

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ КРАНІВ З ОГЛЯДУ НА СТОХАСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ВІТРОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Іваненко О. І., Мусаєв З. Р.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** У статті досліджено підвищення ефективності використання вантажопідйомних кранів з огляду на стохастичні параметри вітрових навантажень, що впливають на їх стійкість і безпечність експлуатації. Для розроблення рішень з розширення діапазону вітру для підвищення експлуатації вантажопідйомних кранів необхідно дослідити процес пересування кранів за найбільш імовірних швидкостей вітру відповідно. Проаналізовано вплив випадкових коливань швидкості й напрямку вітру на динамічні властивості кранових конструкцій. Запропоновано методику визначення розрахункових вітрових навантажень на основі регіонального підходу.*

***Ключові слова:** кран, експлуатація, дослідження, вітрові навантаження, вплив, імовірність, визначення, рекомендації.*

Вступ

Робота вантажопідйомних кранів на відкритих майданчиках часто залежить від дії вітрових навантажень. Зупинка крана внаслідок цих навантажень призводить до простою значної кількості технологічного обладнання і є причиною значних матеріальних витрат.

Рішення проблеми щодо скорочення простоїв обладнання можливе, якщо виявити резерви кранів і застосувати їх за швидкості вітру понад 20 м/с. Це може бути досягнуто розробленням науково-обґрунтованих методів ефективного використання вантажопідйомних кранів, що працюють на відкритих майданчиках, з метою розширення діапазону швидкостей вітру, за якого ймовірна безпечна експлуатація кранів.

Відомо, що навіть у разі незначного вітру можливий угон вантажопідйомних кранів, що працюють на відкритому повітрі.

Однак відсутність відомостей про фактичні швидкості угону кранів в умовах дії вітрових навантажень різної інтенсивності з огляду на технічний стан крана (регулювання гальм механізмів пересування, опору пересуванню крана, аеродинамічні властивості металевих конструкцій кранів тощо) ускладнює розроблення заходів, що сприяють подальшому вдосконаленню протиугінного захисту й розширенню діапазонів вітрового навантаження, за яких можлива експлуатація кранів.

В Україні, поряд з іншими метеорологічними факторами, найбільша кількість перерв у роботі кранового обладнання спричинена сильним вітром.

Протягом року перерви в експлуатації кранів через вплив вітру зі швидкістю понад 10 м/с становили в середньому: в Дніпрі – 43,1 дня, Одесі – 31,4 і Харкові – 54,7 дня.

Розв'язання проблеми скорочення простоїв через сильний вітер можливе завдяки виявленню резервів кранів та їх використання за швидкості вітру понад нормативну, тобто йдеться про розширення діапазону вітрових навантажень, за яких буде забезпечено безпечну експлуатацію вантажопідйомних кранів. Це зумовлено низкою труднощів, серед яких необхідно згадати випадковий характер вітру, його змінність у часі, розподіл за розміром і напрямком.

Вітрове навантаження є змінним навантаженням, для якого встановлені два розрахункові значення:

- граничне розрахункове;
- експлуатаційне розрахункове.

Вітрове навантаження на споруду потрібно розглядати як сукупність:

- а) нормального тиску, прикладеного до зовнішньої поверхні споруди або елемента;
- б) сил тертя, спрямованих по дотичній до зовнішньої поверхні та віднесених до площі її горизонтальної (для шедових або хвилястих покрівель, покрівель з ліхтарями) або вертикальної (для стін з лоджіями і подібних конструкцій) проекції;
- в) нормального тиску, прикладеного до внутрішніх поверхонь будівель з повітропроникними огороженнями, з прорізами, що відчиняються або постійно відкриті [1].

Розрізняють такі чинні нормативні документи з вітрових навантажень:

– загальнокранові норми вітрових навантажень;

– вітрові навантаження, що належать, відповідно, до певних типів кранів;

– закордонні норми.

