DOI: 10.32347/2076-815x.2021.77.266-275
УДК 721.021, 69.001.5
к.т.н., доцент **Кривенко О.В.**,
knuba.o.v.k@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8949-0944,
Київський національний університет будівництва та архітектури

# АНАЛІЗ КЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВІТРОЕНЕРГОАКТИВНИХ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ

*Проаналізовані основні кліматичні параметри, що впливають на проектування вітроенергоактивних висотних будівель. Досліджено макрокліматичні показники, що визначають загальний енергетичний ресурс вітру в регіоні, з урахуванням параметрів швидкості вітру та питомої потужності енергії вітру. Визначено вплив на вітровий потенціал параметрів мезоклімату, що формується відповідно до особливостей природного та антропогенного середовища (рельєф, наявність лісів, близькість до водойм, міська забудова). Досліджені параметри для уточнення енергетичного вітрового потенціалу на мікрокліматичному рівні з урахуванням розташування ВЕУ у будівлі. У результаті проведеного аналізу визначено схему структури попереднього моделювання енергетичного вітрового потенціалу на різних кліматичних рівнях (макро, мезо та мікрорівнях) при проектуванні ВЕУ у висотних будівлях.*

*Ключові слова: вітроенергетичні установки (ВЕУ); кліматичні параметри; вітроенергоактивні висотні будівлі; оптимізація проектних рішень; потенціал вітрової енергії.*

**Постановка проблеми та аналіз досліджень**. Інженерно - технічні можливості використання відновлювального енергетичного ресурсу вітру, зростаючого разом з висотою будівлі, стали основою для появи вітроенергоактивних висотних будівель. Вітроенергоактивні висотні будівлі зорієнтовані на ефективне використання енергетичного потенціалу вітру з метою часткового або повного (автономного) енергозабезпечення [1,2].

Основою та джерелом вітрової енергії є природа. Повітряні потоки різної інтенсивності присутні практично усюди на планеті. Згідно з [14], вітер - це повітря з високою кінетичною енергією, яку можна перетворити на корисну роботу за допомогою лопатей вітрогенератора та генератора.

В основі раціонального підходу при проектуванні вітроенергоефективних висотних об’єктів лежить комплексний кліматичний аналіз середовища. Для ефективної інтеграції вітроенергетичних установок (ВЕУ) у висотну будівлю важливим та необхідним є визначення та систематизація вхідних кліматичних

параметрів, що визначають вітровий енергетичний потенціал. Проаналізуємо визначення енергетичного вітрового потенціалу на макро, мезо та мікро кліматичних рівнях.

**Мета статті** – проаналізувати та систематизувати основні кліматичні параметри, що впливають на проектування вітроенергоактивних висотних будівель.

**Основна частина.** Макрокліматичні показники визначають загальні підстави для застосування ВЕУ та виражаються у щорічних довгострокових показниках швидкості та потужності вітру на заданій території. В основі оцінки ефективності важливим є розуміння того, що ВЕУ малої та середньої потужності виробляють енергію при дії вітру із середньорічною швидкістю від 3 - 5 м/с, а ВЕУ великої потужності - більше 7 м/с [1 − 3].

Обсяг вітрового ресурсу є основним параметром успішного застосування енергії вітру. До прикладу, у класифікації (табл. 1) потенціал вітрової енергії для висот 10, 30, 50 метрів визначається з урахуванням параметрів швидкості вітру V (м/с) та питомої потужності енергії вітру (Вт/м$^2$), відповідно із [15].

