

## ЕКО-АРХІТЕКТУРА: ІНТЕГРАЦІЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ В АРХІТЕКТУРУ БУДІВЛІ

У статті розглядається проблеми енергозабезпечення і їх вирішення шляхом залучення нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії (НВДЕ), а саме – вітру та можливість інтеграції вітроенергетичної установки в конструкцію будівлі.

Ключові слова: енергозбереження, нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії (НВДЕ), вітроенергетична установка.

**Актуальність теми:** Проблема розвитку нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії (НВДЕ) і їх застосування в архітектурі є актуальною сьогодні, тому що вичерпання запасів органічного палива усе гостріше ставить проблеми енергозабезпечення людства на перший план. Особливо гостро для України проблема енергозбереження проявилася останніми роками у зв'язку з новою хвилею подорожчання викопних енергоресурсів, а закономірна тенденція їх подорожчання невблаганно триватиме.

Встановлено, що найбільш негативну дію на природне середовище чинить спалювання величезної кількості палива з метою енергозабезпечення експлуатації будівель, що супроводжується великомасштабними забрудненнями атмосфери. Найбільш перспективні сьогодні два шляхи підвищення енергоефективності об'єктів будівництва :

- економія енергії (зниження енергоспоживання і енерговитрат);
- залучення НВДЕ.

Друга тенденція має більшу перевагу, оскільки розглядає проблеми екології, а їх правильне поєднання дає найбільш високий результат, оскільки допомагає поєднати архітектурно-планувальні прийоми з нетрадиційними рішеннями в області енергоефективності .

Україна має високий вітровий потенціал практично на 50% території. Вітряні турбіни – один з найбільш технологічно вдосконалених й ефективних альтернативних джерел енергії – доступні вже сьогодні. Вітроенергетика, як підгалузь світової енергетики почала формуватися в 90-х роках минулого століття. Це енергетичний напрям, що найбухливіше розвивається сьогодні [1].

В світовій практиці, непоодинокі випадки інтеграції вітрогенераторів в конструкцію будівлі. У Лондоні з'явилася перша у світі вежа Strata SE1 (рис.1), в конструкцію якої інтегровані екологічні повітряні турбіни, які забезпечують енергією розташовані нижче апартаменти. В США була інтегрована в дах Оклахомського Медичного дослідницького фонду(OMRF) найбільша кількість вертикальних вітрогенераторів (рис.2). Проект, розроблений Venger Wind, складається з 18 вертикальних осьових

ветротурбін V2. Турбіни, за прогнозами, виробляють 85 500 кВт\*ч електроенергії за рік.

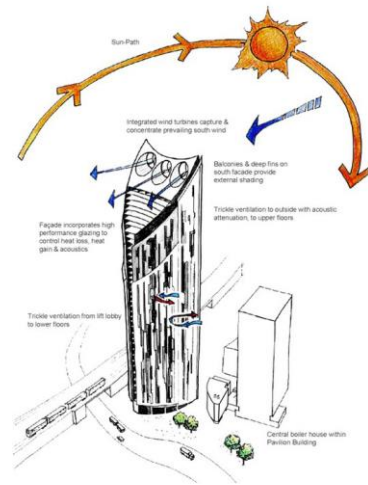


Рис. 1 - Вежа Strata SE1, Лондон



Рис. 2 - ВЭС інтегрована в дах Оклахомського Медичного дослідницького фонду(OMRF)

Проекти будинків з інтегрованими вітроенергетичними установками (ВЕУ), які використовують вітер як постійне джерело альтернативної енергії, дозволяють значно скоротити викиди вуглекислого газу, допомагають боротися зі зміною клімату й збільшують безпеку енергопостачання в майбутньому, коли викопні паливні ресурси вичерпаються. Застосування енергозбережного створює нові образи в архітектурі, що є важливим з точки зору відеоєкології і естетики сприйняття.

**Об'єкт дослідження:** Прототипом для об'єкта, досліджуваного в даній роботі, був Всесвітнього Торгівельного Центру розташованого в Бахреїні (BWTC – Bahrain World Trade Center) (рис. 3).

Вежі Торгівельного Центру були побудовані в 2008 році багатонаціональною будівельною фірмою Atkins. Вежі прототипу об'єднані

повітряними мостами, на яких встановлені горизонтально-осьові вітроенергетичні установки.