Основним документом, яким користувались у визначенні вітрових навантажень на кран, був ГОСТ 1451-77 «Крани вантажопідйомні. Навантаження вітрове». У цьому стандарті викладено порядок визначення навантажень від вітру на крани, але в ньому не взято до уваги конструктивну особливість вантажопідйомних кранів, специфіку регіонів, експлуатацію й технологію виконуваних робіт.

На наш погляд, на основі досліджень у галузі прикладної метеорології можна більш детально розглядати положення цих документів.

Як відомо, вплив вітру на крани визначається такими параметрами:

– середньою швидкістю;

– напрямком;

– максимальною швидкістю за годину, періодом разової дії сильного вітру за рік або декілька років;

– пульсацією;

– періодом пульсації [2].

Аналіз чинних норм в Україні вказував на наявні розбіжності в рекомендованих значеннях швидкості вітру. Для вантажопідйомних кранів загального призначення це були одні швидкості ($V = 20$ м/с), а для баштових, судових і плавучих кранів пропонувались інші значення. На території України мають чинність:

– нормативи з вітрових навантажень для конструкцій споруд і кранів ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1–4. Загальні дії. Вітрові навантаження (EN 1991 – 1–4:2005, IDT)»;

– ДБН В.1.2:2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування».

У нормах ФРН щодо DIN 150 18/19 і нормах ФЕМ рекомендовано допустимий тиск вітру робочого стану 250 Па (відповідно, швидкість вітру 20 м/с).

Основним недоліком норм розрахунків, на наш погляд, є те, що порядок розрахунку вітрових навантажень не бере до уваги необхідний ступінь надійності, особливості конструкції кранів, експлуатацію та геоморфологічні умови регіону їх розміщення.

Усе викладене вище вказує на необхідність і економічну доцільність розроблення науково обґрунтованих норм розрахунку й експлуатації вантажопідйомних кранів в умовах дії вітру.

Аналіз публікацій

Незважаючи на важливість проблеми впливу вітрових навантажень на роботу вантажопідйомних кранів, публікацій на цю тему недостатньо.

Аналіз літературних джерел дає змогу виокремити три основних компоненти, що використовуються для визначення впливу вітру на споруди й конструкції:

– фундаментальні положення статистичної теорії турбулентності;

– положення прикладної метеорології щодо характеристик вітру та їх розподілу за територією та порами року;

– конструктивні й експлуатаційні особливості конструкції або споруди.

Дослідження інтенсивних вітрових впливів є багатоплановим завданням і вимагає розгляду різних аспектів наукової діяльності:

– математичного опису руху повітряних мас;

– математичної моделі руху крана під дією вітру;

– опису основних властивостей вітру та його розподілу на території країни, а також за порами року;

– розв'язання прикладних завдань впливу вітру на різні споруди тощо [1].

Пошук рішень окреслених завдань відбувається, як правило, на стику різних наук: математики, прикладної метеорології та відповідних інженерних дисциплін.

Ці компоненти проаналізовано в групі робіт, присвячених дослідженню впливу вітрових навантажень на інженерні споруди й вантажопідйомні крани. Зокрема можна згадати дослідження І. Абрамовича, В. Брауде, Д. Спіціної, В. Фомічової, М. Барштейна, М. Єрофєєва, В. Гайдамаки, В. Подобєда, А. Мартинова та ін.

Роботи перелічених авторів доповнюють одна одну, але, на жаль, у них відсутній цілісний підхід до питання впливу вітрових навантажень на роботу вантажопідйомних кранів.

Мета й постановка завдання

Метою цієї роботи є:

1) визначення стохастичних параметрів вітрового навантаження для певного регіону;

2) розроблення рекомендацій щодо раціонального розташування вантажопідйомних кранів під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт в умовах дії вітрових навантажень;

3) дослідження резервів використання вантажопідйомних кранів способом розширення діапазону вітрових навантажень.