Таблиця 1

Класифікація загального потенціалу вітрової енергії [15]

| **Клас енергії вітру** | **Питома потужність вітру (Вт/м$^2$)** | **Швидкість вітру (м/с)** | **Питома потужність вітру (Вт/м$^2$)** | **Швидкість вітру (м/с)** | **Питома потужність вітру (Вт/м$^2$)** | **Швидкість вітру (м/с)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **на висоті 10 метрів** | | **на висоті 30 метрів** | | **на висоті 50 метрів** | |
| **1** | 100 | 4,4 | 160 | 5,1 | 200 | 5,6 |
| **2** | 150 | 5,1 | 240 | 5,9 | 300 | 6,4 |
| **3** | 200 | 5,6 | 320 | 6,5 | 400 | 7,0 |
| **4** | 250 | 6,0 | 400 | 7,0 | 500 | 7,5 |
| **5** | 300 | 6,4 | 480 | 7,4 | 600 | 8,0 |
| **6** | 400 | 7,0 | 640 | 8,2 | 800 | 8,8 |
| **7** | 1000 | 9,4 | 1600 | 11,0 | 2000 | 11,9 |

Згідно із [3] питома потужність вітрового потоку $N$ (Вт/м$^2$), це потужність вітру віднесена до одного метра квадратного, перпендикулярно до напрямку вітру, що дорівнює:

$$N = 1/2\rho V^3 \quad \text{Вт/м}^2,$$

де $\rho$ - середня щільність вітрового потоку, що дорівнює 1,225 кг /м$^3$ при температурі 15° С та атмосферному тиску 0,0981 МПа (760 мм рт. ст.) потоку, $V$ - швидкість вітрового потоку, м/с.

Крім того, на ефективну роботу ВЕУ впливають інші макрокліматичні показники: температура зовнішнього повітря, кількість опадів, атмосферний

тиск. Наприклад, згідно досліджень [4 − 6], у зимовий період вітер сильніший, а холодне повітря щільніше ніж гаряче, тому теоретично воно більше підходить для живлення турбін. Тим не менш, більшість сучасних турбін призначені для роботи при температурі не нижче -20 ° С . При більш низьких температурах крига та сніг накопичуються на лопатках турбін та обмежують продуктивність їх роботи, що призводить до втрат електроенергії в межах від 3% до 16% на рік.

Макрокліматичні показники вказують на загальний енергетичний ресурс вітру в регіоні, який потребує коригування відповідно із мезо та мікрокліматичними параметрами. Аналіз даних про вітер на місці або поблизу встановлення ВЕУ протягом принаймні 12 місяців надає більш точну картину енергетичного потенціалу вітру [7].

На енергетичні характеристики вітру впливають параметри мезоклімату, що формується відповідно до особливостей природного та антропогенного середовища ( рельєф, наявність лісів, близькість до водойм, міська забудова). Швидкість, потужність, напрям вітру змінюється залежно від сезону, часу доби та погодних явищ відповідно до місця розташування будівлі. Наприклад, кращі показники вітрових ресурсів вздовж берегових ліній, у високогірних районах, на відкритих місцевостях. Чим сильніше виражена нерівність місцевості - шорсткість підстильної поверхні, тим більше сповільнюється вітер, що впливає на параметри швидкості та потужності вітру (рис. 1).

