

СПОСОБИ ЗМЕНШЕННЯ РОЗГОЙДУВАННЯ ВАНТАЖІВ АВТОМАТИЧНО КЕРОВАНИХ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ КРАНІВ

К.т.н. О.Б. Неженцев¹, П.В. Збітнєв²

1. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», м. Київ

2. Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, м. Сєвєродонецьк

У роботі описано розроблені авторами способи гальмування вантажопідйомних кранів, що дозволяють значно зменшити амплітуду розгойдування вантажу та динамічні навантаження у порівнянні з традиційними способами гальмування колодковими гальмами або противмиканням електродвигунами. Запропоновано закони змінювання моменту гальмування приводу пересування крана (візка), що реалізують сприятливі перехідні процеси.

В работе описаны разработанные способы торможения грузоподъемных кранов, позволяющих значительно уменьшить динамические нагрузки и амплитуду раскачивания груза по сравнению с традиционными способами торможения противовключением электродвигателей или колодочными тормозами с обычным настройкам.

The developed ways of braking of lifting cranes, which significantly reduce the dynamic loads and the amplitude of sway the cargo in comparison with the traditional methods of braking by shoe brakes or plugging braking with the usual settings are described in the article.

Ключові слова: мостовий кран, розгойдування вантажу, колодкові гальма, противмикання

Дедалі все більше набувають розповсюдження автоматизовані виробництва в будівництві, транспорті, промисловості, що потребує також розвитку автоматизації роботи механізмів вантажопідйомних машин. Одним із завдань автоматизованого керування вантажопідйомних кранів є підвищення їх продуктивності за рахунок використання максимальних робочих швидкостей, точного позиціонування вантажів, оптимізації перехідних режимів.

В даний час активно розвиваються методи керування і засоби автоматизації механізмів вантажопідйомних кранів з жорстким підвісом вантажу, наприклад, кранів-штабелерів. Проте для зазначених кранів практично відсутня проблема розгойдування вантажу як в період руху, так і після зупинки крана. Для кранів з гнучким підвісом вантажу від вирішення проблеми розгойдування вантажу залежать час робочого циклу, продуктивність крана, рівень динамічних навантажень і багато іншого. Тому сьогодні актуальним є питання створення оптимальних законів керування крановими механізмами, які б дозволили зменшити амплітуду розгойдування вантажу, рівень динамічних навантажень на елементи механізму пересування та металоконструкцію крана, для подальшого впровадження їх у автоматизованих системах управління вантажопідйомними машинами.

Важливість зниження амплітуди розгойдування вантажів особливо під час гальмування крана та після його зупинки обумовлена наступним. Розгойдування вантажу ускладнює його позиціонування, уповільнює технологічний процес завантаження-розвантаження, збільшує тривалість робочого циклу тощо. Також в деяких галузях (хімічній, металургійній і ін.) пред'являють жорсткі вимоги щодо величини розгойдування вантажу в процесі роботи та після зупинки крана (наприклад, при транспортуванні розплавленого металу), що пов'язано з дотриманням безпеки перевантажувальних робіт. Отже, проблема розгойдування вантажу є дуже важливою, а її вирішення може мати значний економічний ефект.

Відомо способи зменшення коливань вантажу, закріпленого на гнучкому підвісі [1-3]. Однак використання цих способів або призводить до підвищення динамічного навантаження елементів приводу (через те, що керування рухом здійснюють при максимально можливих та знакозмінних гальмуючих зусиллях [1]) і знижує їх надійність та термін служби, або відомі закони є занадто складними і потребують оснащення кранів складними, дорогими і ненадійними датчиками і системами управління [2, 3].

Нами запропоновано декілька способів зменшення коливань вантажу, закріпленого на гнучкому підвісі, що відрізняються досить високою ефективністю та простотою реалізації [4-7].

