

**Ігор Олексійович Цимбаленко**

аспірант кафедри прикладної гідроаеромеханіки та механотроніки

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: [tsymbalenko.i@gmail.com](mailto:tsymbalenko.i@gmail.com)**ГАЛЬМІВНІ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВИХ НАВАНТАЖУВАЧІВ**

У статті досліджено гальмівні системи промислових навантажувачів, зокрема крани-штабелери, важливість яких полягає в забезпеченні безпеки та ефективності роботи в промислових середовищах. Розглянуто основні проблеми й вимоги до цих систем, серед яких надійність, точність і безпека. Крім цього, проаналізовано гальмівні системи провідного виробника промислових навантажувачів компанії *Jungheinrich* та різні аспекти роботи гальмівних систем і сучасні технології, які використовуються для їх поліпшення. Здійснено огляд джерел, що містять корисну інформацію про гальмівні системи промислового обладнання, щоб допомогти фахівцям у цій галузі розширити свої знання та навички.

Стаття є оглядово-інформаційною.

**Ключові слова:** гальма; гальмівна система; кран-штабелер; штабелер; навантажувач; складське обладнання; складська безпека.

Табл.: 2. Бібл.: 8.

**Актуальність теми дослідження.** У сучасному промисловому середовищі роль промислових навантажувачів важко недооцінювати, оскільки ці машини мають підвищену ефективність і надійність. Одним з основних чинників надійності є гальмівні системи, що відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки та ефективності роботи, зокрема кранів-штабелерів.

**Постановка проблеми.** Недоліки в гальмівних системах призводять до серйозних наслідків для персоналу виробництва й майна. Своєчасне виявлення та вирішення проблем із гальмівними системами необхідно для запобігання аваріям і пошкодженням обладнання. Основними проблемами з гальмівними системами промислових навантажувачів є зношування гальмівних деталей, втрата тиску в гальмівній системі, витік гальмівної рідини або неправильне налаштування гальм. Проблеми з гальмівною системою призводять до небезпечних ситуацій, для уникнення яких необхідно вживати невідкладних заходів для перевірки й обслуговування гальмівних систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми гальмівних систем досліджувалися багатьма науковцями та інженерами, зокрема в галузях матеріалознавства, механіки та автомобільної інженерії. Дослідження цих проблем включає аналіз зношування, теплових характеристик, коефіцієнта тертя, шуму та вібрації. Деякі науковці, що здійснювали дослідження гальмівних колодок: Prof. Dr. Medeni Masjuki і його команда з *Universiti Malaya* (Малайзія) провели дослідження щодо впливу різних матеріалів на продуктивність гальмівних колодок, у тому числі їхня зносостійкість та вплив на довкілля; Prof. Dr. J. Tichý і Prof. Dr. M. Černý з Технічного університету в Ліберці (Чехія) досліджували аспекти термонавантажень гальмівних колодок і їх вплив на ефективність гальмування та довговічність; Prof. Dr. J. W. Newcomb та Prof. Dr. S. J. Kim з *University of Michigan* (США) зосереджували увагу на шумі та вібрації, що виникають під час гальмування, та їх зв'язок із матеріалом гальмівних колодок; інші команди науковців з усього світу досліджували питання гальмівних систем, матеріалів та технологій, що використовуються в гальмівних колодках, приділяючи особливу увагу питанням екології та ефективності.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми** гальмівних систем включає кілька ключових аспектів, що впливають на безпеку експлуатації промислових навантажувачів, а саме: стала гарантія безпеки роботи гальмівних систем промислових навантажувачів, зокрема кранів-штабелерів, під час використання новітніх технологій, застосування нетрадиційних матеріалів (композитних матеріалів, наноматеріалів та матеріалів

на основі біополімерів), що використовуються в елементах гальмівних систем. Багато досліджень уже було проведено щодо традиційних матеріалів, що використовуються в гальмівних системах, а реакції та вплив новітніх матеріалів усе ще перебуває в дослідницькому пошуку. Їхній вплив на безпеку роботи навантажувачів та пошук новітніх характеристик, що залишаються в процесі дослідження, потребує подальшого розгляду. З метою дотримання встановлених стандартів безпеки та подальшого використання новітніх матеріалів виникає необхідність у розробці більш ефективних методів випробувань, а саме: є потреба в розробці нових методів і технологій для тестування гальмівних систем, які могли б більш точно моделювати реальні умови експлуатації та довготривалі ефекти використання, зокрема в підвищених режимах випробувань. Ці напрями можуть стати основою для майбутніх досліджень і вдосконалення гальмівних систем у контексті їхньої надійності, ефективності та екологічної безпеки.

