

## Вплив аеродинамічних параметрів щитової опалубки на технологічні рішення при зведенні висотних будівель

Владислав Чеховський, магістр<sup>1</sup> (ORCID: 0009-0002-3673-4631),

Ганна Шпакова, проф., д-р екон. наук, проф.<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0003-2124-0815)

<sup>1</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

### АНОТАЦІЯ

У сучасному будівництві висотних будівель особливу увагу приділяють раціональності та безпеці технологічних процесів, зокрема при використанні щитової опалубки. Одним із важливих факторів, які впливають на вибір технологічних і організаційних рішень, є аеродинамічні параметри, які виникають у процесі встановлення опалубних систем на великій висоті. У тезах досліджено взаємозв'язок між вітровим навантаженням, яке діє на вертикальні конструкції опалубки, та конструктивно-технологічними рішеннями, що приймаються на етапі проєктування і монтажу систем опалублення. Розглянуто особливості дії вітрових потоків на щитову опалубку різних типорозмірів, а також вплив цих параметрів на стійкість, жорсткість та безпечність тимчасових конструкцій. Проведений аналіз дозволяє оцінити ефективність найбільш поширених у вітчизняному будівництві розбірно-переставних опалубних систем різних габаритів з точки зору їх здатності протидіяти динамічним навантаженням. Особливу увагу приділено розробці рекомендацій щодо оптимізації технологічного процесу зведення, з урахуванням необхідності зниження організаційних перерв при сильних поривах вітру.

*Ключові слова:* висотне будівництво, вітрові навантаження, опалубні системи, інноваційні рішення в будівництві, BIM-технології.

### 1. ВСТУП

Сучасне будівництво висотних споруд характеризується не тільки складністю архітектурних рішень, але й посиленням стандартів безпеки та технологічної стійкості виробничих процесів. З поширенням і стрімким розвитком технологій висотного будівництва постала ціла низка проблем організаційно-технологічного спрямування, вирішення яких безпосередньо впливають не тільки на схеми організації робіт, що обумовлює інтенсивність виконання процесів і терміни будівництва в цілому, але й архітектурно-конструктивні рішення об'єктів і конструктивно-технологічні характеристики засобів будівництва. Серед найважливіших викликів виділяється вплив вітрових потоків на тимчасові будівельні системи, особливо на щитові опалубочні конструкції. Ці елементи відповідають за форму та якісні показники залізобетонних елементів, проте при сильних поривах вітру можуть перетворитися на джерело потенційної небезпеки.

### 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ВІТРОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Відомо, що швидкість вітру зростає зі збільшенням висоти над рівнем землі за степеневим законом. Так, на висоті понад 150 м вона може перевищувати приземну на 60–80%. Крім того, значно зростає турбулентна складова потоку: коефіцієнт турбулентності для міської забудови досягає 0,15–0,30, а масштаби турбулентності становлять 50–200 м/с.

Це формує додаткові динамічні навантаження, які необхідно враховувати при проєктуванні опалубних систем.

Під час експлуатації щитова опалубка піддається різним типам навантажень, тому при її проєктуванні слід враховувати наступні впливи:

- *статичний вітровий тиск* – розраховується за формулою (1), де  $\rho$  – щільність повітря,  $V$  – швидкість

вітру,  $C_p$  – коефіцієнт тиску. Для плоских поверхонь  $C_p$  коливається у межах 0,8–1,4 [1].

$$W = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_p, \quad (1)$$

- *динамічні впливи*, зумовлені поривами та резонансними ефектами. Коефіцієнт динамічності може сягати 1,4–1,8;

- *аеропружні ефекти* – коливання великих щитів, флатер гнучких кріплень та вихрове збудження при числі Струхала  $\sim 0,2$  [1].

Найбільш небезпечними зонами є кутові ділянки будівлі, виступаючі елементи опалубки та анкерні вузли кріплення.

В зв'язку з цим при висотному будівництві впливає необхідність обов'язково прораховувати технологічні ризики та стійкість опалубки.

Для забезпечення стійкості опалубної системи при розрахунках використовується критерій рівноваги моментів (2):

$$\gamma_n \cdot M_{\text{перекид}} \leq \gamma_c \cdot M_{\text{стійк}}, \quad (2)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнти надійності.

При цьому допустимі прогини щитів не повинні перевищувати  $L/400$ , а залишкові деформації після демонтажу – 1 мм. Власні частоти коливань типових щитів знаходяться в діапазоні 2–8 Гц, що може збігатися з частотою поривів вітру, особливо у межах 0,5–3 Гц. Тому важливе значення має демпфування – процес гасіння або зменшення коливань, вібрацій чи руху за рахунок розсіювання енергії, яка протидіє цьому руху.

Для розрахунку аеродинамічних впливів у світовій інженерній практиці активно застосовуються CFD-моделі (ANSYS Fluent, OpenFOAM) для оцінки локальних коефіцієнтів тиску, а також методи МСЕ для аналізу динаміки опалубки (SCAD, Abaqus). Експериментальні дані отримують у аеродинамічних трубах та шляхом натурних

вимірювань з використанням тензодатчиків та акселерометрів.

