

УДК 621.874

**ЗАХИСНА СИСТЕМА КРАНІВ МОСТОВОГО ТИПУ
З МАГНІТОРЕОЛОГІЧНИМИ БУФЕРАМИ**

©Ісьєміні І. І.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про автора:

Ісьєміні Ілля Ігорович: ORCID: 0000-0001-7872-8526; isyemilya@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент кафедри металоріжучого обладання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Аналіз роботи існуючих захисних систем вантажопідіймальних кранів мостового типу в кінцевих ділянках колії показав, що вони не забезпечують безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів, особливо під час аварійних випадків (наїзду крана на тупикові упори). Це також підтверджується прагненням винахідників створити нові конструкції буферних пристроїв, які будуть відповідати вимогам правил експлуатації кранів і відрізнятись 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 магнітореологічна рідина.

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

Ключові слова: кран мостового типу; магнітореологічний буфер; безпечна експлуатація вантажопідіймальних кранів; математичний опис наїзду крана на тупикові упори.

Исьемини И. И. «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,

позволяет в дальнейшем разработать математическую модель, описывающую наезд крана мостового типа с магнитореологическими буферами на тупиковые упоры. Это поможет осуществить теоретические исследования такого процесса и установить закономерности работы магнитореологических буферов с целью разработки опытного образца для проведения экспериментальных исследований.

Ключевые слова: кран мостового типа; магнитореологический буфер; безопасная эксплуатация грузоподъемных кранов; математическое описание наезда крана на тупиковые упоры.

Isyemini I. “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 – вантажопідйомні машини, що знайшли широке застосування у промисловості. Захисні системи таких кранів обладнуються буферами, що спрямовані знижувати кінетичну енергію кранів при підході їх до кінцевих ділянок підкранової колії і при ударі в тупикові упори.

Буферними пристроями обладнуються всі крани на рейковій колії згідно з п. 4.11.25 НПАОП 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 наїжджає кінцевим вимикачем на профільовану лінійку, що призводить до знеструмлення крана та вимкнення двигунів пересування. Відразу після знеструмлення повинні вмикатись гальма механізму пересування та починатись гальмування крана. При

Піднімально-транспортні машини

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

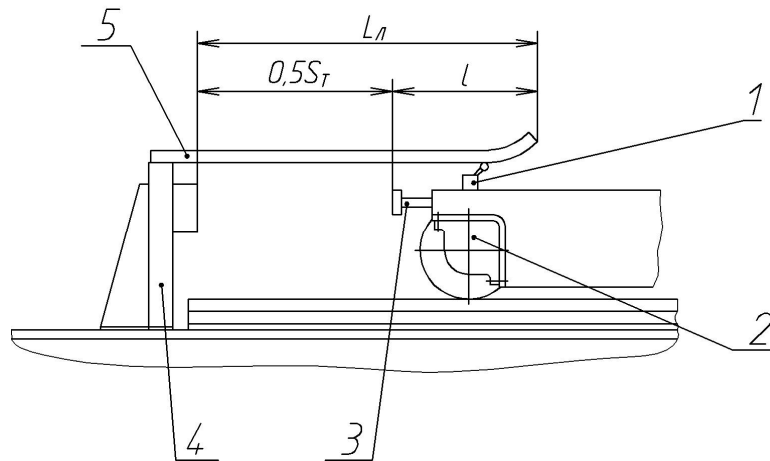


Рис. 1 – Традиційна захисна система вантажопідіймального крана:
1 – обмежник пересування; 2 – гальма (показані умовно); 3 – буфер;
4 – тупиковий упор; 5 – вимикальна лінійка обмежника пересування

Конструкція гальм піднімально-транспортних машин не забезпечує миттєвого гальмування після знеструмлення 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 $S = Vt_{cp}$, де t_{cp} – середній час спрацьовування гальм [5], що призведе до наїзду мостового крана на тупиковий упор з високою швидкістю.

Цим і пояснюється велика довжина лінійок, що інколи доходить до 3-4 метрів. Через деформацію таких лінійок, обумовленої їх малою жорсткістю, а також через перекося крана лінійка 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 вантажопідіймального 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 кранівника виконувати додаткові вмикання приводу (до 10 вмикань 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 проектувальниками постає завдання винаходження та конструювання нових типів буферних пристроїв.

3. Аналіз досліджень і публікацій

Серед конструкцій буферних пристроїв, які були винайдені та впроваджувались на вантажопідіймальних кранах можна навести такі.