Перший запропонований нами спосіб зменшення коливань вантажу, закріпленого на гнучкому підвісі, полягає в тому, що момент гальмування приводу пересування крана (візка) змінюють поетапно (двигуном і механічним гальмом) за наступним законом [4, 5]:

$$M_{\Gamma} = \begin{cases} M_{\text{д}} \approx 0,5M_{\text{к.г}}, & \text{при } 0,5V_{\text{н}} < V \leq V_{\text{н}} \\ M_{\text{к.г}}, & \text{при } 0 \leq V \leq 0,5V_{\text{н}} \end{cases}, \quad (1)$$

де $M_{\text{д}}$ - середній момент двигуна механізму пересування крана (візка) в режимі гальмування; $M_{\text{к.г}}$ - розрахунковий гальмівний момент колодкового гальма механізму пересування крана (візка), $N \times m$; $V_{\text{н}}$ - номінальна швидкість руху крана, м/с; V - поточна швидкість руху крана, м/с.

На рис. 1-3 наведено графіки перехідних процесів при гальмуванні мостового крана в/п 10 т, представленого у вигляді тримасової розрахункової схеми, колодковим гальмом (рис. 1), в режимі противмикання (рис. 2) та запропонованим способом (рис.3) при довжині підвісу вантажу $l = 5 \text{ м}$ [8, 9].