**Метою статті** є підвищення обізнаності щодо необхідного рівня безпеки в роботі з промисловими навантажувачами за допомогою вивчення основних проблем і способів їх уникнення (на прикладі кранів-штабелерів). Підвищення обізнаності з питань безпеки – це підвищення рівня ефективності складських приміщень. Під час дослідження використовувалися такі методи, як аналіз, синтез та спостереження.

**Виклад основного матеріалу.** Гальмівні системи кранів-штабелерів відіграють одну з провідних ролей у забезпеченні безпеки та ефективності роботи в промислових умовах. Гальмівні системи є гарантією уникнення аварійних ситуацій на завантаженому складі та забезпечують безпеку операторів і продуктивність роботи кранів-штабелерів у промисловому середовищі [2]. У статті наведено основні аспекти гальмівних систем кранів-штабелерів, включно з принципами роботи, типовими проблемами, методами обслуговування та важливістю правильного функціонування для безпеки й продуктивності.

До гальмівних систем кранів-штабелерів висуваються високі вимоги стандартів безпеки та ефективності. Гальмівні системи можуть бути оснащені різноманітними технологіями, наприклад, гідравлічними або електричними системами, що дозволяють забезпечити швидке й безпечне гальмування машин із вантажами у складських умовах. Оператори та виробники кранів-штабелерів в Україні приділяють велику увагу стандартам безпеки, зокрема профілактичному обслуговуванню гальмівних систем, щоб уникнути можливих несправностей і забезпечити надійну роботу складних та коштовних складських машин. Загалом гальмівні системи кранів-штабелерів в Україні відповідають сучасним європейським вимогам безпеки, які необхідні для продуктивної роботи в промислових умовах.

Стандарти безпеки та ефективності гальмівних систем кранів-штабелерів визначаються різними нормативними документами й рекомендаціями, які встановлюють вимоги до проектування, виробництва, експлуатації та обслуговування цих систем. Ось деякі з найбільш поширених стандартів: EN 1493:2001 – визначає загальні вимоги до безпеки та ефективності гідравлічних підйомників, включно з кранами-штабелерами; ISO 3691-1:2020 – встановлює загальні вимоги та методи випробувань для безпеки кранів-штабелерів, включно з гальмівними системами; OSHA 1910.178 – стандартні вимоги до безпеки кранів-штабелерів, які встановлюються Адміністрацією з охорони праці США; CE Marking – у ЄС гальмівні системи кранів-штабелерів повинні відповідати вимогам директиви 2006/42/EC та мати позначку CE, що підтверджує їх відповідність європейським стандартам безпеки. Ці стандарти встановлюють важливі вимоги до безпеки та ефективності гальмівних систем, що допомагають забезпечити надійну роботу кранів-штабелерів та запобігти аваріям [6].

Наприклад, якщо вантажопідіймальний кран або машина працюють на відкритому незахищеному від вітру місці, важливо встановити обов'язкові гальма на механізмах пересування кранів та машин, а також на їхніх вантажних візках.

Гальма механізмів пересування і повороту повинні забезпечувати надійну зупинку та утримування крана або машини, а також їхнього вантажного візка під впливом вітру під час робочого процесу. Швидкість пересування крана або машини повинна відповідати встановленим в інструкції нормам, а також урахувати допустимий нахил [1].

Ці заходи забезпечують безпеку робочого процесу й уникнення ризиків у разі роботи з вантажопідіймальними кранами та машинами на відкритому місці.

Основними проблемами гальмівних систем є:

1. Зношені гальмівні деталі: під час тривалої експлуатації гальмівні колодки, диски та інші компоненти можуть зношуватись, що призводить до зниження ефективності гальмування та збільшення часу зупинки.