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

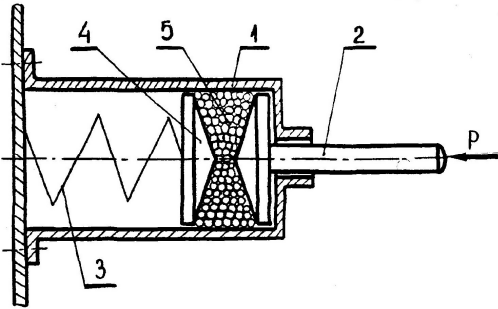


Рис. 2 – Крановий буфер з гранульованим робочим тілом

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 тілам одночасно притаманні властивості рідини та твердого тіла. Це дозволяє поєднувати переваги деяких гідравлічних і фрикційних буферів. Особливо ефективним є їх застосування в якості потужних буферів на візках 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 представленого на рис. 4 є кульковий 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 кулька розташована між декількома нижніми кульками. Всі кульки мають однаковий діаметр.

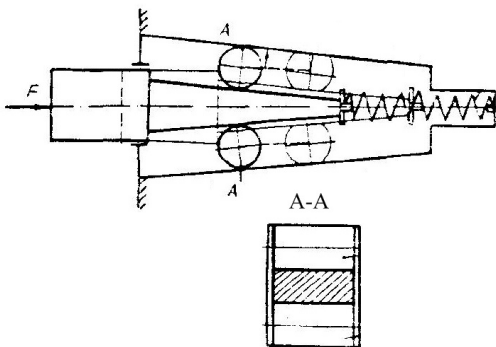


Рис. 3 – Фрикційний буфер кочення

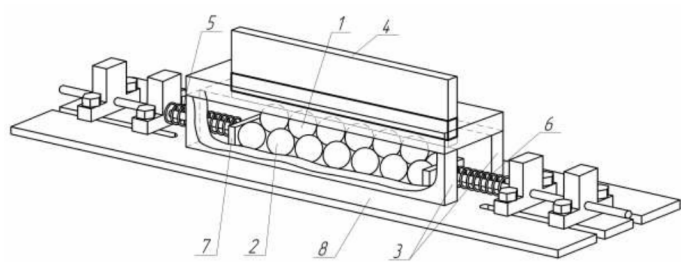


Рис. 4 – Буферний пристрій пружинно-кулькового типу

Проте пружинно-фрикційні та фрикційні буфери відзначаються 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).

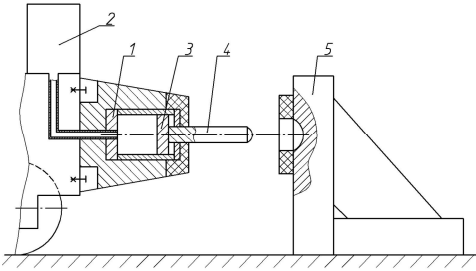
Піднімально-транспортні машини

Рис. 5 – Захисна система вантажопідіймальних кранів у кінцевих ділянках шляху

4. Мета роботи

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

5. Викладення основного матеріалу

З огляду на поставлену мету таким типом буфера може бути магнітореологічний буфер [14], показаний на рис. 6. Цей буфер кріпиться до крана 1 і містить циліндричний корпус 2,

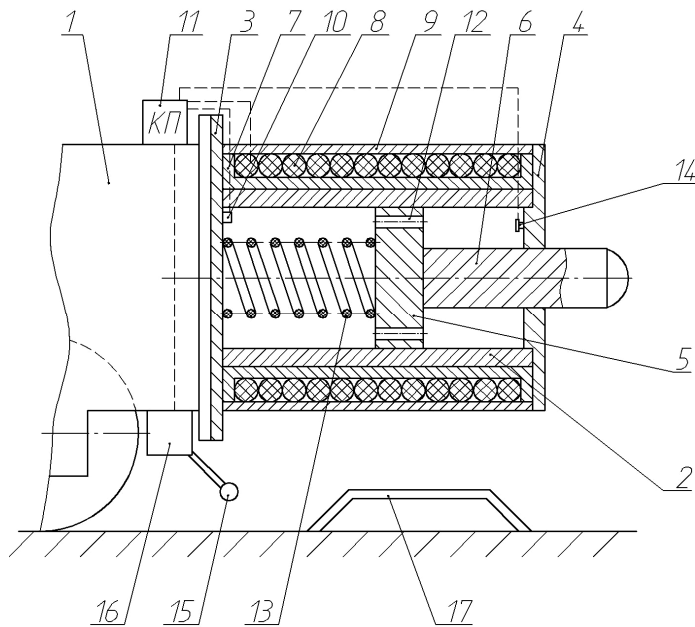


Рис. 6 – Магнітореологічний буфер

Всередині циліндричного корпусу 2 до кришки 4 встановлений датчик 14, що слідкує за рухом поршня зі штоком. Кількість дросельовальних 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 гідравлічну порожнину.