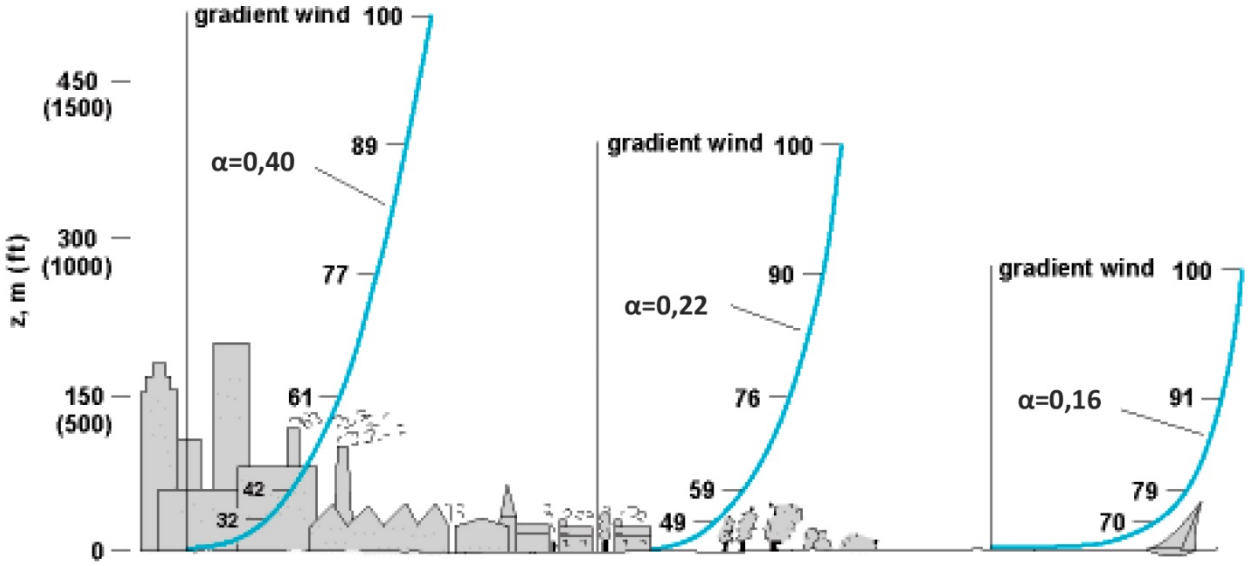


Рис. 1. Профілі розподілу швидкості вітру для поверхонь на різній висоті та шорсткості підстильної поверхні [ 2 ]

Особливо це стосується міської забудови, де будівлі різної висоти створюють зони вітрової тіні, що перешкоджають вітровому потоку. Як зазначається в [8], у розрахунках прийнято 3 типи місцевості, що визначаються відповідним значенням коефіцієнта $\alpha$ :

*перший тип для котрих* $\alpha = 0,16$ – відкриті узбережжя озер і водосховищ, пустелі, степу, лісостепу;

*другий тип для котрих* $\alpha = 0,22$ – міські території, лісні масиви і інші місцевості, що рівномірно вкриті перешкодами висотою більше 10 м;

*третій тип для котрих* $\alpha = 0,40$ – місцевість з крупними елементами шорсткості (міські райони з забудовою будинками більшими 25 м).

На мікрокліматичному рівні відбувається уточнення енергетичного вітрового потенціалу з урахуванням розташування ВЕУ у будівлі. Вибір місця розташування ВЕУ у висотній будівлі має вирішальне значення для її довгострокової та ефективної роботи. Слід враховувати близькість до сусідніх будівель, дерев, споруд, що може призвести до утворення вітрової тіні чи зони турбулентності. Найкраще, коли ВЕУ розміщено у місцях із широким та відкритим доступом до переважаючих вітрів. Перешкоди зменшують енергію вітру та збільшують турбулентність, що призводить до зниження виробництва енергії турбіною. Зростання висоти при розташуванні ВЕУ забезпечує доступ для вітрів з більшою швидкістю та з меншою турбулентністю. Турбулентність повітря зменшує вироблення енергії, а також має руйнівний вплив на технічне обладнання ВЕУ, що викликає потребу додаткового обслуговування та скорочення термінів експлуатації. Крім того, турбулентність впливає на зміну переважаючого (розрахункового) напряму вітру. Для точного моделювання турбулентних потоків навколо будівлі застосовується обчислювальна техніка чи експериментальне моделювання в аеродинамічній трубі. При попередньому моделюванні розташування ВЕУ та при аналізі впливу на установки турбулентних потоків рекомендується закласти 9 метрів над потенційними перешкодами (дерева, сусідні будівлі, виступаючі частини самої будівлі)[7-12].

Для розрахунку потужності вітрової енергії, що надходить до вітрової турбіни заданої площини, застосовується наступне співвідношення [3] :

$$N\omega = \tfrac{1}{2}\rho V^3 A$$

де $N\omega$ - потужність вітру, що надходить до вітрової турбіни (Вт/м$^2$), $\rho$ – щільність повітря (кг/м$^3$), $V$ – швидкість вітру, що рухається до ВЕУ (м/с), $A$ – запроектована площа турбіни ( м$^2$).

