребує додаткового механічного посилення. Для посилення пасивного повітрообміну пропонується встановлення допоміжних припливних вентиляторів.

В рівні поверхів «чисте» повітря подається по трубах через припливні пристрої приміщення в напрямку від житлових до допоміжних санітарно – технічних приміщень (туалет, ванна кімната, кухня) звідки видаляється через витяжні пристрої. Відпрацьоване та нагріте повітря можна використовувати для обігріву фасаду особливо верхніх поверхів (рис.2,3).

Доступ свіжого повітря забезпечується вентилятором та регулюються датчиками присутності, що дозволяє розподіляти пові-



**Рис.3.** Схема плану розташування інженерних пристроїв для організації повітрообміну в приміщеннях «Біотектоні».

**Fig.3.** Scheme of the layout of engineering devices for the organization of air exchange in the premises of "Biotektone".

тряні потоки у відповідності із потребами кожного приміщення. Таким чином, в приміщеннях, що потребують підвищеного повітрообміну, розподіл свіжого повітря відбувається інтенсивніше аніж в пустих приміщеннях.

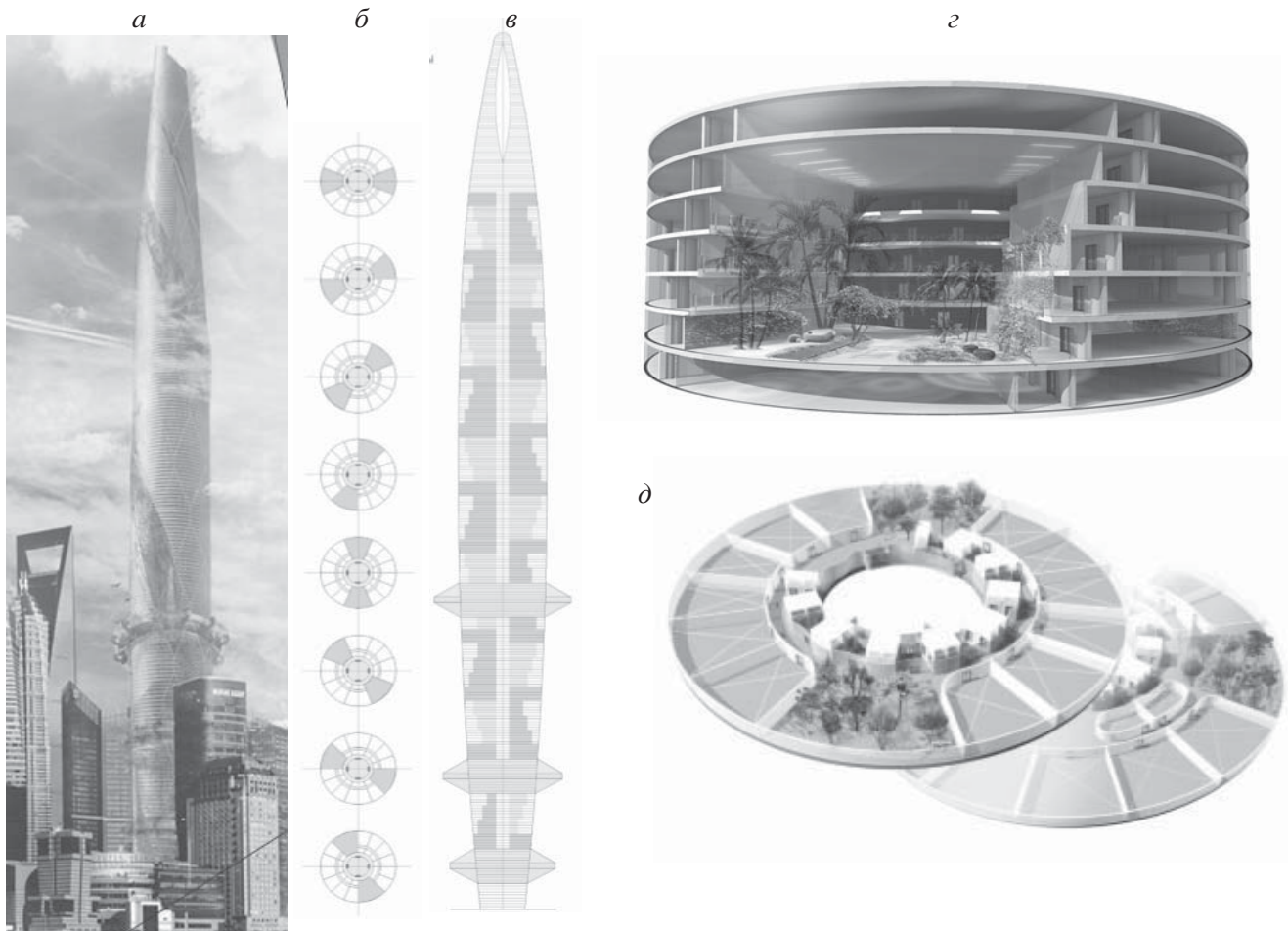
Для покращення якості внутрішнього повітря, до системи провітрювання на кожному поверсі включені зелені зони «Біотектону» (рис.4). Там повітря очищується та насичується корисними мікроелементами.