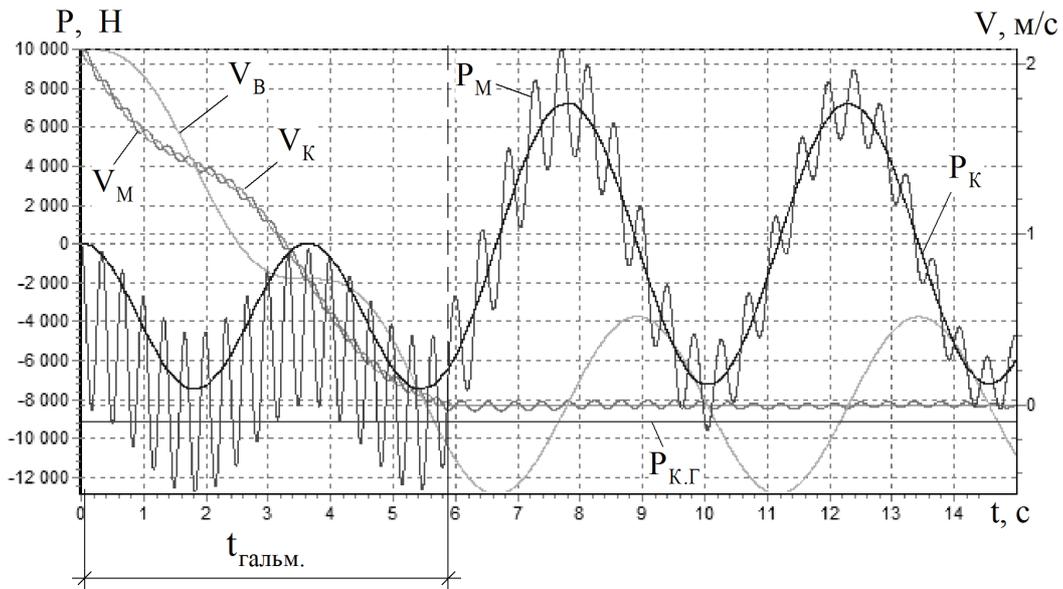


Рис. 1. Графіки перехідного процесу при гальмуванні крана колодковим гальмом

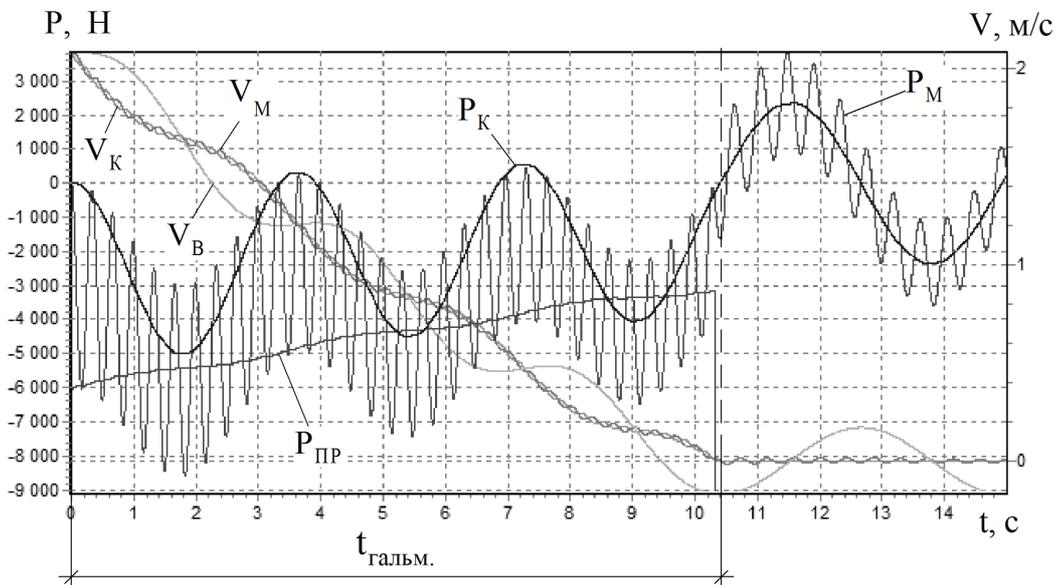


Рис. 2. Графіки перехідного процесу при гальмуванні крана в режимі противмикання

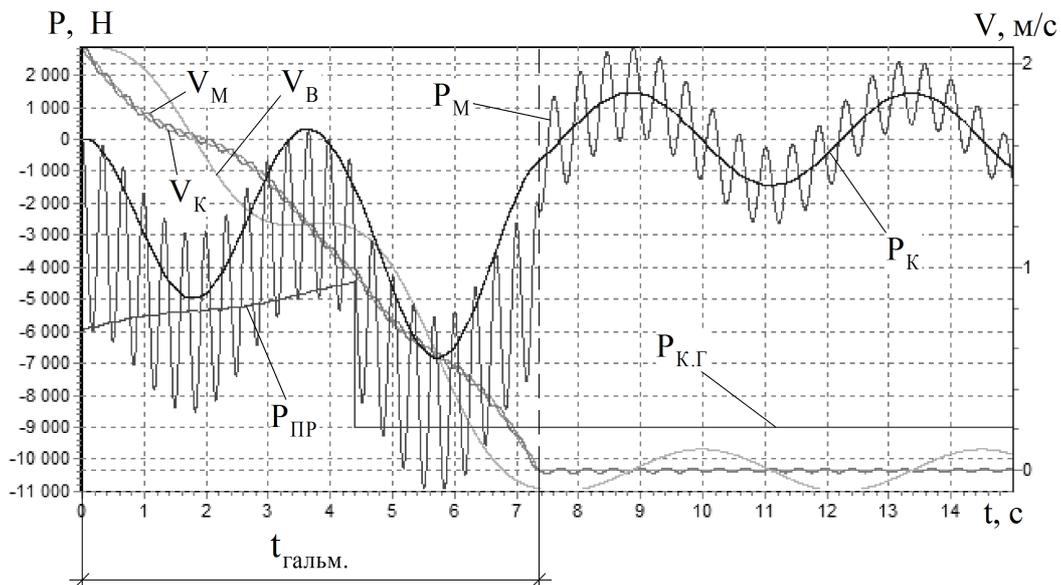


Рис. 3. Графіки перехідного процесу при гальмуванні крана при зміні моменту гальмування за законом (1)

Аналіз графіків на рис. 1-3 показує, що запропонований спосіб дозволяє суттєво зменшити динамічні навантаження та коливання вантажу після зупинки крана. За допомогою цього способу вдається суттєво зменшити динамічні навантаження у порівнянні з гальмуванням тільки колодковим гальмом або тільки двигуном у режимі противмикання. При цьому найбільше відхилення вантажу від вертикалі у процесі гальмування не перевищило 0,35 м, а амплітуда розгойдування вантажу після зупинки складала лише 0,07 м.