Таким чином, потужність вітру пов'язана з кубом швидкості вітру ($V^3$). Цей взаємозв'язок важливий, оскільки в міру подвоєння швидкості вітру потужність

збільшується у вісім разів ($2^3 = 8$). Отже, невеликі зміни швидкості можуть призвести до значних відмінностей у виробництві енергії.

У результаті проведеного аналізу визначено схему структури попереднього моделювання енергетичного вітрового потенціалу на різних кліматичних рівнях (макро, мезо та макрорівнях) при проектуванні ВЕУ у висотних будівлях (рис. 2).

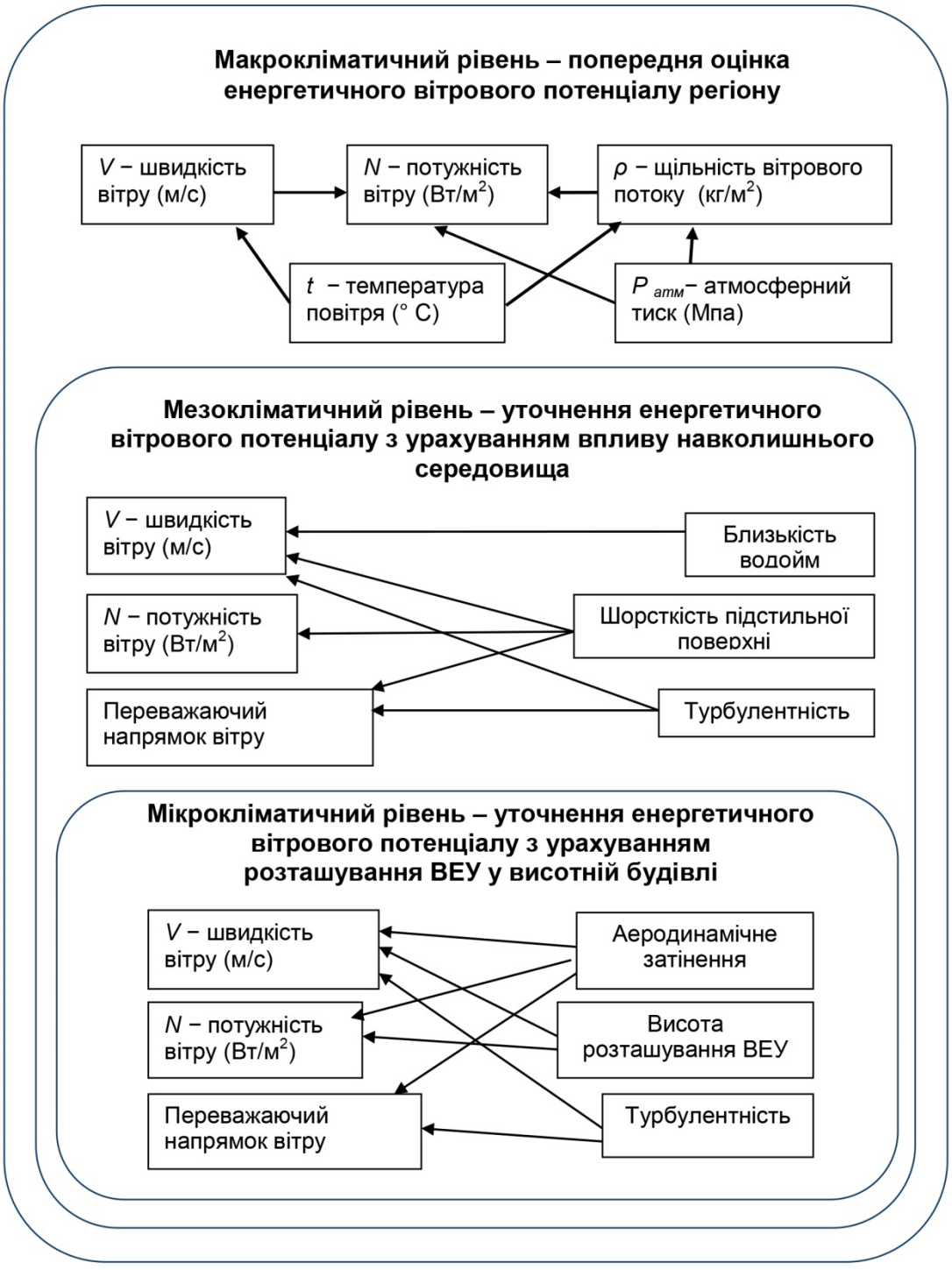


Рис. 2. Схема структури попереднього моделювання енергетичного вітрового потенціалу на різних кліматичних рівнях при проектуванні ВЕУ у висотних будівлях (розроблено автором)

Для різних етапів проектування інтеграції ВЕУ у висотну вітроенергоефективну будівлю важливим є врахування розмірності кліматичних систем (макро, мезо та мікро рівень), що ґрунтуються на закономірностях, які діють у певних територіальних межах. При проведенні аналізу вітрових характеристик розмірність кліматичних систем характеризує рівень змінності структурно-динамічних ознак кліматичних параметрів навколишнього середовища. З макрокліматичного рівня починається аналіз потенціалу вироблення вітрової енергії на території з урахуванням показників температури, тиску повітря, швидкості вітру. На наступних мезо та макрорівнях максимально доступний потенціал вітроенергетики зменшується за рахунок дослідження обмежуючих факторів: впливу оточуючого середовища, уточнення розташування ВЕУ (орієнтації по сторонах світу, висоти над рівнем поверхні землі). Запропонований підхід започатковує можливість поетапного аналізу кліматичних чинників для оптимізації та ефективного розташування ВЕУ у висотних будівлях з урахування кліматичних умов та впливу навколишнього середовища.