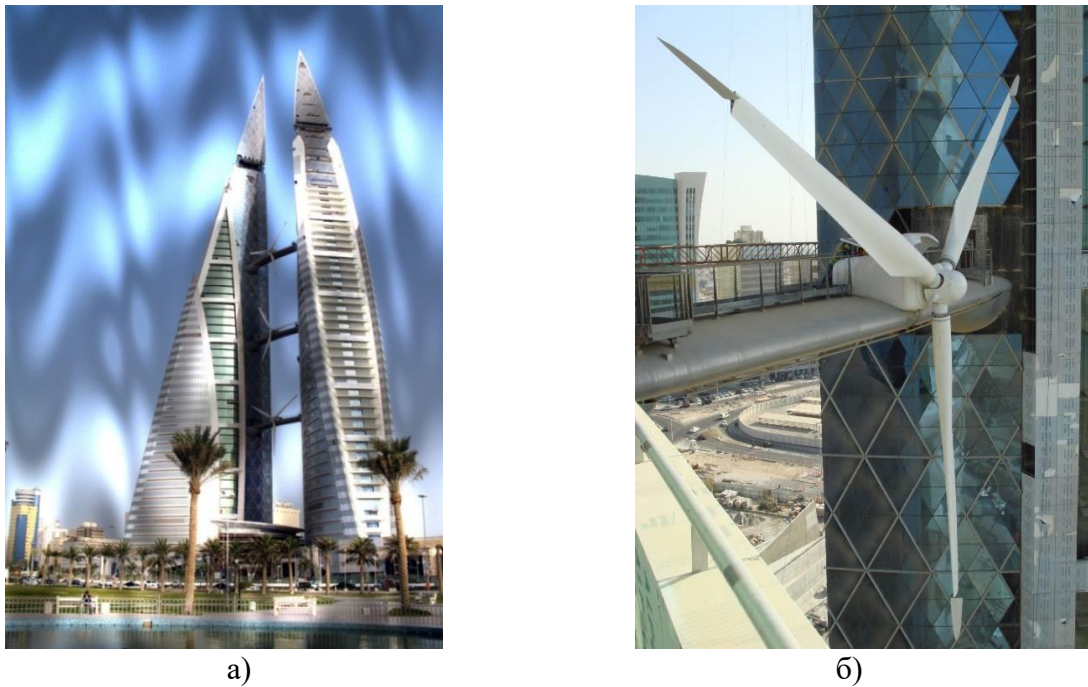


Рис. 3 - Всесвітній торговельний Центр у Бахреїні  
а) - загальний вигляд будівлі; б) - повітряний міст із вітрогенератором

У даній роботі з причин, які викладено нижче, запропоновано ВЕУ, яка не пов'язана з вежами Торговельного Центру.

У прототипі три масивних турбіни, кожна 29м у діаметрі, розташовані проміж двох веж комплексу. Сумарна потужність генераторів – 675 кВт. Форма обох веж утворює "тунель", що дозволяє вітру з боку затоки проходити між ними, одночасно створюючи знижений тиск за будівлями, що підвищує швидкість вітру в районі турбін. Таке архітектурне рішення дозволило підсилити швидкість вітру, що проходить через турбіни, до 30%. (рис. 4). Вдале розташування турбін й унікальний з погляду аеродинаміки проект веж дозволив максимально використати потужність вітрів, що дують із Саудівської Аравії й забезпечити від 11 до 15% необхідної будинку електроенергії.



Рис. 4 Напрямок потоку повітря при випробуваннях в аеродинамічній трубці.

Обидві вежі з'єднані по висоті трьома мостами довжиною 31.7м, на кожному мості закріплені вітряні генератори електроенергії. Мости мають спеціальну опорну конструкцію, що дозволяє мостам переміщатися на 0.5м відносно веж. Мости запроєктовані так, що вони можуть витримувати й поглинати коливання, викликані вітром й обертанням турбін.

Дослідження, проведені Atkins & Partners Overseas, показали, що інтеграція вітряних генераторів у будівлю не є вдалим рішенням через високу вартість (може досягати до 30% від вартості всього будівництва). Це пов'язано, у першу чергу, з витратами на додаткове проектування будівель, а також дослідження з підготовки спеціальних вітряних турбін [2].

Тож, беручи до уваги складну конструкцію мостів, складності монтажу, додаткових навантажень на несучі елементи веж, високої вартості інтеграції вітряних генераторів усередину будівель у роботі було прийнято рішення відмовитися від коаксіальних вітроагрегатів (з горизонтальною віссю обертання). Альтернативою горизонтально-осьовим ВЕУ - ортогональні вітровий генератор (з вертикальною віссю обертання).

