

**ЗАХИСНА СИСТЕМА КРАНІВ МОСТОВОГО ТИПУ  
З МАГНІТОРЕОЛОГІЧНИМИ БУФЕРАМИ**  
**©Семьміні І. І.***Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про автора:**

**Семьміні Іван Ігорович:** ORCID: 0000-0001-7872-8526; i.semynin@gmail.com; кандидат технічних наук, доцент кафедри металургійного обладнання і транспортних систем, Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Аналіз роботи існуючих захисних систем вантажкоціймальних кранів мостового типу в кінцевих ділянках колій показав, що вони не забезпечують безпечної експлуатації вантажкоціймальних кранів, особливо під час аварійних випадків (наїзду крана на тушкові упори). Це також підтверджується прагненням винахідників створити нові конструкції буферних пристроїв, які будуть відповідати вимогам правил експлуатації кранів і відрізнятися підвищеною надійністю роботи.

В результаті аналізу останніх запропонованих конструктивних рішень буферних пристроїв було сформульовано вимоги до них і запропоновано нову конструкцію буферного пристрою, робочою рідиною якого є магніторологічна рідина.

Наведена математична модель, яка описує систему з одним ступенем свободи, що демпфується демпфувальним пристроєм з реологічною рідиною, дозволяє в подальшому розробити математичну модель, що описуватиме наїзд крана мостового типу з магніторологічними буферами на тушкові упори. Це допоможе здійснити теоретичні дослідження такого процесу та встановити закономірності роботи магніторологічних буферів з метою розробки дослідного зразка для проведення експериментальних досліджень.

**Ключові слова:** кран мостового типу; магніторологічний буфер; безпека експлуатації вантажкоціймальних кранів; математичний опис наїзду крана на тушкові упори.

**Ключові слова:** «Защитная система кранов мостового типа с магнитореологическими буферами».

Анализ работы существующих защитных систем грузоподъемных кранов мостового типа в тупиковых участках пути показал, что они не обеспечивают безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов, особенно во время аварийных случаев (наезда крана на тупиковые упоры). Это также подтверждается желанием исследователей создать новые конструкции буферных устройств, которые будут соответствовать требованиям правил эксплуатации кранов и отличаться повышенной надежностью работы.

В результате анализа последних предложенных конструктивных решений буферных устройств были сформулированы требования к ним и предложена новая конструкция буферного устройства, рабочей жидкостью которого является магнитореологическая жидкость.

Приведенная математическая модель, описывающая систему с одной степенью свободы, которая демпфируется демпфирующим устройством с реологической жидкостью,

позволяє в подальшому розробити математическу модель, описуючу насад крана мостового типу с магнеторологічскими буферами на тупиковые упоры. Это поможет осуществить теоретические исследования такого процесса и установить закономерности работы магнеторологічских буферов с целью разработки оптимального образца для проведения экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** кран мостового типа; магнеторологічский буфер; безопасная эксплуатация грузоподъемных кранов; математическое описание насада крана на тупиковые упоры.

**Резюме І.** "The protective system of overhead type cranes with magnetorheological buffers".

The analysis of the operation existing protective systems of overhead type cranes in the dead-ends of crane runway is shown that existing protective systems don't provide safety operation of the hoist cranes especially during emergency situations (crane running into the end stops). It also by aspiration of scientists for creating new constructions of buffers that will satisfy requirements of operating cranes rules and differ with increasing dependability of operation is confirmed.

The requirements to the buffers as a result of analysis of last suggested design of buffers were formulated and the new design of buffer with magnetorheological work liquid is suggested.

The mathematical model that describes system with one DOF damping by the buffer with rheological liquid is given. It allows in future to develop a mathematical model that will describe overhead type crane with magnetorheological buffers running into the end stops. It helps to do theoretical research of this process and establish the regularity of magnetorheological buffers operation for the purpose of developing of the prototype for conducting experimental research.