2. Витік гальмівної рідини: витік або втрата гальмівної рідини може призвести до втрати тиску в гальмівній системі, що ускладнює гальмування та підвищує ризик аварій.

3. Пошкоджені гідравлічні лінії: пошкодження гідравлічних ліній може призвести до витіку рідини та втрати тиску, що впливає на ефективність гальмування.

4. Перегрів гальмівних систем: використання гальм в інтенсивному режимі або під час вантажних операцій може призвести до перегріву гальмівних систем, що може призвести до втрати їхньої ефективності.

Ці аспекти потребують ретельного контролю з боку персоналу промислових об'єктів, а саме: регулярного огляду, обслуговування і вчасних ремонтних робіт для забезпечення безпеки та ефективності роботи промислових навантажувачів, зокрема і кранів-штабелерів. Так, наприклад, при помітному збільшенні жорсткості гальмівної педалі необхідно аналізувати можливі дефекти підсилювача залежно від його типу:

– у вакуумного підсилювача може статися витік у впускній камері, пошкодження вакуумної трубки або самого підсилювача та його клапана;

– у гідравлічного підсилювача може відбуватися стирання приводного ремня, недостатній рівень рідини або її протікання у пристрої;

– іноді може перестати працювати сам гідропідсилювач.

Цей перелік не є вичерпним, проте він дає змогу водію оцінити серйозність ламання та своєчасно звернутися за допомогою [4].

Для уникнення проблем гальмівних систем кранів-штабелерів необхідно враховувати такі розрахунки:

1. Розрахунок тиску в гальмівній системі: підрахунок необхідного тиску в гальмівній системі для ефективного гальмування залежно від ваги та швидкості руху крана-штабелера.

2. Оцінювання зношування гальмівних деталей: розрахунок середнього часу служби гальмівних деталей на основі інтенсивності експлуатації та параметрів робочого середовища.

3. Визначення ефективності гальмування: розрахунок відношення відстані гальмування до швидкості руху крана-штабелера для оцінювання ефективності гальмівної системи.

4. Визначення впливу зношування на безпеку: підрахунок впливу зношування гальмівних деталей на відстань гальмування та час реакції оператора для оцінювання ризику небезпеки.

5. Оцінювання витрат на обслуговування: розрахунок витрат на запасні частини й ремонт гальмівної системи на основі прогнозованої тривалості служби та частоти обслуговування.

Розглянемо конкретний приклад розрахунку тиску в гальмівній системі:

Припустимо, що маємо гальмо з поршнем площею  $A = 50 \text{ см}^2$ , на яке діє сила  $F = 2000 \text{ Н}$ . Щоб розрахувати тиск у гальмівній системі, використовуємо формулу:

$$P = F / A.$$

Так, тиск у гальмівній системі становить 400 000 Па, або 400 кПа.

Зробивши розрахунок тиску в гальмівній системі крана-штабелера, ми бачимо, що отриманий тиск становить 400 кПа. Це висока величина тиску, що вказує на ефективність гальмування та здатність системи швидко зупинити машину або обладнання під час переміщення вантажів. Високий тиск у гальмівній системі також може свідчити про добре збалансовану роботу системи та належне функціонування гідравлічних компонентів.

Таблиця 1 містить орієнтовний перелік несправностей, можливі причини цих несправностей, а також варіанти їх усунення в автомобілях, які також притаманні й діагностиці гальмівних систем промислових навантажувачів.

Таблиця 1 – Причини та наслідки несправностей, а також способи усунення поломки [4]