Основною перевагою вертикально-осьових ВЕУ є можливість розміщення генератора й мультиплікатора на фундаменті установки, виключення кутової передачі крутного моменту. Це дозволяє відмовитися від потужної, як правило, багатопотоковою кутової передачі крутного моменту, зм'якшити вимоги до монтажу устаткування (виключити обмеження по габаритам й масі) і до умов експлуатації (відсутність поштовхів і вібрацій). При розміщенні устаткування на фундаменті різко поліпшуються умови його монтажу й експлуатації, спрощується передача вироблюваної електроенергії.

Збільшення горизонтально-осьових пропелерних ВЕУ малоефективне. Вони мають верхню межу потужності в 3-4 МВт, тому що на їхній лопаті крім відцентрових діють згинаючі сили, змінні по величині й напрямку, що обмежує розміри лопатей, істотно знижує надійність горизонтально-осьових пропелерних ВЕУ й скорочує строки їхньої експлуатації. Тому найкращим рішенням є вертикально-осьова схема, теоретична межа потужності якої по сучасним уявленням на порядок вище теоретичної межі потужності горизонтально-осьових пропелерних ВЕУ.

Тихохідні вертикально-осьові ВЕУ (рис. 5) з погляду впливу на навколишнє середовище мають переваги перед швидкохідними горизонтальними пропелерними: при їхній роботі нижче всі рівні аеродинамічних навантажень й інфразумів, вібрації, менше теле- і радіоперешкоди, менше радіус розкиду уламків лопатей у випадку їхнього руйнування, нижче ймовірність зіткнення лопатей із птахами. Більше того, згідно застосовуваним ГОСТам і СНиПам такі ВЕУ можна розташовувати на житлових, офісних і виробничих будинках, не говорячи про складні інженерні споруди (мости, ферми, і т.д.).

Основні достоїнства ортогональних вітрогенераторів:

- відсутня необхідність використовувати в їхній конструкції напрямних механізмів, тому що робота цих установок не залежить від напрямку вітру;

- за рахунок вертикально розташованого головного валу, приводне устаткування може бути розташоване на рівні землі, що значно спрощує його експлуатацію.

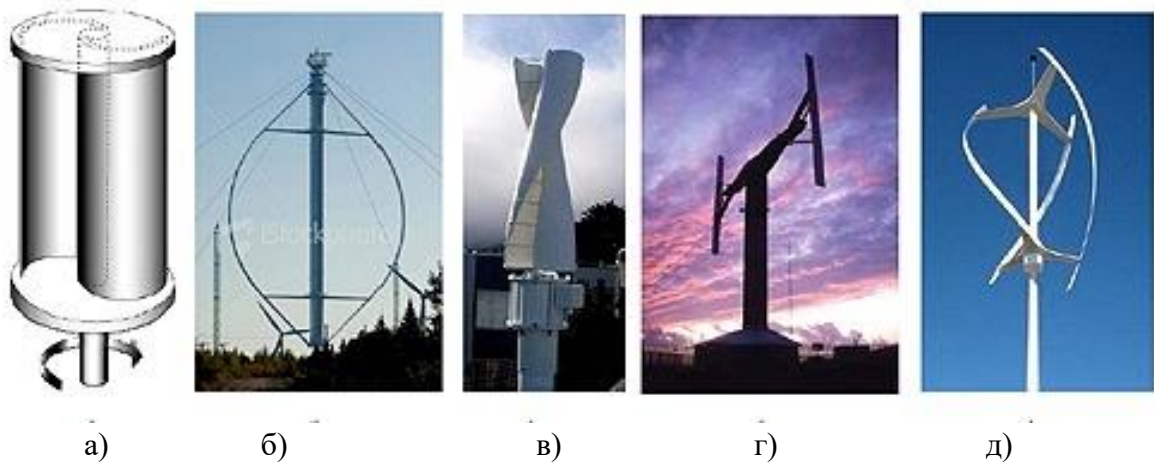


Рис. 5 - Вітрогенератори з вертикальною віссю обертання  
а) - ротор Савониуса; б) - ротор Даррьє; в) - ротор Масгрова; г) - ротор "Виндсайт"; д) - геликоїдна турбіна Горлова