Характерна особливість даного пневмогідравлічного буфера – забезпечення з майже постійним уповільненням зупинки крана, що наїжджає 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).

корпус 2, заповнений магнітореологічною рідиною, закритий кришками 3 і 4 та поділений на дві порожнини поршнем 5, жорстко з'єднаним із штоком 6, електромагніт 7, обмотка 8 якого розташована по всій довжині трубчастой 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 дросельовальні отвори 12 для перетікання робочої рідини, а сам він підпружинений пружиною 13.

Піднімально-транспортні машини

Магнітореологічний буфер працює таким чином. При підході крана 1 до кінцевої ділянки рейкової колії він наїжджає роликком 15 кінцевого вимикача 16 на вимикальну лінійку 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 наїжджає на тупиковий упор і контактує з ним штоком 6, який внаслідок цього переміщується, стискаючи пружину 13. Тиск магнітореологічної рідини зростає, і вона починає перетікати з підпоршневої порожнини праворуч через дроселювальні отвори 12. Датчик 10 тиску магнітореологічної рідини подає електричний сигнал, величина якого обернено пропорційна тиску магнітореологічної рідини в підпоршневій 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 магнітореологічної рідини і змінюється гідравлічний опір, що створюється буфером. Подача струму на обмотку 8 електромагніту 7 у відповідності до тиску магнітореологічної рідини дозволяє враховувати швидкість, з якою кран наїжджає 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 магнітореологічної рідини та легкості її перетікання через дроселювальні отвори 12 внаслідок розтиснення пружини 13 і переміщення поршня 5 праворуч. Завдяки цьому шток 6 повертається в початкове положення.

Якщо ж з будь-яких причин кінцевий вимикач 16 не спрацював і накладення гальм не відбулося, при зіткненні штоку 6 з тупиковим упором шток 6 просунеться ліворуч на деяку величину, і поршень 5 відійде від датчика 14, розмікнувши електричне коло. Внаслідок цього датчик 14 подасть 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 магнітореологічного буфера задля використання її в подальших теоретичних дослідженнях.

Піднімально-транспортні машини

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

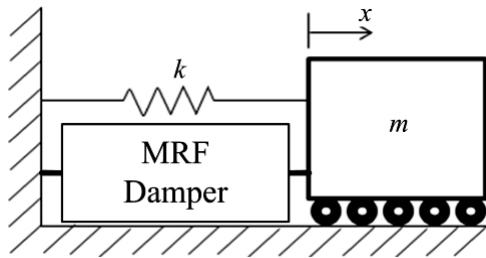


Рис. 7 – Модель коливальної системи з одним ступенем свободи

де $C_{\eta}\dot{x} + F_{do}(RF)\text{sgn}(\dot{x}) = F_d$ – це купа демпфувальних сил.

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

$$F_d = C_{eq}\dot{x}.$$

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

Математична модель даної системи описується такими рівняннями:

$$m\ddot{x} + C_{\eta}\dot{x} + F_{do}(RF)\text{sgn}(\dot{x}) + xk = 0,$$

Висновки

З наведеного вище можна зробити такі висновки:

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

Список використаних джерел:

1. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. НПА ОП 0.00-1.01-07 / Держ. комітет України з пром. безпеки, охорони праці та гірнич. нагляду ; відп. за вип. В. П. Ровенець. – Харків : Форт, 2007. – 256 с.
2. Лобов Н. А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути: учеб. пособие / Н. А. Лобов. – М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2003. – 232 с.
3. Иванов В. Н. Совершенствование защитных систем грузоподъемных кранов в тупиковых участках пути / В. Н. Иванов, И. И. Исьемини, И. Б. Седов // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2009. – №5 (93). – С. 13–16.
4. Казак С. А. Быстродействие тормозов крановых механизмов / С. А. Казак // Безопасность труда в промышленности. – 1981. – № 5. – С. 17–18.
5. Дейнега В. И. Защита мостовых кранов от ударов при наездах на тупиковые упоры : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. И. Дейнега ; Новочеркасск. политехн. ин-т. – Новочеркасск, 1987. – 16 с.
6. Иванов В. Н. Техническое диагностирование подъемно-транспортных машин : монография / В. Н. Иванов. – Харьков : Индустрия, 2009. – 204 с.
7. Безопасность кранов на рельсовых путях / И. И. Абрамович, Ю. В. Березкина, Н. И. Ивашков, А. Д. Костромин // Подъемно-транспортное дело. – 2009. – № 1. – С. 6–8.
8. Джигкаев Т. С. Защита кранов и подкрановых конструкций при наезде тележки (крана) на упоры / Т. С. Джигкаев // Безопасность труда в промышленности. – 1975. – № 11. – С. 43–45.
9. Бондаренко Л. Н. Некоторые вопросы теории крановых буферов качения / Л. Н. Бондаренко // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2002. – № 1-2. – С. 18–19.