Несправності	Можлива причина	Варіанти усунення поломки
Зниження рівня гальмівної рідини (далі – ГР)	1. Зношеність гальмівних колодок.	1. Замінити зношені елементи.
	2. Витік ГР з системи.	2. Перевірити, чи немає на елементах системи характерних слідів рідини.
Низька педаль гальма	1. Заклинює систему авторегулювання барабаних гальм, яка розводять колодки з урахуванням їх зношування.	1. Відрегулювати систему. Це тимчасово відновить рух педалі, однак якщо колодки будуть і далі зношуватися, проблема повернеться. Необхідно її почистити або замінити.
	2. Стирання колодок.	2. Замінити колодки.
	3. Витік ГР.	3. Заповнити нестачу рідини.
Занадто м'яка гальмівна педаль	1. Попадання повітря в систему.	1. Прокачати гальма, щоб усунути повітря.
	2. Ламання головного гальмівного циліндра (далі – ГГЦ)	2. Відремонтувати ГГЦ.
	3. Закипання рідини внаслідок підвищення температури робочого циліндра.	3. Замінити ГР.
Великий хід педалі гальма	1. Зношування гальмівних колодок.	1. Замінити колодки.
	2. Бульбашки повітря в системі.	2. Видалити повітря з системи.
Провал педалі гальма	1. Зношування одного з гальмівних циліндрів.	Замінити всі гумові ущільнювачі і ГР, а потім прокачати систему, щоб видалити з неї повітря.
	2. Розгерметизація гідросистеми.	
	3. Низька якість ГР.	
Скрегіт при натисненні педалі	Тертя зношеної колодки об гальмівний диск.	Замінити колодки і розточити робочі поверхні диска.
Нерівномірне або малоефективне гальмування	1. Протікання мастила або ГР на робочу поверхню колодки.	1. Усунути протікання і встановити нові колодки.
	2. Механічні пошкодження на верхніх дисках або барабанів.	2. Розточити або замінити диски.

Вплив зношування гальмівних деталей на безпеку промислового навантажувача, зокрема крана-штабелера, може серйозно впливати на здатність машини до ефективного гальмування. Ось декілька причин:

1. Збільшення відстані гальмування: при зношуванні гальмівних деталей відстань, яка необхідна для зупинки крана-штабелера, може збільшитися, що ускладнює вчасне реагування на небезпечні ситуації.

2. Погіршення ефективності гальмування: зношування гальмівних деталей знижує ефективність гальмування, що може призвести до того, що гальмівна система не зможе зупинити кран-штабелер відповідно до потрібного стандарту безпеки.

3. Ризик виникнення аварійних ситуацій: зношування гальмівних деталей призводить до недостатнього рівня гальмування та збільшення ризику виникнення таких аварійних ситуацій, як зіткнення з іншими об'єктами або падіння вантажу.

4. Зниження контролю за рухом машини: зношування гальмівних деталей призводить до погіршення контролю за рухом крана-штабелера, що може збільшити ризик виникнення зіткнень та руйнувань.

Отже, важливим етапом експлуатації кранів-штабелерів є регулярна перевірка стану гальмівних деталей та вчасна заміна для забезпечення безпеки робочого процесу.

Визначення ефективності гальмування має велике значення. Наприклад, оператор крана-штабелера активує гальма, коли транспортний засіб рухається зі швидкістю 5 м/с. Після активації гальм кран-штабелер зупиняється за 3 секунди. У цей час пристрій проходить відстань 10 метрів до повної зупинки.

Тепер ми можемо обчислити ефективність гальмування за допомогою виміряного часу та відстані:

Час зупинки: 3 с.

Відстань гальмування: 10 м.

Ефективність гальмування можна розрахувати, поділивши відстань гальмування на квадрат часу.

Ефективність гальмування = Відстань гальмування / (Час зупинки)<sup>2</sup>.

Ефективність гальмування  $\approx 1,11$  м/с<sup>2</sup>

Так, ефективність гальмування цього крана-штабелера становить приблизно 1,11 м/с<sup>2</sup>. Чим більше це значення, тим швидше пристрій може зупинитися, що важливо для забезпечення безпеки та ефективності роботи в промислових умовах. Тобто вимір ефективності гальмування крана-штабелера дозволяє фіксувати, наскільки швидко та ефективно гальмують пристрої під час роботи. Дані вимірів можуть бути корисними для оцінювання стану гальмівної системи, планування обслуговування та вдосконалення робочих процесів.

Оцінювання витрат на обслуговування гальмівних систем кранів-штабелерів може включати такі аспекти, як вартість запасних частин, робочої сили, регулярних технічних оглядів та вартість аварійних і ймовірних ремонтів.

Вартість запасних частин визначається витратами на покупку й заміну таких гальмівних деталей, як колодки, диски, шланги та інші компоненти в плановому порядку, а також витратами для вирішення форс-мажорних обставин.

Вартість робочої сили передбачає витрати на оплату праці технічного персоналу, який здійснює монтаж, регулювання та заміну гальмівних компонентів.