#### Недоліки ортогональних вітрогенераторів:

- більш низькі терміни служби опорних вузлів, за рахунок більш високих динамічних навантажень на них з боку ротора ВЕУ, тому що при обертанні ротора підйомна сила від кожної лопаті міняє свій напрямок на  $360^\circ$ , що створює додаткові динамічні навантаження;

- лопатева система ортогональних установок є більше масивною в порівнянні з еквівалентними по потужності горизонтально-осьовими установками;

- ефективність роботи лопатевої системи ортогональних установок є більше низькою в порівнянні з горизонтально-осьовими, тому що в процесі одного обороту ротора, кути атаки потоку вітру на лопать міняються в широких діапазонах, у той час, як у горизонтальних вітрогенераторах їх можна виставляти близькими до оптимального [3].

*Основні характеристики головних будинків торговельного центру:* Кожна вежа головних будівель торговельного центру являє собою рамно-в'язеву систему. Несучі конструкції каркаса - вертикальні й похилі залізобетонні колони й монолітні плити перекриття. Вежа – 45-ти поверховий будинок, увінчаний шпилем висотою 64м. Будівля вежі має два ядра жорсткості й поздовжні діафрагми.

Загальний вид головних будівель торговельного центра наведено на рис. 6.

*Основні характеристики конструкцій несучих вітроенергетичних установок.*

Вежа ВЕУ – в плані кругла споруда діаметром 4 м. Каркас вежі, утворюється п'ятьма несучими колонами з профілю "Три труби" та

поздовжніми колонами фахверкового типу з профілю "Молодечно".

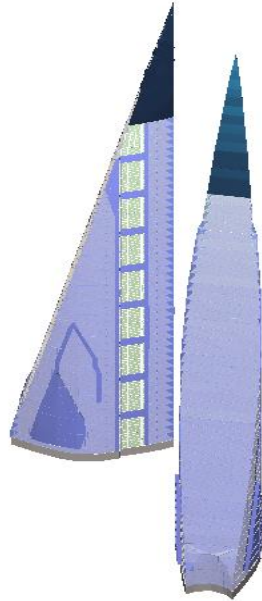


Рис. 6 - 3D модель веж торговельного центру, яка створена в ПК "САПФІР"

Несучі й поздовжні колони зв'язані між собою кільцевими ребрами жорсткості. Висота вежі до опорної площадки вітрового генератора - 61м.

Несучі колони вежі підпираються п'ятьма криволінійними "підкосами". Для збільшення жорсткості вежа посилена попередньо напруженими вантами, які з'єднують вершину вежі з опорною площадкою. Для зменшення навантаження від власної ваги, обшивка вежі ВЕУ виконана з поліпропіленових листів. Загальний вид вежі ВЕУ показаний на рис. 7, а.

Фундамент вежі (рис. 7, б) - залізобетонна ребриста плита радіусом 18м. Ребра фундаменту - балки змінного перетину. Плита посилена кільцевим ребром жорсткості постійного перетину.

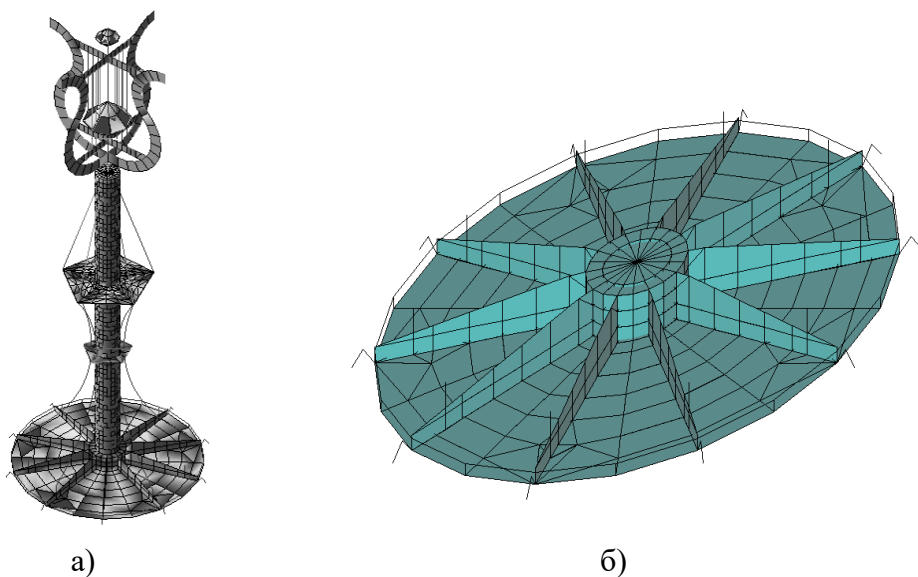


Рис. 7 - 3D модель вітроенергетичної установки, яка створена в ПК "ЛІРА-САПР",  
а) - вежа ВЕУ; б) - фундамент вежі ВЕУ

У центрі плити - закладна металева оболонка для кріплення каркаса вежі діаметром 4 м. Оболонка посилена кільцевими ребрами.

