

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО СПОСОБУ ГАЛЬМУВАННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ КРАНІВ ПІД ЧАС ДІЇ ВІТРУ

Іваненко О. І., Мусаєв З. Р.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Робота вантажопідйомних кранів на відкритих майданчиках залежить від дії вітрових навантажень. Зупинка крана внаслідок дії цих навантажень призводить до простою великої кількості технологічного обладнання та значних матеріальних витрат. Аналіз наявних систем гальмування, тобто механічного, динамічного, багатосхідчастого, імпульсного тощо, під час дії сильного вітру дозволяє дійти висновку, що запропонований спосіб гравітаційного гальмування є найбільш ефективним.

Ключові слова: кран, вітрові навантаження, аналіз, способи гальмування, механічне гальмування, динамічне, східчасте, гравітаційне.

Вступ

Відомо, що навіть невеликий вітер робочого стану впливає на експлуатаційну надійність вантажопідйомних кранів, які працюють на відкритих майданчиках. Вітрові навантаження можуть значною мірою впливати на стійкість крана, а також створювати додаткові динамічні навантаження, що ускладнюють процес гальмування. Загальмований кран може бути приведений у рух вітром зі швидкістю 20...25 м/с [1].

У разі переміщення крана вітром він може рухатися зі швидкістю, що збільшується, до моменту зіткнення з іншими кранами або кінцевими упорами, що створює значну небезпеку як для самого обладнання, так і для персоналу.

До переміщення крана вітром можуть призводити не лише стійкі вітрові потоки, але й короткочасні пориви вітру в поєднанні з дією інерційних сил під час гальмування. Внаслідок цього тип розвитку процесу гальмування може бути складним і непередбачуваним, оскільки він визначається як різким, так і поступовим сповільненням руху крана. У таких умовах стає необхідним застосування ефективних методів гальмування, які забезпечать контрольовану зупинку крана без надмірних динамічних навантажень.

Різде гальмування може спричинити розгойдування вантажу, появу підвищених перекісних сил, а також збільшення динамічних навантажень на металоконструкції крана. Це також може призвести до пошкодження механізмів, виходу з ладу окремих вузлів крана, а в найгіршому випадку – до аварії. З метою уникнення різкого гальмування машиністи кранів часто змушені зменшувати гальмівні моменти колодкових гальм до кри-

тичних значень, що робить кран вразливим до вітрового впливу.

На сьогодні динаміка руху вантажопідйомного крана під впливом сильного вітру, а також процес його ефективного гальмування залишаються недостатньо вивченими. Це зумовлено низкою труднощів, зокрема типом вітру, його змінністю в часі, розподілом за розміром і напрямком. Тому актуальним завданням є розроблення методів раціонального гальмування кранів, що дозволять мінімізувати ризики аварійних ситуацій і забезпечити їхню стабільну роботу в умовах дії змінних вітрових навантажень.

Додатково варто враховувати технічні особливості конструкції крана, а також тип експлуатаційних умов. Наприклад, під час роботи на відкритих будівельних майданчиках або в морських портах, де швидкість та напрямок вітру можуть змінюватися миттєво, необхідно впроваджувати спеціальні системи гальмування, що реагують на зміну зовнішніх умов.

Сучасні технології дозволяють застосовувати автоматизовані системи контролю руху, які здатні визначати швидкість і напрямок вітру в режимі реального часу, регулюючи параметри гальмування відповідно до отриманих даних.

Крім цього, варто враховувати термін експлуатації гальмівних систем. Інтенсивна експлуатація механізмів гальмування в умовах підвищеного вітрового навантаження може призвести до їхнього прискореного зношення, що вимагає регулярного технічного обслуговування та заміни деталей. Таким чином, вибір оптимального способу гальмування має ґрунтуватися не лише на забезпеченні безпеки експлуатації крана, але

й на економічній доцільності впровадження відповідних технологічних рішень.