В зелених зонах «Біотектону» передбачено висадження фітонцидних рослин, які мають багато корисних якостей (знижують кількість мікробів в повітрі до 250 раз на м<sup>3</sup>, покращують роботу дихальної системи людини, зміцнюють імунітет, нормалізують сон та психічний стан, іонізують повітря, осаджують пил). Внутрішнє озеленення

хмарочосів забезпечує можливість покращення екологічного та психологічного комфорту людини. Включення у вертикальну просторову структуру зон озеленення дає можливість не тільки оздоровити середовище хмарочоса, але і надати доступ людині до природного середовища.

У «Біотектоні» озеленення покладено в основу архітектурно - планувального рішення. Зелена стрічка внутрішнього озеленення огортає будівлю по спіралі.

Запроєктовані зелені зони загального користування у «Біотектоні» мають загальний модуль - об'єм на кожні 5 поверхів. Кожен модуль контролюється власною незалежною системою кліматизації, що розділена горизонтальними конструкціями проміжного поверху.



**Рис.4.** Об'ємно-планувальне рішення системи озеленення «Біотектона»: *a* – загальний вигляд «Біотектона»; *б, в* – схеми плану та розрізу будівлі з озелененням; *з, д* – загальний вигляд «зелених зон».

**Fig.4.** Scheme of the planning decision of the greening system "Biotecton". *a* – general view of "Biotecton"; *б, в* – plans and section of the building with landscaping; *з, д* – visualization of "green zones".

Запропоноване рішення дає можливість надати 30 % об'єму хмарочоса під озеленення та забезпечити його рівномірне розташування по вертикалі «Біотектона». Фактично, завдяки запроєктованій системі озеленення в «Біотектоні» людина має доступ до природного середовища на кожному поверсі будівлі а відповідно і чистого повітря.

### ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Отже, можна відзначити, що інтегрування пасивних систем повітрообміну становлять перспективний напрямок розвитку в сучасному енергоефективному будівництві хмарочосів. Досвід їх застосування надають рішення здатні оптимізувати та прилаштуватись до будь-яких проектних задач. Прикладом цього є широке використання методів пасивного повітрообміну з давніх часів до сучасній архітектури в тому числі для вирішення задач енергозбереження висотних будівель.

Проектна робота із застосування пасивного повітрообміну в «Біотектоні» довела необхідність сумісної роботи архітекторів та інженерів на всіх етапах розробки архітектурно-конструктивного рішення будівлі для оптимізації отриманих енергоефективних рішень.