#### 1. Вступ

Крани мостового типу – вантажопідійомні машини, що знайшли широке застосування у промисловості. Захищені системи таких кранів обладнуються буферами, що спрямовані знижувати кінетичну енергію кранів при підході їх до кінцевих ділянок підйомної колії і при ударі в тупикові упори.

Буферними пристроями обладнуються всі крани на рейковій колії згідно з п. 4.11.25 НІАОП 0.00-1.01-07 [1]. Застосування буферних пристроїв дозволяє розширити робочий хід крана при справних гальмах і обмежниках пересування та підвищити безпеку експлуатації кранів при можливих несправностях в роботі обмежників пересування та гальм [2].

#### 2. Постановка проблеми

Традиційна захисна система мостових кранів у кінцевих ділянках колії (рис. 1) складається з обмежників пересування 1 та 5, гальм 2, буферних пристроїв 3 і тупикових упорів 4 [3].

Робота елементів захисної системи має відбуватися в такому порядку [3]. Спочатку кран найближче кінцевим вимикачем на профільовану лійку, що призводить до знеструмлення крана та вимкнення двигунів пересування. Відразу після знеструмлення повинні змикатись гальма механізму пересування та починатись гальмування крана. При

підході до тушового упору швидкість, а отже, і кінетична енергія крана зменшуються, і при зіткненні крана з тушовим упором буферний пристрій гасить залишкову кінетичну енергію крана. На практиці ж через ряд певних факторів все трапляється інакше.

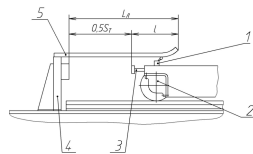


Рис. 1 – Традиційна захисна система вантажоціймального крана:  
1 – обмежник пересування; 2 – гальма (показані умовно); 3 – буфер;  
4 – тушовий упор; 5 – вимикач лівийка обмежника пересування

Конструкція гальм підвально-транспортних машин не забезпечує миттєвого гальмування після знеструєнення двигунів, оскільки відбувається вибирання вільного ходу. Цей процес може тривати в межах від 0,2 до 0,8 с [4]. За цей час кран переміститься без гальмування на відстань біля  $S = Vt_{op}$ , де  $t_{op}$  – середній час спрацьовування гальм [5], що призведе до наїзду мостового крана на тушовий упор з високою швидкістю.

Цим і пояснюється велика довжина лівійок, що виволо доходить до 3-4 метрів. Через деформацію таких лівійок, обумовлені їх малою жорсткістю, а також через переходи крана лівійка може не потрапити на ролик кінцевого вимикача, що призведе до відмови в роботі самої захисної системи.

Кінцеві вимикачі в процесі експлуатації також можуть бути причиною аварії вантажоціймального крана, якщо, наприклад, зношені контакти вимикачів.

Гальма на механізмах пересування мостових кранів повинні бути відрегульовані на розрахунковий гальмівний момент. Проте при регулюванні гальма на величину розрахункового значення гальмівного моменту виникають значні за величиною уповільнення й амплітуди розгойдування вантажу, які змушують кранівників виконувати додаткові вимкнення приводу (до 10 вимкнень і більше) для зменшення розгойдувань. Тому в реальних умовах експлуатації кранівники регулюють гальма на менший гальмівний момент (для зменшення амплітуди коливань вантажу та крана в цілому) чи працюють з «розпущеними» гальмами [6, 7], що не є припустимим за вимогами безпеки. Такий стан гальм є характерним для значної частини кранів [5], що створює небезпеку, пов'язану з недостатньою здатністю крана до уповільнення та зупинки.

В таких умовах експлуатації кранів перед проєктувальниками постає завдання винаходження та конструювання нових типів буферних пристроїв.

## 3. Аналіз досліджень і публікацій

Серед конструкцій буферних пристроїв, які були винайдені та впроваджені вантажоціфимальних краях можна навести такі.

В роботі [8] автором було запропоновано буферний пристрій з гранульованим робочим тілом (рис. 2).