10. Семенюк В. Ф. Влияние параметров пружинно-шарикового буферного устройства на динамические нагрузки мостового крана / В. Ф. Семенюк, В. Н. Лингур // *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. – 2014. – Вип. 148(1). – С. 59-66.

11. Ісьєміні І. І. Визначення часу спрацьовування пневмогідролічного буфера / І. І. Ісьєміні, Л. А. Родіонов // *Машинобудування* : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – X., 2012. – Вип. 9. – С. 6–12.

12. Ісьєміні І. І. Дослідження динамічних процесів при гальмуванні мостових кранів пневмогідролічними буферними пристроями / І. І. Ісьєміні, Л. А. Родіонов // *Машинобудування* : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – X., 2011. – Вип. 7-8. – С. 23–31.

13. *Справочник по кранам*: в 2 т. Т. 2 / под общ. ред. М. М. Гохберга. – М. : Машиностроение, 1988. – 559 с.: ил.

14. Пат. 110943 Україна, МПК⁹ F 16 F 9/53. Магнітореологічний буфер / І. І. Ісьєміні, Ю. І. Зайцев, К. О. Вовченко (UA); Укр. інж.-пед. акад. – № u 2016 04219; заявл. 18.04.2016; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20. – 3 с.

15. Szary M. L. The Study of Behavior of Vibrating Systems 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/aoa-2013-0026.

References

1. Derzh. departament z nahliadu za okhoronoiu pratsi Ukrainy 2007, *Pravyla budovy i bezpechnoi ekspluatatsii vantazhopidimialnykh kraniv*, NPAOP 0.00-1.01-07 07, Kharkiv.

2. Lobov, N 2003, *Dinamika peredvizheniya kranov po re'sovomu puti*, MGTU im. Baumana, Moskva.

3. Ivanov, V, Isyemini, I & Sedov, I 2009, 'Sovershenstvovaniye zashchitnykh sistem gruzopodyemnykh kranov v tupikovykh uchastkakh puti', *Podyemnyye sooruzheniya. Spetsialnaya tekhnika*, no. 5 (93), pp. 13–16.

4. Kazak, S 1981, 'Bystrodeystviye tormozov kranovykh mekhanizmov', *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, no. 5, pp. 17–18.

5. Deynega, V 1987, 'Zashchita mostovykh kranov ot udarov pri naezdakh na tupikovyye upory', *Kand.tekh.n. abstract*, Novochoerkasskiy politekhnicheskii institute, Novochoerkassk.

6. Ivanov, V 2009, 'Tekhnicheskoye diagnostirovaniye podyemno-transportnykh mashin', *Industriya*, Kharkiv.

7. Abramovich, I, Berezkina, Yu, Ivashkov, N & Kostromin, A 2009, 'Bezopasnost kranov na relsovykh putyakh', *Podyemno-transportnoye delo*, no. 1, pp. 6–8.

8. Dzhigkaev, T 1975, 'Zashchita kranov i podkranovykh konstruksiy pri naезде telezhki (krana) na upory', *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, no. 11, pp. 43–45.

9. Bondarenko, L 2002, 'Nekotoryye voprosy teorii kranovykh buferov kacheniya', *Podyemnye sooruzheniya. Spetsialnaya tekhnika*, no. 1-2, pp. 18–19.

10. Semeniyuk, V & Lingur, V 2014, 'Vliyaniye parametrov pruzhinno-sharikovogo buferного ustroystva na dinamicheskiye nagruzki mostovogo krana', *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu*, iss. 148, p. 1, pp. 59-66.

11. Isyemini, I & Rodionov, L 2012, 'Vyznachennia chasu spratsovuvannia pnevmohidravlichnoho bufera', *Mashynobuduvannia*, iss. 9, pp. 6–12.

12. Isyemini, I & Rodionov, L 2011, 'Doslidzhennia dynamichnykh protsesiv pry halmuvanni mostovykh kraniv pnevmohidravlichnyimi bufernymi prystroiamy', *Mashynobuduvannia*, iss. 7-8, pp. 23–31.

13. Gokhberg, M 1988, *Spravochnik po kranam*, vol. 2, Mashinostroyeniye, Moskva.

14. Isyemini, I, Zaitsev, Yu & Vovchenko, K 2016, *Magnitoreolohichnyi buffer*, UA Patent 110943.

15. Szary, M & Weber, P 2013, 'The Study of Behavior of Vibrating Systems 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/aoa-2013-0026.

Стаття надійшла до редакції 6 червня 2017 р.