### ЛІТЕРАТУРА

1. **Табунщиков Ю. А., Шилкин Н. В., Бродач М. М.** Энергоэффективное высотное здание. *АВОК*. 2003. №3.
2. **Демченко В. В., Чуприна Х. М.** Методи підвищення енергоефективності будівлі. *Управління розвитком складних систем*. 2013. №16. С.138-143.
3. **Табунщиков, Ю. А.** Строительные концепции зданий XXI века в области теплоснабжения и климатизации. *Архитектура и строительство Москвы*. 2006. №2-3. С. 49-53.
4. **Береговой А. М., Прошин, А. П., Береговой, В. А.** Энергосбережение в архитектурно-строительном проектировании. *Жилищное строительство*. 2002. №5. С.4-6.
5. **Магай А. А., Гордина Е. Ж.** Принципы формообразования атриумных высотных зданий. *Архитектон: известия вузов*. 2007. №20
6. **Туснина О. А., Емельянов А. А., Туснина В. М.** Теплотехнические свойства различных конструктивных систем навесных вентилируемых фасадов. *Инженерно-строительный журнал*. 2013. №8. С. 54.
7. **Кривенко О., Цой О., Гавва І.** Формообразование высотных зданий при интегрировании в их систему обеспечения энергии ветру. *Техническая эстетика и дизайн*. 2017. № 13. С. 95- 99.
8. **Григорьев А. Г.** Исследование влияния ветрового режима на тепло-влажностный обмен ограждающих конструкций зданий. 2003. 26 с.
9. **Bulova I.** Wind action on the building facade and Its influence on ventilation heat losses. *Technical University of Kosice*, №844. 2016, 249 p.
10. **Markus T. A., Morris E. N.** Buildings, Climate and Energy. Pitman, 1980. 542 p.
11. **Fukai Dermis.** Being sustainable : Building System Performance. 2008
12. **Ken Yeang, Lucy Bullivant.** Eco Skyscrapers II, *The Images Publishing Group*.
13. **Antony Wood, Payam Bahrami & Daniel Safarik.** Green Walls in High-Rise Buildings – An output of the CTBUH Working Group, *The Images Publishing Group*. 29.08. 2014.
14. **Lloyd Jones, David.** Architecture and the Environment. Laurence King, 1998.
15. **Hyde Richard.** Bioclimatic Housing. Innovative Designs for Warm Climates. *Paperback*. December 2007. 400 p.
16. **Foster Michel.** The principles of architecture. Style, structure and design. Phaidon. 1983. 202 p.
17. **Yeang Ken.** Designing with Nature: The Ecological basis for Architectural Design. *New York: McGraw Hill Publication*, 1995.
18. **Xu Xu, Steven Van Dessel.** Evaluation of an Active Building Envelope window-system. *Building and Environment*. 2008. P. 85-91. doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.013
19. **Cheng Y., Nin J., Gao N.** Thermal comfort models: A review and numerical investigation. *Building and Environment*. 2012. Vol. 47. P. 13-22. doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.011
20. **Vasco Granadeiro, José P. Duarte, João R. Correia, Vítor M.S. Leal.** Building envelope shape design in early stages of the design process. *Integrating architectural design systems and energy simulation*. 2013. P. 196-209.