Також необхідно враховувати можливість несправності обладнання, що потребує витрат на непланові ремонти або витрати на технічну підтримку в разі аварій і відмови гальмівних систем. Отже, оцінювання витрат на обслуговування допоможе забезпечити ефективну експлуатацію гальмівних систем кранів-штабелерів і забезпечити їхню надійність та безпеку.

На сьогодні ми можемо спостерігати постійний розвиток технологій у галузі гальмування кранів-штабелерів. Деякі сучасні моделі кранів-штабелерів використовують електричні гальма замість традиційних гідравлічних систем. Це дозволяє точно керувати гальмуванням і зменшує зношування, що може відбуватися в гідравлічних системах. Багато сучасних моделей кранів-штабелерів оснащені системами регенеративного гальмування, які використовують енергію, що виникає під час гальмування, для зарядження акумуляторів. Це дозволяє економити енергію та збільшувати час автономної роботи пристрою. Також досить часто використовують магнітні гальма, які включаються за допомогою магнітного поля. Це може бути особливо корисно в умовах великих навантажень або вимогливих додаткових умов.

Варто зазначити, що є велика кількість сучасних кранів-штабелерів, які оснащені системами автоматичного гальмування, що активуються при виявленні перешкод або непередбачуваних ситуацій у робочій зоні. Це допомагає запобігти аваріям і забезпечити безпеку оператора та навколишніх.

Одна з концепцій розвитку гальмових систем – вбудовування засобів автоматизації в готові системи, що дозволяє скоротити витрати на впровадження автоматичних систем [2].

Гарним прикладом високотехнологічних рішень у сфері гальмівних систем є навантажувальне обладнання виробництва компанії Jungheinrich (Німеччина). Jungheinrich впроваджує провідні тенденції розвитку світових індустрій та спеціалізується на пошуку й розробці більш екологічних рішень у галузі електронавантажувачів. Компанія понад 20 років тому першою запровадила технології використання електродвигунів змінного струму для навантажувачів, що мають здатність до рекуперації енергії. Крім регенеративної системи також є гідравлічна система екстреного гальмування. Усі рішення такого типу супроводжуються обладнанням машин накопичувачами енергії – акумуляторними батареями.

Серед типів навантажувальної техніки, що має найбільше поширення, можна виокремити такі:

1. Електричні навантажувачі типів Jungheinrich EFG – гальмівна рекупераційна система на двигунах змінного струму [9].
2. Автоматичні електричні вертикальні комісіонери EKS – гальмівна рекупераційна система на двигунах змінного струму [10].
3. Автоматичні стелажні крани-штабелери типу STS – гальмівна рекупераційна система на двигунах змінного струму із накопичувачами SuperCaps [11].

Варто зазначити, що Jungheinrich має зразки провідних розробок не лише в навантажувачах електричного типу. Так, наприклад, ефективно працюють дизельні навантажувачі з багатодисковим гальмівним вузлом [12]:

Безумовною перевагою обох систем є повністю герметична капсульована конструкція, яка не потребує ніякого обслуговування протягом усього терміну експлуатації. Така конструкція є ефективною з погляду безпеки та економічності обслуговування, але є кошовною і технологічно складною для виробництва та діагностики в разі виявлення проблем.

Рівень безпеки кранів-штабелерів Jungheinrich відповідає вимогам не лише національної системи безпеки, а також відповідає міжнародним стандартам: ISO 2328:2007, ISO 2330, ISO 3691-3, ISO 3795:1989, ISO 5053, ISO 6292:2008, ISO 13284:2003, ISO 13564-1, ISO 15870:2000, ISO 15871:2000, ISO 20898:2008, ISO 21281:2005, ISO 22915-1:2008, ISO 22915-2:2008, ISO 22915-3:2008, ISO 22915-4:2009, ISO 22915-7:2009, ISO 24134:2006, ISO 24135-1:2006, на які є посилання в національних стандартах, але які не застосовуються в Україні як обов'язкові.