Інноваційним рішенням в зниженні вітрового навантаження на опалубку, зниження опору та зменшення коливань при встановленні та вивірюванні є використання перфорованих щитів з композитних матеріалів з підвищеними обтічними властивостями. Для зменшення ваги й вартості анкерних систем опалубки, що проєктуються на постійне максимальне зусилля (що на практиці експлуатації трапляється з вірогідністю 2-8% [2]), пропонується застосування адаптивних систем з автоматичним регулюванням анкерів (за допомогою газових демпферів) [3]. Такі системи проєктуються для етапу 7-D як інтеграція IoT-датчиків при ВІМ-моделюванні [4], і можуть бути використані завчасно, до етапу експлуатаційної діагностики, зокрема для прогнозування «вітрових вікон».

### 3. ОБМЕЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЩИТОВОЇ ОПАЛУБКИ

Виконання робіт з встановлення опалубки зокрема суттєво залежить від вітрових навантажень. ДБН України чітко визначає, що роботи з монтажу або переміщення щитової опалубки, що має значну парусність, повинні бути зупинені при швидкості вітру, яка може створити небезпеку – як для стійкості опалубки, так і для безпеки робітників.

Згідно з правилами охорони праці та пожежної безпеки, роботи з переміщення або монтажу конструкцій з великою парусністю слід зупинити при швидкості вітру 10 м/с і більше.

Конструкція з високою парусністю – це елемент, який має велику площу, орієнтовану перпендикулярно до напрямку вітру, і невелику товщину, що робить її вразливою до дії вітрових навантажень. Тому під час проєктування або експлуатації враховується: площа фронтального опору ( $m^2$ ),

коефіцієнт аеродинамічного тиску, ймовірність коливань або втрати стійкості.

Перерви в роботі з встановлення опалубки в свою чергу призводять до порушення графіків виконання робіт і впливають на загальну тривалість будівництва, оскільки затримують всі наступні процеси, що заплановані на «критичному» шляху. Тому мінімізація ризиків організаційних перерв є важливою задачею.

### 4. ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ

Застосування окремих алгоритмів дій чи використання спеціалізованої оснастки дає позитивний ефект в тих чи інших умовах з вузьким діапазоном умов. Проте використання всього арсеналу засобів в комплексі може забезпечити розрахункові терміни виконання робіт та інтенсивність споживання ресурсів.

При проєктуванні опалубних робіт слід врахувати наступні аспекти:

- технологічно-конструктивні – надійне кріплення щитів: достатня кількість підкосів, розпірок, жорстких зв'язків, щоб запобігти коливанням від вітру;

- конструктивні - розрахунок парусності: враховувати площини щитів, які можуть бути під вітром, визначити коефіцієнти [5] і проєктувати конструкцію так, щоб вітрове навантаження не перевищувало допустимі значення для опалубки і монтажних елементів;

- виробничі – застосування формально-сертифікованих систем опалубки відомих виробників, які мають вказані допустимі значення вітрових навантажень у технічних умовах або паспортах;

- контрольні – регулярний огляд і контроль анкерування, стягуючих елементів, особливо після погодних змін чи поривчастого вітру.

### 5. ВИСНОВКИ

Аеродинамічні параметри щитової опалубки суттєво впливають на безпеку та ефективність висотного будівництва. Основними напрямками підвищення надійності є:

- точний розрахунок вітрових навантажень з урахуванням турбулентності;

- вибір типу опалубки відповідно до умов майданчика;

- впровадження систем моніторингу та адаптивних технологій;

- інтеграція ВІМ-підходів і цифрових рішень для прогнозування ризиків.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на створення національних методик для українських умов, розробку практичних рекомендацій та впровадження технологій реального часу для контролю опалубних систем. Це дозволить мінімізувати ризики аварій, знизити економічні втрати, пов'язані з організаційними перервами через погодні умови, та підвищити якість висотного будівництва.

### Список літератури

- [1] Potts, D. A., Marcollo, H., & Jayasinghe, K. (2022). Strouhal Number for Vortex-Induced Vibration Excitation of Long Slender Structures. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 144(4). [asmedigitalcollection.asme.org](https://doi.org/10.1115/1.5011111)
- [2] Spyridis, P., & Mellios, N. (2022). Tensile Performance of Headed Anchors in Steel Fiber Reinforced and Conventional Concrete in Uncracked and Cracked State. *Materials*, 15(5), 1886. <https://doi.org/10.3390/ma15051886>
- [3] Trautwein, L. M., Marinho, A. M., & Gomes, R. B. (2018). Anchor bolts – influence of supplementary reinforcement. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22, 679-687. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-1255-9>.
- [4] Шпакова Г., Глуценко І. (2020). Впровадження ВІМ-технологій в проєктну практику. IX Всеукраїнська науково-практична конференція «Вітчизняна наука: теорія і практика», 2020 р., м. Харків. 3-6.
- [5] ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проєктування. Зміна № 1. *Чинний 01.10.2007*. <https://e-construction.gov.ua/>