З огляду на вищезазначене дослідження процесу гальмування вантажопідйомних кранів у вітрових умовах є досить актуальним. Важливо розробити методики, що дозволять враховувати всі можливі сценарії процесів крана під дією вітрових навантажень, оптимізувати режими гальмування та мінімізувати ймовірність аварійних ситуацій. У цьому контексті особливо перспективним напрямом є впровадження адаптивних електронних систем керування гальмуванням, що здатні аналізувати широкий спектр параметрів і вносити коригування в реальному часі.

Аналіз публікацій

Опублікована велика кількість робіт, в яких розглядаються окремі питання руху та гальмування вантажопідйомних кранів під час дії вітру. Це питання досліджувалось у роботах І. І. Абрамовіча, В. Ф. Гайдамаки, А. В. Мартинова, Н. І. Єрофеева, В. О. Подобеда та інших.

У роботах сучасних дослідників також досліджується проблематика вітрових навантажень на крани й ефективні методи їх гальмування, зокрема у праці С. В. Бондаренка «Дослідження вітрових навантажень на вантажопідйомні крани» [1] розглядається питання впливу вітрових потоків на стійкість та безпечну експлуатацію кранів. Автор проводить численні експериментальні дослідження, в яких аналізуються аеродинамічні характеристики різних типів вантажопідйомних механізмів, визначаються критичні швидкості вітру та подаються рекомендації щодо оптимізації конструкційних рішень для підвищення стабільності кранів.

В. О. Петренко [2] у своїй монографії «Вплив атмосферних факторів на роботу будівельних кранів» розглядає комплексний вплив метеорологічних факторів, зокрема швидкість і напрямок вітру, температуру та вологість повітря, на працездатність і надійність будівельних кранів. Автор досліджує питання адаптації механізмів керування до змінних погодних умов, пропонуючи нові технології автоматичного регулювання параметрів гальмування.

Цікаві висновки щодо вдосконалення методів гальмування вантажопідйомних механізмів наведені в дослідженні Л. П. Сидоренка Л. П. «Оптимізація методів гальмування вантажопідйомних механізмів» [3] У роботі аналізуються різноманітні підходи до зупинки кранів, зокрема використання електро-

динамічних і гідравлічних систем гальмування. Автор пропонує новітні алгоритми керування гальмівними системами, що дозволять зменшити ударні навантаження та запобігти виникненню аварійних ситуацій під час різких поривів вітру.

І. М. Григоренко в статті «Вдосконалення систем безпеки при експлуатації кранів у вітрових умовах» [4] досліджує питання підвищення надійності експлуатації кранів у складних метеорологічних умовах. Особливу увагу приділено проблемі автоматизованого контролю вітрового навантаження та використанню сенсорних систем для визначення критичних параметрів руху кранів. Запропоновані методики дозволяють значно зменшити ризики перевертання та пошкодження механізмів під впливом сильного вітру.

О. Г. Кравченко у доповіді «Дослідження новітніх методів стабілізації кранів при вітрових навантаженнях» [5] аналізує сучасні технології стабілізації вантажопідйомних кранів під дією вітру. Досліджуються перспективи використання активних систем демпфування коливань, що ґрунтуються на гідравлічних амортизаторах та електронних системах корекції положення крана в просторі. Автор доводить, що застосування таких методів дозволяє значно підвищити ефективність роботи кранів та знизити навантаження на конструкційні елементи.

У дослідженні М. П. Михайлюка «Аналіз ефективності імпульсного гальмування у вантажопідйомних кранах» [6] розглянуто можливості застосування імпульсного гальмування для контролю руху кранів у складних умовах експлуатації. Автор пропонує математичні моделі, що описують поведінку кранів під час короткочасних впливів вітрових навантажень, та обґрунтовує ефективність імпульсного гальмування, порівнюючи з традиційними методами.

Таким чином, розглянуті роботи містять інформацію щодо різноманітних аспектів впливу вітрових навантажень на вантажопідйомні крани та їх ефективного гальмування. Подальші дослідження в цій сфері сприятимуть розробленню новітніх технологій, що підвищать безпеку та ефективність експлуатації кранів у складних метеорологічних умовах.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є аналіз наявних способів гальмування вантажопідйомних кранів під час дії вітру робочого стану з метою підвищення безпеки, експлуатаційної надійності

та визначення найбільш ефективного способу гальмування.