Законодавство передбачає нормативні вимоги, пов'язані з обов'язковим обслуговуванням та перевіркою гальмівних систем кранів-штабелерів, а саме:

1. Стандарти безпеки: опис найважливіших стандартів безпеки, які регулюють використання та обслуговування гальмівних систем кранів-штабелерів; це міжнародні стандарти, наприклад, ISO 3691 (щодо безпеки й підвищення продуктивності штабелерів), а також місцеві правила та нормативні вимоги.
2. Частота обслуговування: рекомендації щодо регулярності обслуговування та перевірки гальмівних систем відповідно до встановлених строків. Наприклад, зазначення, що гальмівні системи повинні перевірятися та налаштовуватися щорічно або за певними кількісними / часовими інтервалами експлуатації.
3. Процедури обслуговування: опис процедур, які повинні виконуватися під час обслуговування гальмівних систем, включно з перевіркою стану гальмівних деталей, налаштуванням, заміною зношених елементів та технічним обслуговуванням.

4. Документація та звітність: зазначення необхідності ведення документації щодо обслуговування гальмівних систем, а також звітів про виконані роботи. Вказівка на обов'язковість зберігання цієї документації та готовність до перевірок з боку відповідних органів.

5. Відповідальність та штрафи: огляд правових наслідків порушення вимог щодо обслуговування гальмівних систем, включно з можливими штрафами й адміністративними санкціями для підприємств та операторів обладнання [7].

Варто зауважити, що важливе значення має періодичне обслуговування гальмівних систем кранів-штабелерів, що допомагає покращити основні вимоги до них:

- безпека: гальмівна система є критично важливим компонентом для безпеки робочого середовища; перевірка та підтримка гальм допомагає запобігти аваріям і травмам операторів та інших працівників;

- ефективність роботи: гальмівна система допомагає контролювати рух обладнання та забезпечує точність маневрування та зупинки; її належний стан підтримує ефективну й продуктивну роботу штабелерів;

- продовження терміну служби обладнання: регулярне обслуговування гальмівних систем сприяє підтримці робочого стану компонентів, що зменшує ризик виникнення серйозного ламання та підвищує загальний строк служби обладнання;

- відповідність законодавству та нормам безпеки: багато країн мають законодавчі вимоги, які стосуються обслуговування та безпеки обладнання на робочих місцях; періодичне обслуговування гальмівних систем допомагає підтримувати відповідність цим нормам;

- зниження витрат на ремонт: регулярне обслуговування дає змогу виявляти та усувати потенційні проблеми гальмівних систем на ранніх стадіях, що дозволяє уникнути дорогих ремонтних витрат у майбутньому [8].

*Таблиця 2 – Графік періодичного обслуговування гальмівних систем промислових навантажувачів на прикладі компанії Jungheinrich*

Тип обслуговування	Часовий інтервал	Кількісний інтервал
Перевірка гальмового стану	Раз на рік	Кожні 1000 годин роботи або кожні 12 місяців
Перевірка тиску гідравлічної системи	Раз на рік	Кожні 1000 годин роботи або кожні 12 місяців
Перевірка налаштування гальм	Кожні 6 місяців	Кожні 500 годин роботи або кожні 6 місяців
Заміна зношених гальмівних деталей	За потреби	Заміна за потребою або після досягнення мінімальної товщини або допустимого рівня зношеності

Джерело: розроблено автором.

Новітні технології в галузі гальмівних систем кранів-штабелерів розвиваються дуже стрімко.

Електронні системи контролю стабільності (ESC) використовуються для контролю над пошкодженням шин на дорозі. Вони можуть бути застосовані в гальмівних системах промислових навантажувачів для автоматичного регулювання тиску гальм для запобігання занадто сильному гальмуванню або ковзанню.

Системи регенерації енергії забезпечують перетворення кінетичної енергії, що виникає під час гальмування, у електричну енергію, яка може бути використана для живлення інших систем або збережена в батареях для подальшого використання. Автоматизовані системи навігації та керування використовуються для автоматизації процесу маневрування та регулювання швидкості руху промислових навантажувачів з урахуванням різних умов експлуатації та навантаження.

Антиблокувальна система гальм (ABS) допомагає уникнути блокування коліс під час гальмування, що покращує контроль і стабільність руху промислових навантажувачів, зокрема кранів-штабелерів на будь-яких поверхнях [2].