**Висновки.** Актуальність дослідження пов'язана із потребою у створенні науково - обґрунтованих принципів проектування вітроенергоактивних висотних будівель. Доцільність використання енергії вітру, застосування конкретної технології та вітроенергетичного обладнання потребують ретельного аналізу для кожного проектного рішення у висотній будівлі [13,14].

Результати проведеного дослідження дали можливість встановити, що в основі раціонального підходу при проектуванні вітроенергоефективних висотних об'єктів лежить комплексний кліматичний аналіз середовища. У той час як сучасні дослідження зосереджуються в основному на технічних показниках продуктивності та економічної доцільності ВЕУ, моделювання вітрового енергетичного потенціалу на основі аналізу кліматичних параметрів дозволяє оптимізувати проектні рішення при формоутворенні, визначенні місця та типу ВЕУ у висотній будівлі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Neha Purohit, Peeyush Gupta, Dr. Garima Goswami, 2014, Harvesting Wind Energy from Tall Buildings, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Etrasct – 2014, (Volume 2 – Issue 03), ISSN: 2278-0181, p. 43-47.

2. Bošnjaković, Mladen. (2013). Wind Power Buildings Integration. Journal of Mechanics Engineering and Automation. p.221-226. DOI:10.17265/2159-5275/2013.04.005

3. Рензо Д. Ветроэнергетика / под ред. Я.И. Шефтера. М.: Энергоатомиздат, 1982. С. 4–35.

4. Bungov, V.; Isaev, S.; Kharchenko, V., 1998. Calculation of the wind action on a cooling tower in the presence of devices for equalizing the ground flow. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 71(5), pp. 852-857. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/BF02681636

5. Симиу, Э. Воздействие ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан; пер. с англ. Б.Е. Маслова, А.В. Швецова; под ред. Б. Е. Маслова. – М. : Стройиздат, 1984. – 360 с.

6. Реттер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. М.: Стройиздат, 1984. – 494с.

7. Семашко К.И. Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки. – М.: Стройиздат, 1986, - 59 с.

8. Тимофєєв М.В., Сергейчук О.В., Шамріна Г.В. Комплексна оцінка кліматичних умов житлової забудови. Київ: КНУБА, 2015. 128 с.

9. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы. Київ: Наукова думка, 1999. 320 с.

10. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 192 с.

11. Кривенко О.В. Про особливості врахування вітрових навантажень у сучасному архітектурному проектуванні // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Київ: КНУБА, 2008. Вип. № 19. С. 101–103.

12. Krivenko O. (2019). Analysis parameters of macroclimate for design of high-rise bio-climate buildings // Просторовий розвиток територій: традиції та інновації тези конференції, 10–11 жовтня 2019 р. Київ: ІІНО КНУБА. С. 78–80.

13. Generalova E., Generalov V., Kuznetsova A., Bobkova O. Mixed-use development in a high-rise context. E3S Web of Conferences 33, *01021*(2018). DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183301021.

14. Кривенко О.В. (2019). Особенности формирования внутреннего микроклимата высотных биоклиматических зданий. Colloquium-journal. Architecture. Physics and mathematics, Warszawa, Polska, 28(52), 12–15. ISSN 2520-6990, ISSN 2520-2480. DOI: https://doi.org/10.24412/2520-2480-2020-3183-5-11.

15. Wind Technology. Whole Building Design Guide. URL: https://www.wbdg.org/resources/wind-technology (дата звернення: 03.05.2021).

к.т.н., доцент Кривенко О. В.,
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

# АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕТРОЭНЕРГОАКТИВНЫХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Актуальность исследования связана с необходимостью определения научно-обоснованных принципов проектирования ветроэнергоактивных высотных зданий. В статье проанализированы основные климатические параметры, влияющие на проектирование ветроэнергоактивных высотных зданий. В то время как современные исследования сосредоточены в основном на технических показателях производительности и экономической эффективности ветроэнергетических установок (ВЭУ), моделирование ветрового энергетического потенциала на основе анализа климатических параметров позволяет оптимизировать проектные решения с учетом влияния окружающей среды.

Для различных этапов проектирования интеграции ВЭУ в высотное здание важно учитывать размерности климатических систем (макро, мезо и микро уровень), основанные на закономерностях, действующих в определенных территориальных границах. При проведении анализа ветровых характеристик размерность климатических систем характеризует уровень изменения структурно-динамических признаков климатических параметров окружающей среды. В статье рассмотрены макроклиматические показатели, определяющие общий энергетический ресурс ветра в регионе. Определено влияние на ветровой потенциал параметров мезоклимата, в соответствии с особенностями природной и антропогенной среды (рельеф, наличие лесов, близость к водоемам, городская застройка). Исследованы параметры, уточняющие энергетический потенциал ветра на микроклиматическом уровне с учетом расположения ВЭУ в здании.

В результате проведенного анализа определена схема структуры предварительного моделирования энергетического ветрового потенциала на различных климатических уровнях при проектировании ВЭУ в высотных зданиях.

Ключевые слова: ветроэнергетические установки; климатические параметры; ветроэнергоактивные высотные здания; оптимизация проектных решений; потенциал ветровой энергии.

Ph.D in Technical Science, **Krivenko Olga Vitaliivna,**
Kyiv National University of Construction and Architecture

## ANALYSIS OF CLIMATIC PARAMETERS WHEN DESIGNING WIND POWER HIGH-RISE BUILDINGS

The relevance of the study is associated with the need to determine scientifically based principles for the design of wind-powered high-rise buildings. The article analyzes the main climatic parameters affecting the design of wind-powered high-rise buildings. While current research focuses mainly on the technical performance and savings of wind power plants (WPPs), modeling wind energy potential based on the analysis of climatic parameters allows you to optimize design solutions taking into account the influence of the environment.

For various stages of the design of the integration of wind turbines into a high-rise building, it is important to take into account the dimensions of climate systems (macro, meso and micro levels), based on the laws operating within certain territorial boundaries. The article discusses the macroclimatic indicators that determine the total energy resource of wind in the region. The influence of the parameters of the mesoclimate on the wind potential has been determined, in accordance with the characteristics of the natural and anthropogenic environment (relief, the presence of forests, proximity to water bodies, urban development). The parameters that clarify the energy potential of the wind at the microclimatic level, taking into account the location of the wind turbine in the building, have been investigated.