Основна частина

Як зазначено в [1], до руху крана вітром можуть призвести не лише штормовий вітер, а й окремі короточасні його пориви в сполученні з дією інерційних сил під час гальмування.

Гальмування вантажопідйомних кранів, що працюють на відкритих майданчиках, здійснюється переважно за допомогою закритих двоколдових фрикційних гальм, що діють автоматично, із пружинним замиканням.

Цей спосіб гальмування обов'язковий для всіх типів кранів, оскільки тільки механічне гальмування забезпечує повну зупинку механізму [2].

Під час дії вітру зі швидкістю менше ніж 10 м/с відбувається різке гальмування крана фрикційними гальмами, що призводить до інтенсивного розгойдування вантажу та коливання металоконструкції. Це ускладнює навантажувально-розвантажувальні роботи, збільшує тривалість робочого циклу, зменшує продуктивність та змушує до процесу довільного регулювання гальм [3].

Уникнути аварії під час експлуатації кранів з погано відрегульованими або бездіяльними гальмами можна лише способом застосування систем, що забезпечують так зване вибіркове гальмування [2].

Недоліки механічного гальмування в механізмах пересування мостових і козлових кранів можна усунути способом використання механічних гальм для стопоріння, а уповільнення крана здійснювати за допомогою електричного гальмування, тобто конденсаторним гальмуванням, динамічним гальмуванням з незалежним збудженням і динамічним гальмуванням зі змішаним збудженням. Режим противмикань простий і ефективний, він відрізняється великою величиною середнього гальмівного моменту [3; 4].

Проте значні витрати електроенергії під час гальмування, інтенсивне нагрівання двигуна, неможливість точної і надійної зупинки привода, а також відсутність гальмівного моменту під час зникнення напруги перешкоджають його широкому використанню. Режим конденсаторного також майже не застосовують через відсутність гальмівного моменту в області низьких частот обертання, значної реактивної потужності конденсаторів, невеликого середнього гальмівного моменту тощо [5].

На основі режиму динамічного гальмування були спроектовані системи електропривода та розроблені конструкції облаштувань електродинамічного гальмування. Проте їхніми недоліками є відсутність можливості регулювати робочі швидкості в процесі гальмування, обмеженість робочого діапазону за силою тиску вітру, залежність гальмівних характеристик від потужності двигуна, а також важкість зупинки вантажопідйомних кранів у необхідному місці та неможливість застосування їх за відключення двигунів. Водночас застосування гальмування супроводжується також великими втратами електричної енергії.

Найкращу якість гальмування кранів, що працюють на відкритих майданчиках, мають складні та недешеві електричні системи, тому доцільно проектувати систему плавного гальмування крана за вітру з тиском 30–60 Па. За дії вітру більшої сили можна допустити різке гальмування гальмами, розрахованими на утримання кранів від руху вітром, робочого стану найбільшої інтенсивності. У цьому випадку плавна зупинка кранів може бути забезпечена в 95–98 % часу експлуатації [3].

На сьогодні існують системи регулювання, в яких використовуються напівпровідникові перетворювачі частоти електричного струму, електричні гальмівні генератори, електроіндукційні порошкові гальма, гідродинамічні передачі.

Однак гальмові генератори змінного струму зменшують робочу швидкість лише в чотири-п'ять разів (генератори постійного струму – в п'ять-десять разів) [6]. Водночас обмежена потужність гальмівних генераторів, ступінчасте регулювання, неможливість отримання дуже малих швидкостей (до повної зупинки крана) є основними недоліками цієї системи керування. А застосування перетворювачів-тиристорів призведе до значної складності та вартості устаткування, необхідності в кваліфікованому обслуговуванні та значної втрати потужності.

Протягом багатьох років проф. В. Ф. Гайдамакой проводилися дослідження безсхідчастого гальмування. У його роботах розглядався процес безсхідчастого гальмування козлових кранів, що рухаються під дією вітру, який має більш високі показники якості, як порівняти зі східчастим гальмуванням.