## REFERENCES

1. **Tabunshchikov Yu. A., Shilkin N. V., Brodach M. M. (2003).** Energoeffektivnoye vysotnoye zdaniye [Energy-efficient high-rise building]. *AVOK*, 3 (in Russian).
2. **Demchenko V. V., Chuprina H. M. (2013).** Metodu pidvishena energoefektivnosti budivli [Methods for buildings energy efficiency improving]. *Upravlinna rozvitkom skladnuh sistem*, 16, 138-143 (in Russian).
3. **Tabunshchikov Yu. A. (2006).** Stroitelni konceptii zdaniy XXI veka v oblasti teplosnabzhenia I klimatizatsii [Building concepts of the XXI century in the field of heat supply and air conditioning.]. *Arhitektura i stroitelstvo Moskvi*. №2-3, 49-53 (in Russian).
4. **Beregovoi A. M., Proshin A. P., Beregovoi V. A. (2002).** Energozberezenie v arhitekturno – stroitelnom proektirovanii [Energy saving in architectural and construction design]. *Zilishnoe stroitelstvo*, 5, 4-6 (in Russian).
5. **Magay A. A., Gordina E. G. (2007).** Principu formoobrazovaniya atriumnih visotnih zdaniy [Principles of the formation of atrium high-rise buildings]. *Arhitekton: Izvestia vuzov*, 20 (in Russian).
6. **Tusnina O. A., Yemelyanov A. A., Tusnina V. M. (2013).** Teplotekhnicheskiye svoystva razlichnykh konstruktivnykh sistem navesnykh ventiliruyemykh fasadov [Thermal properties of various structural systems of hinged ventilated facades]. *Magazine of Civil Engineering*, 8, 54 (in Russian).
7. **Krivenko O. V., Tsoi O., Gava I. (2018).** Formoutvoreniya visotnih budivel pri integruvanii v ih sistemuzabezpechinya energii vitru [Formation of high-rise buildings in the integration into their system of providing wind energy]. *Tekhnichna estetika I dizain*, 13, 95-99 (in Ukrainian).
8. **Grigorov A. G. (2003).** Issledovaniye vliyaniya vetrovogo rezhima na teplo-vlagoobmen ograzhdayushchikh konstruktsiy zdaniy [Investigation of the influence of the wind regime on the heat-moisture exchange of the enclosing structures of buildings.], 26 (in Russian).
9. **Bullová I. (2016).** Wind action on the building facade and Its influence on ventilation heat losses. *Technical University of Kosice*, 844, 249.
10. **Markus T. A. and Morris E. N. (1980).** Buildings, Climate and Energy, Pitman, 542.
11. **Fukai, Dermis (2008).** Being sustainable : Building System Performance.
12. **Ken Yeang, Lucy Bullivant (2011).** Eco Skyscrapers II , *The Images Publishing Group*.
13. **Antony Wood, Payam Bahrami & Daniel Safarik (2014).** Green Walls in High-Rise Buildings – An output of the CTBUH Working Group, *The Images Publishing Group*.
14. **Lloyd Jones, David (1998).** Architecture and the Environment. Laurence King.
15. **Hyde, Richard (2007).** Bioclimatic Housing. Innovative Designs for Warm Climates. *Paperback*, 400.
16. **Foster, Michel (1983).** The principles of architecture. Style, structure and design, *Phaidon*, 202.
17. **Yeang, Ken (1995).** Designing with Nature: The Ecological basis for Architectural Design, *New York : McGraw Hill Publication*.
18. **Xu Xu, Steven Van Dessel (2008).** Evaluation of an Active Building Envelope window-system. *Building and Environment*, 85-91. doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.013
19. **Cheng Y., Nin J., Gao N. (2012).** Thermal comfort models: A review and numerical investigation. *Building and Environment*, 47, 13-22. doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.011
20. **Vasco Granadeiro, José P. Duarte, João R. Correia, Vítor M. S. Leal (2013).** Building envelope shape design in early stages of the design process. *Integrating architectural design systems and energy simulation*, 196-209.

### Energy efficient solutions of passive air exchange in architecture of high-rise buildings

*Olga Krivenko*

**Summary.** The development of passive air exchange in tall buildings is relevant in connection with the peculiarities of their architectural and planning decisions. Thus, the tendency to increase the proportion of glazing of facades in modern high-rise buildings leads to an increase in power capacity for air conditioning, which can reach 100%. In addition, the traditional ventilation of rooms in tall buildings through open windows is impossible due to the high pressure of the outside air. These and other factors create special requirements for the design of air exchange in high-rise buildings and contribute to the search for modern energy-efficient solutions.

The passive air exchange is based on natural laws and phenomena, which significantly reduces the costs of operating such systems. In the article, based on the examples of solutions, the analysis of the world history experience of passive air exchange in buildings is done. The current experience of architectural solutions based on passive

techniques of internal air exchange includes the latest facade systems, the design of atriums with the function of air exchange, the formation of a building taking into account the optimization of the collection of air, and others.

Integration of passive air exchange solutions to the energy efficient high-rise building is used within the framework of the KNUBA research project when designing a kilometer skyscraper "Biotecton". The project solution provides the acquisition of clean and cool air from the higher level of technical floors, where the wind generators are located.

Air distribution scheme of the building using passive air exchange based on the temperature difference between the upper and lower floors. Accepted parameters of temperature decrease with each kilometer from the ground surface 6-7° C. Calculations confirmed the possibility of natural ventilation of rooms through a slight gain with a help of the mechanical devices. To improve the quality of air supply, a system of green gardens is used, which spiral along the height of the building.

**Keywords:** Natural ventilation, passive air exchange, "Biotecton", high-rise buildings.