As a result of the analysis, a diagram of the structure of preliminary modeling of the energy wind potential at various climatic levels in the design of wind turbines in high-rise buildings has been determined.

Keywords: wind power plants; climatic parameters; wind-powered high-rise buildings; optimization of design solutions.

## REFERENCES

1. Neha Purohit, Peeyush Gupta, Dr. Garima Goswami (2014). Harvesting Wind Energy from Tall Buildings, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Etrasct – 2014, (Volume 2 – Issue 03), ISSN: 2278-0181, p. 43-47. {in English}

2. Bošnjaković, Mladen. (2013). Wind Power Buildings Integration. Journal of Mechanics Engineering and Automation. p.221-226. DOI:10.17265/2159-5275/2013.04.005 {in English}

3. Renzo D. Vetroenergetika / pod red. YA.I. Sheftera. M.: Energoatomizdat, 1982. S. 4–35. {in Russian}

4. Bungov, V.; Isaev, S.; Kharchenko, V. (1998). Calculation of the wind action on a cooling tower in the presence of devices for equalizing the ground flow. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 71(5), pp. 852-857. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/BF02681636 {in English}

5. Simiu, E. Vozdeystviye vetra na zdaniya i sooruzheniya / E. Simiu, R. Skanlan; per. s angl. B. Ye. Maslova, A. V. Shvetsova; pod red. B. Ye. Maslova. – M. : Stroyizdat, 1984. – 360 s. {in Russian}

6. Retter E. I. Arkhitekturno-stroitel'naya aerodinamika. M.: Stroyizdat, 1984. – 494s. {in Russian}

7. Semashko K. I. Rukovodstvo po otsenke i regulirovaniyu vetrovogo rezhima zhiloy zastroyki. – M.: Stroyizdat, 1986, - 59 s. {in Russian}

8. Tymofyeyev M.V., Serheychuk O.V., Shamrina H.V. Kompleksna otsinka klimatychnykh umov zhytlovoyi zabudovy. Kyyiv: KNUBA, 2015. 128 s. {in Ukrainian}

9. Mkhitaryan N.M. Energetika netraditsionnykh i vozobnovlyayemykh istochnikov. Opyt i perspektivy. Kiĭv: Naukova dumka, 1999. 320 s. {in Russian}

10. Tabunshchikov YU.A., Brodach M.M., Shilkin N.V. Energoeffektivnyye zdaniya. M.: AVOK-PRESS, 2003. 192 s. {in Russian}

11. Kryvenko O.V. (2008). Pro osoblyvosti vrakhuvannya vitrovykh navantazhen′ u suchasnomu arkhitekturnomu proektuvanni // Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya. Kyyiv: KNUBA, 2008. Vyp. № 19. S. 101–103. {in Ukrainian}

12. Krivenko O. (2019). Analysis parameters of macroclimate for design of high-rise bio-climate buildings // Prostorovyy rozvytok terytoriy: tradytsiyi ta innovatsiyi tezy konferentsiyi, 10–11 zhovtnya 2019 r. Kyyiv: IINO KNUBA. S. 78–80. {in English}

13. Generalova E., Generalov V., Kuznetsova A., Bobkova O. Mixed-use development in a high-rise context. E3S Web of Conferences 33, *01021* (2018). DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183301021. {in English}

14. Кривенко О.В. (2019). Krivenko O.V. (2019). Osobennosti formirovaniya vnutrennego mikroklimata vysotnykh bioklimaticheskikh zdaniy. Colloquium-journal. Architecture. Physics and mathematics, Warszawa, Polska, 28(52), 12–15. ISSN 2520-6990, ISSN 2520-2480. DOI: https://doi.org/10.24412/2520-2480-2020-3183-5-11.{in Russian}

15. Wind Technology. Whole Building Design Guide. URL: https://www.wbdg.org/resources/wind-technology (data zvernennia: 03.05.2021). {in English}