Основна частина

У чинних стандартах розрахункове вітрове навантаження розглядається як статичне й не береться до уваги векторна природа вітру. Відповідно, для всієї території України були розроблені карти швидкостей вітру. Аналіз географічного положення країни демонструє, що основна її територія потрапляє до другого району (міста Київ, Вінниця, Харків), а міста прикордонних областей – до третього (міста Одеса, Луганськ, Львів). Територією країни проходить межа з різними швидкісними напорами вітру (вздовж лінії Одеса – Кривий Ріг – Дніпро – Луганськ), що свідчить про мінливість і нерегулярність вітру.

Отже, йдеться про дослідження вітрового навантаження з огляду на напрямок, час дії та сили вітру. Знання цих факторів дає змогу виробити рекомендації щодо зниження несприятливого впливу вітру на кран і вантаж [3].

Швидкість вітру різної забезпеченості для України подано в табл. 1. Визначення значень сильного вітру ускладнене тим, що такі вітри спостерігаються порівняно нечасто. Достовірні висновки про повторюваність сильних вітрів можна отримати лише на основі досить репрезентативної вибірки впродовж тривалого періоду. Користуючись графіком інтегральної повторюваності швидкостей вітру, визначаємо, що один раз на рік на сході України можливий вітер зі швидкістю: влітку – 24 м/с, взимку – 32 м/с. Один раз на 10 років можливий вітер: влітку – 32 м/с, взимку – 38 м/с; один раз на 20 років імовірний вітер, що має швидкість: влітку – 34 м/с, взимку – 40 м/с.

Аналіз статистичних показників за 10 років, отриманих агрометеостанціями щодо східного регіону України, демонструє, що швидкість, напрямок і повторюваність вітру є випадковими процесами, окремим реалізаціям яких відповідають статистичні показники конкретного року, що розглядається.

Показники місячних роз вітрів, повторюваності напрямку й розподілу середньої швидкості вітру за місяцями свідчать про те, що протягом року переважають вітри східного напрямку (повторюваність 18,1%; середня швидкість 5,7 м/с) і західного напрямку (повторюваність 16%, середня швидкість 5,5 м/с).

Для середньорічної зміни швидкості вітру східного напрямку, який переважає, побудовано графік (рис. 1), для якого отримано канонічне розкладання типу

$$V(t) = 5,7 + V_1 \cdot 1,6 \cdot \sin 0,52t \quad (1)$$

з кореляційною функцією

$$K_v(t, t + \tau) = 2,56 \cdot \sin^2 0,52t \cdot \cos 0,52\tau + 1,28 \sin 1,04t \cdot \sin 0,52\tau. \quad (2)$$

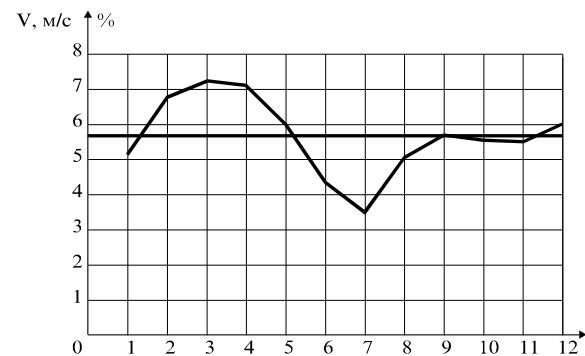


Рис. 1. Графік середньорічної зміни швидкості вітру східного напрямку на сході України

Загалом, під час визначення середньомісячного розподілу швидкості вітру й з огляду на середньорічну зміну напрямку вітру випадковий процес виявляється функцією двох змінних, і відповідно до інформації з табл. 2, канонічний розклад для вітру східного напрямку визначається:

$$V(t, \alpha) = 5,0 + V_1 \times 2,56(0,69 \cdot \sin 0,72t - 1) \sin 0,29\alpha. \quad (3)$$