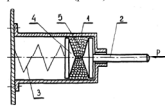


Рис. 2 – Крановий буфер з гранульованим робочим тілом

Опір в таких буферах утворюється за рахунок сил тертя між частинами сипкого тіла та поверхнями буфера, а також всередині сипкого тіла при взаємному переміщенні часток. Перевага даного буфера в тому, що сипким тілом одночасно притаманні властивості рідини та твердого тіла. Це дозволяє поглинувати перепади деяких гідравлічних і фрикційних буферів. Особливо ефективним є їх застосування в якості погужних буферів на в'їздах мостових перевантажувачів. Недоліками таких буферів є недостатнє дослідження їх характеристик, властивостей сипкого тіла та складність розрахунку.

В роботі [9] розглядаються фрикційні буфери кочення, які можуть поглинути велику кількість енергії і працювати без віддачі (рис. 3).

Основою буферного пристрою, описаного в роботі [10] і представленою на рис. 4 є кулявий передаточний механізм, який складається з послідовно розташованих комплектів кульок. При цьому кожний комплект має верхню кульку 1 і декілька (наприклад, дві, три, чотири) нижніх кульок 2. Кожна верхня куля розташована між декількома нижніми кулями. Всі кулі мають однаковий діаметр.

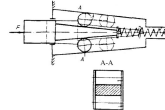


Рис. 3 – Фрикційний буфер кочення

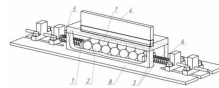


Рис. 4 – Буферний пристрій пружинно-кульового типу

Проте пружинно-фрикційні та фрикційні буфери відрізняються складністю конструкції, великою вартістю, важкістю виготовлення деталей, важко піддаються розрахунку з огляду на деяку невизначеність при знаходженні сил тертя, а також їм притаманні відмови в роботі, зокрема явище самозаклинювання рухомих частин, замерзання мастила при низькій температурі.

В роботі [11] була запропонована захисна система кранів мостового типу в кінцевих ділянках колії, складовою частиною якої був пневмогідравлічний буфер (див. рис. 5).

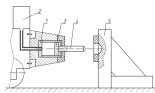


Рис. 5 – Захисна система вантажонцивільних кранів у квіцях для вантажів

Характерна особливість даного пневмогідралічного буфера – забезпечення з майже постійним уповільненням зупинки крана, що надає на тупиковий упор з номінальною швидкістю, [12]. Це призводить до плавної і безпечної зупинки крана навіть в аварійних випадках. Недолік цієї конструкції – складність забезпечення його робочих характеристик при різних температурах (особливо під час зниження).

#### 4. Мета роботи

Проаналізувавши ключові рішення буферних пристроїв, можна сформулювати мету роботи, яка полягає в розробці конструкції буферного пристрою, що буде забезпечувати зупинку крана, який надає на тупикові упори з номінальною швидкістю. Причому гальмування має відбуватися з постійним уповільненням, яке буде знаходитися в межах допустимого ( $4 \text{ м/с}^2$ ) [13].

#### 5. Викладення основного матеріалу

З огляду на поставлену мету таким типом буфера може бути магніторезольний буфер [14], показаний на рис. 6. Цей буфер кріється до крана 1 і містить циліндричний корпус 2, заповнений магніторезольною речиною, закритий кришками 3 і 4 та поділений на дві порожнини поршнем 5, жорстко з'єднаним із шпоном 6, електромагніт 7, обмотка 8 якого розташована по всій довжині трубчасті частини 9 корпусу 2, датчик 10 тиску робочої рідини, встановлений в циліндричному корпусі 2 до кришки 3 в підпоршневій порожнині і керувальний пристрій (КП) 11. В поршні 5 виконані дросельовані отвори 12 для перекачування робочої рідини, а сам він підпружинений пружиною 13.

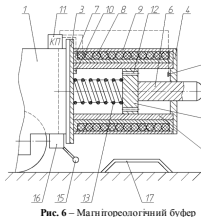


Рис. 6 – Магніторезольний буфер

Всередині циліндричного корпусу 2 до кришки 4 встановлений датчик 14, що слідує за рухом поршня зі шпоном. Кількість дросельованих отворів 12 в поршні 5 може бути будь-якою і залежить від маси, вантажопідйомності та номінальної швидкості крана. Трубчаста частина 9 циліндричного корпусу 2 виконана з немагнітного матеріалу для проникнення магнітного поля електромагніту 7 в гідралічну порожнину.