Для створення комп'ютерної моделі торговельного комплексу використовувалися різні типи скінчених елементів [4,5], в тому числі нелінійні скінченні елементи для моделювання фундаментної плити вежі ВЕУ.

На рис. 8 показана скінчено-елементна модель запроєктованого торговельного комплексу.

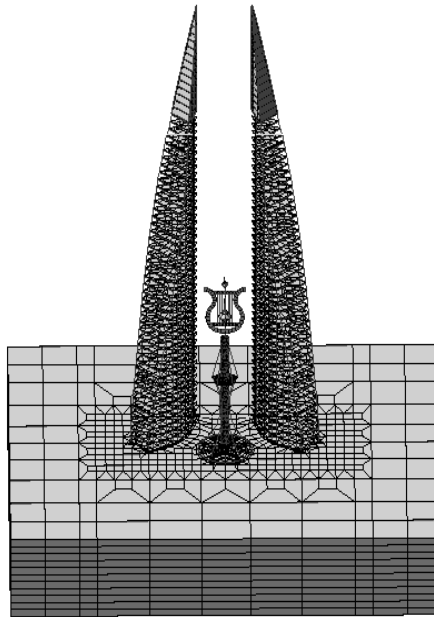


Рис. 8 - Загальний вид скінченно-елементної моделі запроєктованого торговельного комплексу

**Висновок.** Зростаючі ціни на енергоносії стимулюють економно їх використовувати. Застосування енергозберіжних технологій при будівництві висотних будівель - одна з вимог сучасної реальності. Практично жодна будівля зараз не обходиться без застосування так званих "зелених" технологій. Більшість проєктів, що втілюються нині в реальність в різних країнах світу, безперечно, амбітна, але за прагненням до висоти, сили, потужності, іноді, забувається про найголовніше - про економію природних ресурсів, у більшості своїй не поновлювальних.

У роботі прийнято рішення використати форму веж, прототипом яких являється Всесвітній Торговельний Центр у Бахрейні. Оскільки вибрана форма веж і їх розташування дозволяє максимально використати потужність вітру, а так само підсилити швидкість вітру, що проходить поміж вежами, до 30%. Але беручи до уваги складну конструкцію мостів прийнято рішення відмовитися від коаксіальних вітрогенераторів (з горизонтальною віссю обертання). Альтернативою горизонтально-осьовим ВЕУ є ортогональний вітрогенератор (з вертикальною віссю обертання) .

**Список використаних джерел**

1. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії в енергозабезпеченні регіону: матеріали науково-практичної конференції/Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень в м.Дніпропетровську// ред. проф. А.І.Шевцова. – Д, 2007. – 124с.
2. Петрухин В.П., Колыбин И.В., Шейнин В.И. Геотехнические особенности небоскребов Журнал «Высотные здания», номер 1, 2006 год.
3. Яхно О.М., Таурит Т.Г., Грабар И. Г, Ветроэнергетика: конструирование и расчет ВЭУ: Учебное пособие. – Житомир: ЖГТУ, 2002. -255с.
4. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – М: Изд-во АСВ, 2009. – 360 с.
5. Барабаш М.С. Компьютерное моделирование уникальных строительных объектов средствами программных комплексов семейства ЛИРА. Научно-виробничий журнал: Будівництво України. –2012. - №4 – С. 25 – 32.

**Annotation**

In given article is considered problems of power supply and their decision by bringing in of renewable and non-conventional energy sources, namely are winds and possibility of integration of the wind turbine in the construction of building.

Keywords: energy-savings, renewable and non-conventional energy sources, wind turbine.

**Аннотация**

В статье рассматривается проблемы энергообеспечения и их решение путем привлечения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ), а именно - ветра и возможность интеграции ветроэнергетической установки в конструкцию здания.

Ключевые слова: энергосбережение, нетрадиционных и возобновляемые источников энергии (НВИЭ), ветроэнергетическая установка.