Нами також запропоновано другий спосіб зменшення амплітуди коливань вантажу після гальмування крана в режимі противмикання двигунів, який полягає в тому, що в процесі роботи крану вимірюють поточне значення маси вантажу та при цьому у ланцюг ротора двигуна механізму пересування вводять опір, величина якого залежить від маси вантажу за наступним законом:

$$R_d = \left(\left[6,8 - \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (x_1 + x'_2)^2}} \right] \cdot \sqrt{R_1^2 + (x_1 + x'_2)^2} \right) - \left(\left[6,8 - \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (x_1 + x'_2)^2}} \right] - \left[2,8 - \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (x_1 + x'_2)^2}} \right] \right) \cdot \frac{m \cdot \sqrt{R_1^2 + (x_1 + x'_2)^2}}{10}, \quad (2)$$

де R_1 і R'_2 - активний фазний опір обмоток статора і ротора, приведений до обмотки статора; x_1 і x'_2 - індуктивний фазний опір обмоток статора і ротора, приведений до обмотки статора; m - маса вантажу.

На рис. 4 представлено графіки зміни амплітуди коливань вантажу після зупинки крана від маси вантажу на прикладі мостового крана в/п 10 т, представленого у вигляді тримасової розрахункової схеми [8, 9]. При цьому розглянуті процеси гальмування крана з масами вантажів від 0 до 10 тонн.

З рис. 4 (крива 1) видно, що максимальна амплітуда розгойдування вантажу майже в 12 разів перевищує мінімальну та складає 0,83 м, що є неприпустимим з багатьох міркувань. На рис. 4 (крива 2) представлено графік зміни амплітуди розгойдування вантажу після гальмування крана з масою на гаку від 0 до 10 тон за знайденим законом (2), а на рис. 5 та рис. 6 - графіки відповідних перехідних процесів.

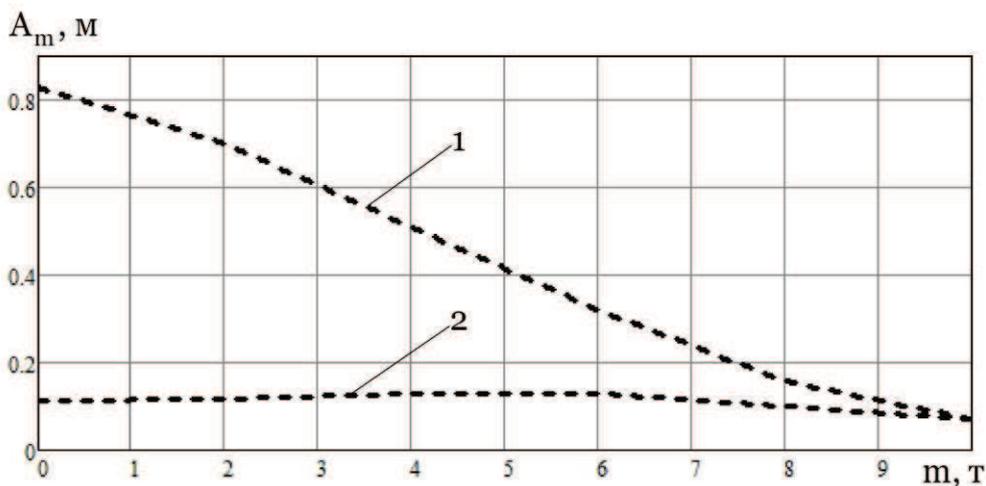


Рис. 4. Залежності амплітуди коливань вантажу від його маси після зупинки крана: 1 - на кранах, що експлуатуються; 2 - за запропонованим законом