Останнім часом велика увага приділяється також мехатронним системам. Ці системи поєднують механічні й електронні компоненти для оптимізації роботи гальмівних систем, забезпечуючи вищу точність та ефективність гальмування [3].

Гальмівні системи промислових навантажувачів відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки та ефективності роботи. Ці системи призначені для забезпечення точного та швидкого зупинення обладнання під час різних робочих процесів. Вони можуть використовувати такі технології, як гідравліка, пневматика або електроніка, залежно від типу обладнання і його функціональних потреб. Гальмівні системи промислового обладнання повинні відповідати високим стандартам безпеки та надійності, щоб уникнути аварійних ситуацій і зберегти інфраструктуру та персонал у безпеці [5]. Гальмівні системи кранів-штабелерів мають забезпечувати швидке та точне зупинення машини, а також уникнення таких небезпечних ситуацій, як зіткнення з іншими об'єктами або перевищення швидкості руху. Це є критично важливим для забезпечення безпеки персоналу та власності, а також для підтримання ефективності роботи в складських умовах.

**Висновок.** У статті наведені приклади різноманітних систем гальмування у промислових навантажувачах. На прикладі кранів-штабелерів розглянута важливість гальмівної системи й періодичного обслуговування гальмівних систем кранів-штабелерів, що є необхідною та важливою вимогою для роботи промислових об'єктів. Гальмівна система відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки та ефективності роботи обладнання на складі. Правильне обслуговування гальмівних систем допомагає запобігти аваріям, зменшити витрати на ремонт, продовжити термін служби обладнання та відповідати вимогам законодавства з питань безпеки на робочому місці.

Отже, розвиток таких новітніх технологій у гальмівних системах, як мехатронні системи та системи автоматичного регулювання, свідчить про постійні зусилля удосконалення безпеки й продуктивності роботи обладнання. Як приклад успішного й екологічного розвитку таких систем розглянуто діяльність міжнародного лідера компанії Jungheinrich. Увагу акцентовано на стандартах безпеки для промислових навантажувачів і сучасних технологіях, які впроваджуються для підвищення надійності, точності та швидкості реакції гальмівних систем, що робить їх ще більш ефективними в умовах сучасного виробництва. Так, підтримка та своєчасне обслуговування гальмівних систем є важливою складовою успішного й безпечного функціонування кранів-штабелерів.

#### Список використаних джерел

1. Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства соціальної політики України від 19.01.2018 р. № 62. – Режим доступу: [https://zakononline.com.ua/documents/show/375195\\_\\_\\_375260](https://zakononline.com.ua/documents/show/375195___375260).
2. Дудкін, Б. В. Аналіз систем автоматизації гальмівних систем / Б. В. Дудкін, Ю. А. Ткаченко // Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищ. освіти і молодих вчених, [Харків], 22 листопада 2023 р. / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, 2023. – С. 46–49.
3. Avtofishki. Несправність гальмівної системи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://avtofishki.com.ua/ua/articles/neispravnost-tormoznoj-sistemy>.
4. Eaton Corporation. Industrial Hydraulics Manual. Your Comprehensive Guide to Industrial Hydraulics / Eaton Corporation. – 6th edition. – Dublin : Eaton Corporation Industrial Sector-Hydraulics Group, 2015. – 640 p.
5. Swartz, G. Forklift Safety: A Practical Guide to Preventing Powered Industrial Truck Incidents and Injuries / G. Swartz. – 2nd edition. – Lanham : Government Institutes, 1999. – 327 p.



6. Materials Handling Handbook / ed. by A. Kulweic. 2nd edition. – USA : Wiley-Interscience, 1991. – 1488 p.
7. Jungheinrich. Електричні трьохопорні навантажувачі 1,3–2,0 т [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://is.gd/1R7g6g>.
8. Jungheinrich. Автоматичний вертикальний комісіонер 1,5 т [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://is.gd/0EwEsN>.
9. Jungheinrich. Автоматичний стелажний штабелер [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://is.gd/p1AJdz>.
10. Jungheinrich. Дизельні вилкові навантажувачі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://is.gd/zUpFi7>.