Було визначено, що імпульсне гальмування в усіх розглянутих випадках забезпечує швидку зупинку кранів, що рухаються вітром, але супроводжується дією різких динамічних навантажень.

Однак у цьому випадку все одно потрібне застосування керованого гальма, що регулює гальмівний момент і тривалість гальмівних імпульсів, але не гарантує достатній рівень надійності та безпеки роботи кранів під час дії вітру.

Одним з ефективних способів гальмування вантажопідйомних кранів під час руху під впливом вітру є використання режиму гравітаційного гальмування. Основою цього методу є застосування спеціальних похилих криволінійних профілів, які встановлюють у тупикових ділянках підкранової колії. Така конструкція дозволяє ефективно використовувати силу тяжіння для контрольованого уповільнення руху крана без необхідності втручання оператора.

Гравітаційне гальмування передбачає, що в разі досягнення тупикової зони кран починає рухатись вздовж похилої поверхні, яка спрямована вгору. Це викликає поступове зменшення швидкості через дію сили тяжіння та опору кочення. Висота та кут нахилу похилого профілю визначаються з огляду на масу крана, максимально допустиму швидкість руху та інші динамічні параметри.

Попри значні переваги застосування гравітаційного гальмування має певні обмеження, зокрема ефективність цього методу залежить від конструктивних особливостей підкранової колії, що може вимагати додаткових витрат на її модифікацію. Крім того, у разі зміни маси крана або умов експлуатації може виникнути необхідність у коригуванні параметрів нахилу профілю.

Для підвищення ефективності гравітаційного гальмування перспективним напрямом розвитку є інтеграція цього методу з інтелектуальними системами контролю, які дозволяють у реальному часі адаптувати параметри гальмування залежно від поточних умов експлуатації.

Таким чином, використання гравітаційного гальмування є раціональним рішенням для підвищення рівня безпеки та надійності вантажопідйомних кранів в умовах вітрового навантаження. Подальші дослідження в цій галузі сприятимуть вдосконаленню технології та її широкому впровадженню в промисловій експлуатації.

Передні колеса крана (рис. 1) наїжджають на похилі криволінійні профілі, тоді як задні колеса залишаються на горизонтальній ділянці, і в такий спосіб кран здійснює плоский рух у вертикальній площині, під час якого кінетична енергія частин, що рухаються,

перетворюється на потенційну енергію підйому центра мас, що рухаються, на висоту h , обумовлену співвідношенням $h_k = V^2 / 2g$, де V – швидкість наїзду на гравітаційний упор, м/с. Передні колеса крана під час цього процесу піднімуться на висоту h_n , значення якої приблизно удвічі більше за висоту підйому центра мас h_k .

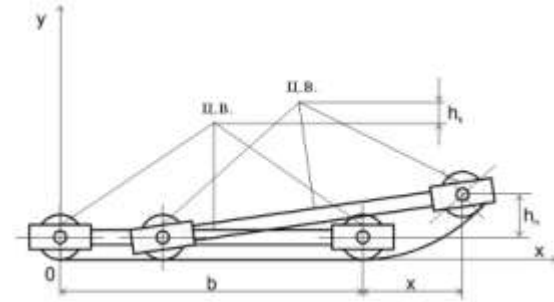


Рис. 1. Схема гравітаційного гальмування

Після досягнення краном верхнього положення відбувається його відкидання на відстань, що не перевищує його гальмівний шлях.

Одним з важливих питань під час розроблення гравітаційних пристроїв гальмування та зупинки крана є вибір раціонального профілю криволінійних, що направляють, який забезпечує мінімальний гальмівний шлях за заданої величини вповільнення.

Висновки

Сучасні способи гальмування вантажопідйомних кранів у процесі роботи з вітровими навантаженнями не забезпечують повної безпеки та експлуатаційної надійності. Гравітаційне гальмування, як порівняти з іншими, є найбільш ефективним.