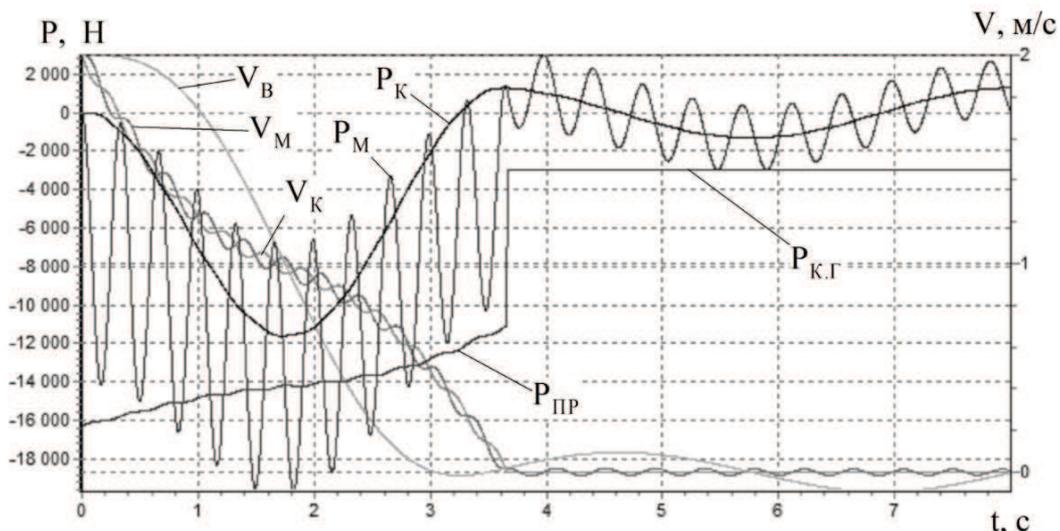


Рис. 5. Графіки перехідних процесів при гальмуванні крана за законом (2) при масі вантажу 10 т

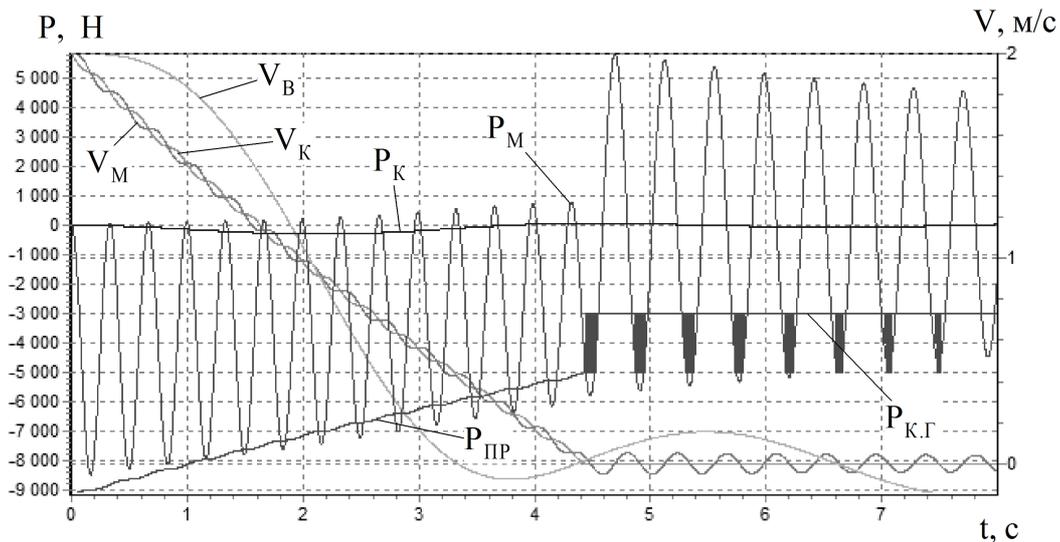


Рис. 6. Графіки перехідних процесів при гальмуванні крана без вантажу за законом (2)

Аналіз графіків на рис. 4-6 показує, що за допомогою знайденого способу гальмування вдалося зменшити динамічні навантаження на металоконструкцію крана та вантаж у порівнянні зі звичайним гальмуванням у режимі противмикання, відповідно, в 1,65 та 7,4 разів. При цьому амплітуда розгойдування вантажу після зупинки крана не перевищувала 0,13 м при висоті підвісу вантажу 5 м.