Таблиця 1 – Швидкість вітру для районів України

| Період часу, протягом якого швидкість вітру одноразово перевищується, роки | Район України / швидкість вітру, м/с | |
|--|--------------------------------------|------|
| | II | III |
| 1 | 20 | 23,5 |
| 5 | 23,8 | 27,3 |
| 10 | 25,8 | 29 |
| 20 | 27 | 31 |
| 30 | 27,4 | 31,5 |
| 50 | 29,2 | 32,8 |

Таблиця 2 – Розподіл середньої швидкості вітру (м/с) за місяцями залежно від напрямку за 10-річний період

| Напрямок вітру | Місяць | | | | | | | | | | | | Сер. за рік |
|----------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| П | 2,9 | 4,0 | 2,5 | 3,0 | 5,8 | 2,3 | 3,1 | 4,0 | 3,4 | 3,9 | 3,5 | 2,9 | 3,4 |
| ПС | 3,7 | 4,5 | 5,5 | 5,2 | 4,6 | 3,2 | 3,3 | 3,5 | 4,4 | 3,9 | 3,7 | 2,7 | 4,0 |
| С | 5,3 | 6,7 | 7,3 | 7,2 | 6,1 | 4,4 | 3,4 | 5,0 | 5,8 | 5,5 | 5,5 | 6,0 | 5,7 |
| ПдС | 4,4 | 6,0 | 7,4 | 6,0 | 5,8 | 3,2 | 4,0 | 4,9 | 4,5 | 3,2 | 6,5 | 5,3 | 5,1 |
| ПД | 6,6 | 5,1 | 5,6 | 5,7 | 4,4 | 4,8 | 4,5 | 3,8 | 4,1 | 5,2 | 7,7 | 7,2 | 5,4 |
| ПдЗ | 5,8 | 5,3 | 5,5 | 5,7 | 4,0 | 5,0 | 4,3 | 4,4 | 5,4 | 6,6 | 6,7 | 6,9 | 5,5 |
| З | 6,1 | 6,2 | 6,0 | 4,7 | 4,6 | 5,4 | 4,4 | 4,4 | 5,6 | 6,7 | 6,5 | 6,7 | 5,5 |
| ПЗ | 5,7 | 5,0 | 4,0 | 4,8 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,0 | 5,6 | 6,3 | 5,7 | 5,6 | 5,0 |
| Сер. за місяць | 5,1 | 5,2 | 5,5 | 5,3 | 4,9 | 4,1 | 5,2 | 5,2 | 4,8 | 5,2 | 5,7 | 5,4 | 5,0 |

Кореляційна функція в цьому разі має такий вигляд:

$$K_v(t, t + \tau, \alpha, \alpha + a) = 6,55 \times \times [0,69 \cdot \sin 0,72(t + \tau) - 1] \times \times (0,69 \sin 0,72t - 1) \sin 0,29\alpha \cdot \sin 0,29(\alpha + a). \quad (4)$$

З (1–4) визначаються оцінки математичних сподівань і кореляційних функцій максимальної швидкості руху крана під дією вітру як випадкового процесу [4].

Висновки

1. Щодо умов східного регіону України встановлено стохастичні параметри вітрового навантаження, а також отримано оцінки математичних очікувань і кореляційних функцій максимальної швидкості руху вантажопідійомних кранів під дією вітрового навантаження як випадкового процесу.

2. На підставі цих показників отримано можливість раціонального розміщення кранового обладнання на відкритих майданчиках з метою уникнення фронтального напрямку впливу вітрових навантажень на прогонні конструкції кранів.

3. Цей метод дає змогу розширити діапазон вітру, за якого можливе виконання вантажно-розвантажувальних робіт, і цим скоротити час простоїв.

Література

1. Бондаренко С. В. Дослідження вітрових навантажень на вантажопідійомні крани. Київ: Логос, 2017. 280 с.
2. Петренко В. О. Вплив атмосферних факторів на роботу будівельних кранів. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 245 с.