Література

1. Бондаренко С. В. Дослідження вітрових навантажень на вантажопідйомні крани. Київ: Видавництво Логос, 2017. 280 с.
2. Петренко В. О. Вплив атмосферних факторів на роботу будівельних кранів. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 245 с.
3. Сидоренко Л. П. Оптимізація методів гальмування вантажопідйомних механізмів. Дніпро: Український державний університет науки і технологій, 2021. 312 с.
4. Григоренко І. М. Вдосконалення систем безпеки при експлуатації кранів у вітрових умовах. Вісник НТУ «ХПІ». 2020. № 5. С. 22–29.
5. Кравченко О. Г. Дослідження новітніх методів стабілізації кранів при вітрових навантаженнях. Сучасні проблеми будівельної техніки:

матеріали наук.-практ. конф., м. Київ, 10–12 червня 2022 р. Київ, 2022. С. 95–101.

6. Михайлюк М. П. Аналіз ефективності імпульсного гальмування у вантажопідйомних кранах. Проблеми машинобудування. 2023. № 2. С. 37–45.

References

1. Bondarenko, S. V. (2017). *Doslidzhennia vitrovykh navantazhen na vantazhopidionni krany*. Kyiv: Vydavnytstvo Lohos. 280 s.
2. Petrenko, V. O. (2019). *Vplyv atmosfernnykh faktoriv na robotu budivelnnykh kraniv*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki. 245 s.
3. Sydorenko, L. P. (2021). *Optyimizatsiia metodiv halmuvannia vantazhopidionnykh mekhanizmiv*. Dnipro: Ukrainnyi derzhavnyi universytet nauky i tekhnologii. 312 s.
4. Hryhorenko, I. M. (2020). *Vdoskonalennia system bezpeky pry ekspluatatsii kraniv u vitrovykh umovakh*. Visnyk NTU «KhPI». № 5. S. 22–29.
5. Kravchenko, O. H. (2022). *Doslidzhennia novitnikh metodiv stabilizatsii kraniv pry vitrovykh navantazhenniakh*. Suchasni problemy budivelnoi tekhniki: materialy nauk.-prakt. konf., Kyiv, 10–12 chervnia 2022 r. Kyiv. S. 95–101.
6. Mykhailiuk, M. P. (2023). *Analiz efektyvnosti impulsnoho halmuvannia u vantazhopidionnykh kranakh*. Problemy mashynobuduvannia. № 2. S. 37–45.

Іваненко Олег Іванович, к.т.н., доц. каф. експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин olehiv2@gmail.com, тел. +38 0 50-905-74-90, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна;

Мусаєв Заур Разилович, к.т.н., асист. каф. експлуатації, випробувань, сервісу будівельних і дорожніх машин, тел. +38 098-044-43-84, zaur.musaiev92@gmail.com, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

The analysis of braking methods of lifting cranes under wind loads.

Abstract. Problem. The article examines the methods of braking lifting cranes under wind loads, analyzing

their effectiveness and impact on operational safety. The study assesses the main braking systems, such as mechanical, dynamic, stepwise, impulse, and gravitational braking, determining their advantages and limitations in various wind conditions. Ensuring the stability and safety of cranes under strong wind pressure is a key challenge in construction and industrial operations. **Methodology.** The research analyzes the technical parameters and braking characteristics of lifting cranes operating in open areas. The study applies analytical and simulation methods to evaluate the braking efficiency and determine the most effective system under different wind loads. **Originality.** The research highlights the advantages of gravitational braking as an optimal solution for mitigating wind-induced movement. Unlike conventional braking systems, gravitational braking minimizes the risk of sudden stops, reducing dynamic loads and improving the overall stability of the crane. **Findings.** The results indicate that existing braking methods do not fully guarantee the safety and operational reliability of cranes under wind loads. Gravitational braking, compared to other techniques, provides a smoother stop, reducing the risks of cargo swinging, structural damage, and accidents. **Practical significance.** The findings of this study can be applied to improve the safety standards of crane operations in high-wind environments. The proposed braking solution enhances the efficiency of industrial lifting mechanisms, optimizing their reliability and minimizing downtime due to adverse weather conditions.

Keywords: lifting crane, wind load, braking methods, mechanical braking, dynamic braking, gravitational braking.

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

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.