Магніторезологійний буфер працює таким чином. При підході крана 1 до кінцевої дільниці рейкової колії він навідає ролик 15 кінцевого вимикача 16 на вимикальну дільницю 17, що призводить до відхилення ролика 15 і вимикання електродвигунів механізму пересування та спрацювання гальм. Сигнал від кінцевого вимикача 16 подається на керувальний пристрій 11, який подає струм на обмотку 8 електромагніту 7. Через недостатнє гасіння кінетичної енергії або внаслідок аварійної ситуації кран 1 навідає на тупиковий упор і контактує з ним штоком 6, який внаслідок цього перемищується, стискаючи пружину 13. Тиск магніторезологійної рідини зростає, і вона починає перекидати з підпоршевої порожнини праворуч через дросельовані отвори 12. Датчик 10 тиску магніторезологійної рідини подає електричний сигнал, величина якого обернено пропорційна тиску магніторезологійної рідини в підпоршеві порожнині. Електричний сигнал подається в керувальний пристрій 11 і є командою керувальному пристрою 11 по зміні струму в обмотці 8 електромагніту 7 у відповідності з програмою, в яку закладений закон уповільнення крана. Керувальний пристрій встановлює закладену в програмі величину струму, внаслідок чого змінюється в'язкість магніторезологійної рідини і змінюється гідралінійний опір, що створюється буфером. Подача струму на обмотку 8 електромагніту 7 у відповідності до тиску магніторезологійної рідини дозволяє враховувати швидкість, з якою кран навідає на тупиковий упор і масу вантажу, що знаходиться на гаку крана. Це забезпечує плавне гальмування крана з уповільненням, що не перевищує допустимого.

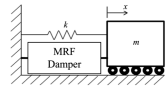
Після зупинки крана 1 і необхідності поновлення технологічного процесу подається струм на механізм пересування крана 1, кран 1 відходить від тупикового упору, зі штоку 6 зникає навантаження, а керувальний пристрій 11 отримує команду припинити подачу електричного струму на обмотку 8 електромагніту 7, що призводить до максимального зменшення в'язкості магніторезологійної рідини та легкості її перекидання через дросельовані отвори 12 внаслідок розтиснення пружини 13 і переміщення поршня 5 праворуч. Завдяки цьому шток 6 повертається в початкове положення.

Якщо ж будь-яких причин кінцевий вимикач 16 не спрацював і накладення гальм не відбулося, при збіжненні штоку 6 з тупиковим упором шток 6 просується лворуч на деяку величину, і поршень 5 відійде від датчика 14, розмінувши електричне коло. Внаслідок цього датчик 14 подає сигнал на керувальний пристрій 11. Цей сигнал є командою керувальному пристрою 11 по зміні струму в обмотці 8 електромагніту 7 у відповідності з програмою, в яку закладений закон уповільнення крана. Для того, щоб поновити роботу крана необхідно знеструмити обмотку 8 електромагніту 7 вручну. Електричне з'єднання кінцевого вимикача 16, керувального пристрою 11 та датчика 14 зроблено таким чином, що сигнал від датчика 14 не буде подаватися на керувальний пристрій 11, якщо спрацював кінцевий вимикач 16. Датчик 14 служить лише для запобігання аварії крана, якщо з будь-яких причин не спрацював кінцевий вимикач 16.

З точки зору автора цікавим є створення математичної моделі даного магніторезологійного буфера задля використання її в подальших теоретичних дослідженнях.

## Щидально-транспортні машини

В роботі [15] наведена математична модель коливної системи з одним ступенем свободи, що амортизується демпфером з реологічною рідиною (див. рис. 7).



Літерами позначено:  $m$  – маса вантажу, який демпфірується демпфером з реологічною рідиною;  $k$  – жорсткість системи;  $x$  – переміщення маси.