3. Григоренко І. М. Вдосконалення систем безпеки при експлуатації кранів у вітрових умовах. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2020. № 5. С. 22–29.
4. Кравченко О. Г. Дослідження новітніх методів стабілізації кранів при вітрових навантаженнях. Сучасні проблеми будівельної техніки: матеріали наук.-практ. конф., Київ, 10–12 червня 2022 р. Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури, 2022. С. 95–101.

References

1. Bondarenko S. V. Doslidzhennia vitrovyykh navantazhen na vantazhopidionni krany. Kyiv: Vydavnytstvo Lohos, 2017. 280 s.
2. Petrenko V. O. Vplyv atmosfernykh faktoriv na robotu budivelnnykh kraniv. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2019. 245 s.
3. Hryhorenko I. M. Vdoskonalennia system bezpeky pry ekspluatatsii kraniv u vitrovyykh umovakh. *Visnyk NTU «KhPI»*. 2020. № 5. С. 22–29.
4. Kravchenko O. H. Doslidzhennia novitnikh metodiv stabilizatsii kraniv pry vitrovyykh navantazhenniakh. Suchasni problemy budivelnoi tekhniki: materialy nauk.-prakt. konf., Kyiv, 10–12 chervnia 2022 r. Kyiv: Kyivskiy natsionalnyi universytet budivnytstva i arkhitektury, 2022. S. 95–101.

Іваненко Олег Іванович, канд. техн. наук, доц. кафедри експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин, olehiv2@gmail.com, тел. +38 0 50-905-74-90

Мусаєв Заур Разілович, канд. техн. наук, асист. кафедри експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин, тел. +38 098-044-43-84, zaur.musaiev92@gmail.com

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Improving the Efficiency of Lifting Crane Operation Considering Stochastic Parameters of Wind Loads

Abstract. Problem. The article addresses the problem of improving the efficiency and safety of lifting crane operations under wind load conditions. Wind effects are among the most significant factors determining the stability, reliability, and operational performance of cranes, especially those operating in open areas. The study analyzes existing standards for determining wind loads (GOST, DBN, Eurocode) and identifies their shortcomings related to the lack of consideration for regional, structural, and operational features of crane systems. Current regulatory approaches often fail to adequately account for the stochastic nature of wind parameters and their influence on crane stability. This leads to conservative operational limits and unnecessary downtime, reducing equipment efficiency. **Methodology.** A methodology is proposed for incorporating wind load parameters – namely, speed, direction, and pulsation – based on statistical data from long-term meteorological observations for the eastern region of Ukraine. The study determines stochastic parameters of wind loads, enabling a description of crane motion dynamics under random wind influences and providing estimates of mathematical expectations and correlation functions of maximum displacement velocity. **Originality.** The research introduces a stochastic modeling approach to wind load assessment, taking into account the random nature, seasonal variation, and spatial irregularity of wind characteristics. This allows for more accurate and regionally adaptive determination of design loads on lifting cranes. **Findings.** It has been established that wind speed and direction are random processes with significant temporal and spatial variability, requiring a proba-

bilistic approach in load evaluation. Practical recommendations are formulated for the rational positioning of cranes on open sites considering prevailing wind directions, minimizing frontal exposure to wind pressure on crane spans. **Practical significance.** The proposed approach extends the range of permissible wind speeds for safe crane operation, reduces equipment downtime, and enhances overall efficiency. The results of the study can be applied in the design, operation, and regulatory development of various types of lifting cranes.

Keywords: crane, operation, research, wind loads, impact, probability, determination, recommendations.

Ivanenko Oleg, Ph.D., Assoc. Prof., of the department of operation, testing, service of construction and road machines,
ORCID: 0000-0002-3597-5102,
olehiv2@gmail.com,

Musaiev Zaur, Ph.D., Assistant of the department of operation, testing, service of construction and road machines,
ORCID: 0000-0002-5533-0897,
zaur.musaiev92@gmail.com,

Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Стаття надійшла до редакції / Received: 18.01.2026.

Прийнята до друку після рецензування / Revised and Accepted: 26.01.2026.

Дата публікації статті / Published: 11.05.2026.