Проведені дослідження показали, що розроблені способи зменшення розгойдування вантажів рекомендуються для використання в приводах пересування різних вантажопідіймних кранів. Особливо ефективним є їх застосування на кранах, до роботи яких пред'являються підвищені вимоги до точності зупинки при високих номінальних швидкостях (наприклад, мостові, козлові та порталні грейферні або магнітні крани, які здійснюють вантажно-розвантажувальні роботи з вагонами, трюмами кораблів, бункерами тощо). Також запропоновані способи доцільно застосовувати на кранах, де поряд з високою точністю зупинки висуваються жорсткі вимоги до плавності гальмування (наприклад, на металургійних кранах: розливних, міксерних, скрапозавалочних, колодязних і ін.).

Висновки

Таким чином, у даній роботі пропонуються способи гальмування вантажопідіймних кранів (візків), за допомогою яких досягається позитивний ефект, що полягає в зменшенні розгойдування вантажу після зупинки крана (візка). Це дозволить скоротити робочий цикл крана та підвищити його продуктивність, знизити динамічні навантаження на привод і металоконструкцію крана, покращити умови роботи оператора. Також проведені дослідження показали, що для реалізації запропонованих способів не потрібно складного та дорого обладнання, а достатньо надійних та перевірених на практиці пристроїв: резисторів, тахогенераторів та простих електричних схем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Григоров О.В. Вантажопідіймні машини: навчальний посібник / О.В. Григоров, Н.О. Петренко. – Х.: НТУ «ХПІ», 2006. – 304 с.
2. Патент України на винахід №94511, МПК B66C13/06, 13/22. Спосіб зменшення коливань вантажу, закріпленого на гнучкому підвісі / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич: власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – Опубл. 10.05.2014. Бюл. №9.
3. Мецєряков В.Н. Ограничение колебаний груза, перемещаемого мостовыми кранами / В.Н. Мецєряков, В.В. Колмыков, Д.В. Мигунов // Фундаментальные исследования. – 2015. - № 6-2. – С. 268-272.
4. Патент України на корисну модель №116294, МПК B66C13/06 Спосіб зменшення коливань вантажу, закріпленого на гнучкому підвісі / О.Б. Неженцев, П.В. Збітнев: власник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Опубл. 10.05.2017. Бюл. №9.
5. Збітнев П.В. Зменшення амплітуди коливань вантажу при гальмуванні мостових кранів / П.В. Збітнев, О.Б. Неженцев // Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів. Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції, 18-24 квітня 2017 р., м. Рубіжне. – Харків: Мачулін, 2017. – с. 253-256.
6. Збітнев П.В. Зменшення амплітуди коливань вантажу при гальмуванні мостових кранів в режимі противмикання / П.В. Збітнев, О.Б. Неженцев // Збірка матеріалів Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді – машинобудуванню», секція "Прикладна механіка". – К: НТУУ "КПІ", 2017. – с. 25-28.
7. Збітнев П.В. Зменшення розгойдування вантажу при гальмуванні мостових кранів в режимі противмикання / П.В. Збітнев, О.Б. Неженцев // Університетська наука. Проблеми міжнародної інтеграції: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції. – 3-5 травня 2017 р. – Северодонецьк: вид-во СХУ ім. В. Даля, 2017. – с. 33-35.
8. Неженцев А.Б. Оптимизация механических характеристик привода передвижения мостового крана в режиме двухступенчатого противовключения / А.Б. Неженцев, П.В. Збітнев // Вісник Східноукраїнського національного ун-ту ім. В. Даля, №7(224). – Северодонецьк: Вид-во СХУ ім. В. Даля, 2015. – С. 36-42.
9. Аветисян С.М. Програмное обеспечение для исследования переходных процессов грузоподъемных кранов (часть 1: при работе механизмов передвижения) / С.М. Аветисян, А.Б. Неженцев. // Підійомно-транспортна техніка. – 2003. – №4. – С. 33-48.