Математична модель даної системи описується такими рівняннями:

$$m\ddot{x} + C_n\dot{x} + F_n(RF)\operatorname{sgn}(\dot{x}) + kx = 0,$$

де  $C_n\dot{x} + F_n(RF)\operatorname{sgn}(\dot{x}) = F_d$  – це кула демпфувальних сил.

Це може бути представлено як добуток еквівалентного демпфування  $C_n$  і швидкості  $\dot{x}$ :

$$F_d = C_n\dot{x}.$$

## Висновки

З наведеного вище можна зробити такі висновки:

- 1) при проектуванні нових конструкцій буферних пристроїв необхідно намагатися створити їх такими, що забезпечуватимуть безпечну зупинку крана, який наближає на тупикові упори з номінальною швидкістю пересування;
- 2) реалізація запропонованої конструкції магніторологічного буфера гіпотетично дозволить підвищити надійність експлуатації вантажоопіювальних кранів у кінцевих ділянках колій;
- 3) для подальших досліджень даної конструкції необхідно побудувати адекватну математичну модель, що дозволить встановити закономірності роботи магніторологічного буфера.

## Список використаних джерел:

1. Правила безпеки і безпечної експлуатації вантажоопіювальних кранів. ПНАОП 0.00-1.01-07 / Держ. комітет України з пром. безпеки, охорони праці та протипожеж. зах. за шт. В. П. Рівненськ. – Харків: Форт, 2007. – 254 с.
2. Лобов Н. А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути: учеб. пособие / Н. А. Лобов. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2003. – 212 с.
3. Иванов В. И. Совершенствование защитных систем грузоподъемных кранов в тупиковых участках пути / В. И. Иванов, И. И. Ильенин, И. Б. Седов // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2009. – №5 (93). – С. 13-16.
4. Калач С. А. Бездорожжеские тормоза крановых механизмов / С. А. Калач // Безопасность труда в промышленности. – 1981. – № 5. – С. 17-18.
5. Дайнека В. И. Защита восточных кранов от ударов при наездах на тупиковые упоры: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. И. Дайнека; Новочеркасск: политехн. ин-т. – Новочеркасск, 1987. – 16 с.
6. Иванов В. И. Техническое диагностирование подъемно-транспортных машин: монография / В. И. Иванов. – Харьков: Индустрин, 2009. – 204 с.
7. Безопасность кранов на рельсовых путях / И. И. Абрамович, Ю. В. Березина, Н. И. Ивашков, А. Д. Косирин // Подъемно-транспортное дело. – 2009. – № 1. – С. 6-8.
8. Дайнека В. И. Защита кранов и подкрановых конструкций при наезде тележки (крана) на упоры / Т. С. Дайнека // Безопасность труда в промышленности. – 1975. – № 11. – С. 43-45.
9. Бондаренко Л. И. Некоторые вопросы теории крановых буферов качения / Л. И. Бондаренко // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2002. – № 1-2. – С. 18-19.

10. Семенов В. Ф. Влияние параметров пружинно-шарикового буферного устройства на динамические нагрузки мотового крана / В. Ф. Семенов, В. П. Литур // Журнал научных статей. Украинської державної академії залізничного транспорту. – 2014. – Вып. 149(1). – С. 59-66.
11. Ільямін І. І. Визначення часу спрацювання пневмогидравлічного буфера / І. І. Ільямін, Л. А. Родіонов // Машинобудування: зб. наук. пр. / Укр. інж.-техакад. – X, 2012. – Вып. 9. – С. 6-12.
12. Ільямін І. І. Дослідження динамічних процесів при гальмуванні мотових кранів пневмогидравлічним буферним пристроєм / І. І. Ільямін, Л. А. Родіонов // Машинобудування: зб. наук. пр. / Укр. інж.-техакад. – X, 2011. – Вып. 7,8. – С. 23-31.
13. Справочник по кранам и 2 т. Т. 2 / под общ. ред. М. М. Гольберга. – М.: Машиностроение, 1988. – 559 с. – ил. 14. Пат. 110942 Україна, МПК F 16 F 9/53. Маніпуляційний буфер / І. Ільямін, Ю. І. Зайчук.
- К. О. Вовченко (UA); Укр. інж.-техакад. – № 02016 04219; заявл. 18.04.2016; опубл. 25.10.2016; Бюл. № 20. – 3 с.
15. Szary M. L. The Study of Behavior of Vibrating System Controllable by Devices with Rheological Fluid / M. L. Szary, P. Weber // Archives of Acoustics. The Journal of Institute of Fundamental Technological of Polish Academy of Sciences. – 2013. – Vol. 38, no. 2. – Pp. 217-222. doi: 10.2478/asa-2013-0026.