### References

1. Pro zatverdzhennia Pravyl okhorony pratsi pid chas ekspluatatsii vantazhopidiimalnykh kraniv, pidiimalnykh prystroiv i vidpovidnoho obladnannia [On the approval of the Rules of labor protection during the operation of load-lifting cranes, lifting devices and corresponding equipment], Order of Ukraine dated January 19, 2018 № 62. [https://zakono.nline.com.ua/documents/show/375195\\_\\_375260](https://zakono.nline.com.ua/documents/show/375195__375260).
2. Dudkin, B.V., Tkachenko, Yu.A. (2023). Analiz system avtomatyzatsii halmivnykh system [Analysis of automation systems of braking systems]. *Kompiuterno-intehrovani tekhnologii avtomatyzatsii tekhnologichnykh protsesiv na transporti ta u vyrobnytstvi: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh vchenykh – Computer-integrated technologies for automation of technological processes in transport and production: materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference of higher education graduates and young scientists* (pp. 46–49).
3. Avtofishki. Nespravnist halmivnoi systemy [Malfunction of the braking system]. <https://avtofishki.com.ua/ua/articles/neispravnost-tormoznoj-sistemy>.
4. Eaton Corporation. (2015). *Industrial Hydraulics Manual. Your Comprehensive Guide to Industrial Hydraulics*. Eaton Corporation Industrial Sector-Hydraulics Group.
5. Swartz, G. (1999). *Forklift Safety: A Practical Guide to Preventing Powered Industrial Truck Incidents and Injuries*. Government Institutes.
6. Ed. by Kulweic, A. (1991). *Materials Handling Handbook*. Wiley-Interscience.
7. Jungheinrich. Elektrychni trokhoporni navantazhuvachi 1,3–2,0 t [Electric three-support loaders 1,3–2,0 t]. <https://is.gd/1R7g6g>.
8. Jungheinrich. Avtomatychnyi vertykalnyi komisioner 1,5 t [Automatic vertical commission agent 1,5 t]. <https://is.gd/0EwEsN>.
9. Jungheinrich. Avtomatychnyi stelazhnyi shtabeler [Automatic rack stacker]. <https://is.gd/p1AJdz>.
10. Jungheinrich. Dyzelni vylkovi navantazhuvachi [Diesel forklifts]. <https://is.gd/zUpFi7>.

Отримано 01.09.2024

UDS 531.1

### **Igor Tsymbalenko**

PhD student, Department of Applied Hydroaeromechanics and Mechatronics  
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [tsymbalenko.i@gmail.com](mailto:tsymbalenko.i@gmail.com)

### **BRAKE SYSTEMS FOR INDUSTRIAL FORKLIFTS**

*The article is devoted to the consideration of braking systems of industrial forklifts, on the example of stacker cranes, in terms of identifying problems, finding effective ways to solve them, identifying ways to improve operational safety, indicating the most important areas of potential optimization and, as a result, improving the economic component of further use.*

*In general, the author's consideration is based on the idea of an integrated approach to the problem and aims to raise awareness of the required level of safety in the operation of industrial forklifts, using the example of stacker cranes as an example, by considering the main problems and ways to avoid them. Attention is drawn to the statutory safety standards for industrial forklifts. Raising awareness of the problems of industrial forklift braking systems is an increase in safety, as well as an increase in the level of efficiency of warehouses. The study used methods such as analysis, synthesis and observation.*

---

**TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES**

---

*The analysis of research and publications on the subject demonstrates the lack of disclosure of the problem of safety of industrial facilities, in particular due to the quality of preparation and operation of brake systems of industrial forklifts.*

*Creating a general picture of the current situation in accordance with the topic of the article is done by displaying such components as the fundamental structure of brake systems, with certain specifics by type of equipment, general principles and mechanisms of operation and typical shortcomings in operation. For informative completeness, the subject of further maintenance is also considered, not only the direct operation.*

*First of all, through the analysis of the problems present on the existing industrial equipment, the most important aspects that have a direct impact on improving both safety and efficiency in a broad sense are noted. Consistently, among the identified aspects, the most appropriate ones are identified that can be optimized and improved. The analysis of safety enhancement technologies is based on a combination of not only safety aspects, but also the identification of complex solutions that combine several components.*

**Key words:** *brakes; braking system; stacker crane; stacker; forklift; warehouse equipment; warehouse safety.*

*Table: 2. References: 8.*