## References

1. Держ. департамент з надбавки за охороною праці України 2007, *Pracyna budowy i bezpiecności eksploatacji samobieżnych kranów*, NPA/OP 0.00-1.01-07.07, Kharkiv.
2. Lobov, N 2003, *Dinamika peredvizheniya kranov po re'sovomui puti*, MGU im. Bauman, Moskva.
3. Ivanov, V, Iyemini, I & Sedov, I 2009, 'Sovershenstvovaniye zashchitnykh sistem gnazhpodnyemykh kranov v parnykh uchastkakh puti', *Podnyemye sooruzheniya*, *Spravitelnyy tekhnik*, no. 5 (93), pp. 13-16.
4. Kazak, S 1981, 'Bystrodeystviye tormozov kranovykh mekhanizmov', *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, no. 2, pp. 17-18.
5. Dejnega, V 1987, 'Zashchita mostovykh kranov ot udarov pri nacezhakh na tupikovuyu upony', *Kand tekh.n. abstrakt*, *Novocherkasskiy politekhnicheskii institut*, *Novocherkassk*.
6. Ivanov, V 2009, 'Tekhnicheskoye diagnostivnoye podnyemo-transportnykh mashin', *Industriya*, *Kharkiv*.
7. Abramovich, I, Bezuklana, Yu, Ivashkov, N & Kostomir, A 2009, 'Bezopasnost kranov na relovnykh putyakh', *Podnyemo-transportnoye delo*, no. 1, pp. 6-8.
8. Dzhiglav, T 1975, 'Zashchita kranov i podkranovykh konstruksiy pri nacezakh (kрана) na upony', *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, no. 11, pp. 43-45.
9. Bondarenko, I 2000, 'Nekotoryye voprosy teorii kranovykh bufrov kachestva', *Podnyemye sooruzheniya*, *Spravitelnyy tekhnik*, no. 1,2, pp. 18-19.
10. Semenyuk, V & Litur, V 2014, 'Vliyaniye parametrov pruzhino-sharikovogo bufernogo ustroystva na dinamicheskiye nagruzi mотового kрана', *Zhurnal naukovykh prac Ukrainoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu*, iss. 148, p. 1, pp. 59-66.
11. Iyemini, I & Rodionov, I 2012, 'Vychisleniia chasa spravoovaniia pnevmohidravlicheskogo bufera', *Mashynobuduvannya*, iss. 9, pp. 6-12.
12. Iyemini, I & Rodionov, I 2011, 'Doslidzhennia dynamichnykh procesiv pry gальмуванні мотових кранів пневмогидравлічним буферним пристроєм', *Mashynobuduvannya*, iss. 7,8, pp. 23-31.
13. Golikberg, M 1988, *Spravitelnyy po kranam*, vol. 2, Mashinostroyeniye, Moskva.
14. Iyemini, I, Zaitsev, Yu & Vovchenko, K 2016, *Mashynostroyeniye*, Ufa Patent 110942.
15. Szary, M & Weber, P 2013, 'The Study of Behavior of Vibrating System Controllable by Devices with Rheological Fluid', *Archives of Acoustics. The Journal of Institute of Fundamental Technological of Polish Academy of Sciences*, vol. 38, no. 2, pp. 217-222. doi: 10.2478/asa-2013-0026.

Стаття надійшла до редакції 6 червня 2017 р.