

УДК 621.874

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМОГІДРАВЛІЧНОГО БУФЕРА,  
ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ БЕЗПЕЧНУ ЗУПИНКУ КРАНА**

**©Ісьєміні І. І., Фесенко Г. І.**

*Українська інженерно-педагогічна академія*

**Інформація про авторів:**

**Ісьєміні Ілля Ігорович:** ORCID: 0000-0001-7872-8526; isyem@mail.ru; кандидат технічних наук; асистент кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

**Фесенко Геннадій Іванович:** ORCID: 0000-0003-4278-1899; fesenko1957@mail.ua; старший викладач кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

В результаті моделювання наїзду вантажопідіймального крана з пневмогідравлічними буферами на тупикові упори було визначено співвідношення гідравлічного та пневматичного опорів, що забезпечує найефективніше гальмування крана.

Моделювання здійснювалось за допомогою двомасової динамічної розрахункової схеми та системи рівнянь, що описують наїзд крана на тупикові упори. При моделюванні застосовувались мостові крани різної маси та вантажопідйомності.

Після аналізу результатів, отриманих в процесі моделювання, встановлено, що найефективніше гальмування відбувається, якщо співвідношення гідравлічного та пневматичного опорів на початку гальмування складає 40 % і 55 % відповідно.

Це дозволяє збільшити точність розрахунків параметрів пневмогідравлічного буфера та підвищити його ефективність під час експлуатації.

**Ключові слова:** пневмогідравлічний буфер; сила наїзду; вантажопідіймальний кран; регламентоване уповільнення; тупиковий упор.

**Исьемини И. И., Фесенко Г. И.** «Определение параметров пневмогидравлического буфера, обеспечивающих безопасную остановку крана».

В результате моделирования наезда грузоподъемного крана с пневмогидравлическими буферами на тупиковые упоры было определено соотношение гидравлического и пневматического сопротивлений, которое обеспечивает самое эффективное торможение крана.

Моделирование выполнялось при помощи двухмассовой динамической расчетной схемы и системы уравнений, которые описывают наезд крана на тупиковые упоры. При моделировании использовались мостовые краны разной массы и грузоподъемности.

После анализа результатов, полученных в процессе моделирования, установлено, что самое эффективное торможение происходит, если соотношение гидравлического и пневматического сопротивлений вначале торможения составляет 40 % и 55 % соответственно.

Это позволяет увеличить точность расчетов параметров пневмогидравлического буфера и повысить его эффективность во время эксплуатации.

**Ключевые слова:** пневмогидравлический буфер; сила наезда; грузоподъемный кран; регламентированное замедление; тупиковый упор.

*Isyemini I., Fesenko H.* „Estimation of parameters of the pneumohydraulic buffer that provide safety stop of a crane”.

As a result of simulation of the running of crane with pneumohydraulic buffers into end stops the correlation of hydraulic and pneumatic resistances that provides most effective braking of crane was estimated.

The simulation by means of two-mass dynamic design diagram and set of equations that describe running of crane into end stops was done. In-simulation the overhead cranes with different mass and load rating were used.

After analysis of results that in-simulation were got were established that the most effective braking occurs when the correlation of hydraulic and pneumatic resistances at the beginning of braking are 40 and 55 percent respectively.

It make possible to increase the accuracy of calculation of pneumohydraulic buffer parameters and to raise it efficiency during operation.

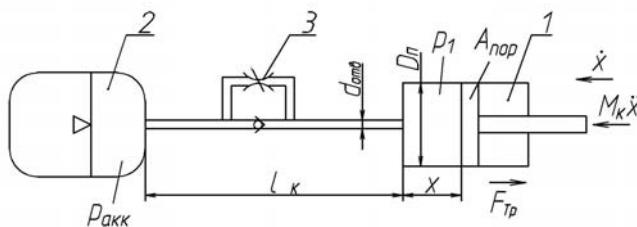
**Keywords:** pneumohydraulic buffer; impact force; hoist crane; regulate deceleration; end stop.

## 1. Вступ

Експлуатація мостових вантажопідіймальних кранів пов’язана з підвищеною небезпекою. Це пояснюється можливістю виникнення аварійних ситуацій, зокрема, через низьку надійність захисних систем вантажопідіймальних кранів у кінцевих ділянках рейкової колії [1–3]. Внаслідок наїзду крана на тупикові упори з підвищеною швидкістю руйнуються кранова металоконструкція та підкранові споруди, що призводить до значних фінансових витрат.

## 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для підвищення безпеки експлуатації мостових кранів в цілому та надійності їх захисних систем зокрема, було запропоновано пневмогідравлічний буфер [4], принципова гідравлічна схема якого наведена на рис. 1. Особливість такого буфера полягає в поєднанні гідравлічного опору робочої рідини та пневматичного опору газу для гасіння кінетичної енергії крана.



**Рис. 1** – Схема пневмогідравлічного буфера:  
1 – гідроциліндр, 2 – пневмогідроаккумулятор,  
3 – дросель зі зворотним клапаном

Оскільки опір, який створює пневмогідравлічний буфер складається з гідравлічного та пневматичного опорів, то баланс енергії на початку контакту крана з таким буфером матиме вигляд [5]:

$$[(M_K + M_B)\ddot{x}]\dot{x} - \Delta p A_{пор}\dot{x} - p_{акк} A_{пор}\dot{x} - F_{тр}\dot{x} = 0, \quad (1)$$

де  $M_K$  – маса крана;  $M_B$  – маса вантажу;  $\ddot{x}$  – уповільнення крана;  $\dot{x}$  – швидкість крана;

## Піднімально-транспортні машини

$\Delta p$  – втрати тиску в дросельному каналі:

$$\Delta p = p_1 - p_{акк}$$

де  $p_1$  – надлишковий тиск в гідроциліндрі;  $p_{акк}$  – тиск газу в пневмогідроакумуляторі;  $A_{пор}$  – площа перерізу поршня;  $F_{Тр}$  – сили тертя в гідроциліндрі.

Зазвичай, для найбільш ефективної роботи пневмогідролічного буфера 5 % кінетичної енергії крана витрачається на тертя в гідроциліндрі, а витрати на гідравлічний і пневматичний опори розподіляються як 40 % і 55 % відповідно. Якщо ж більшість кінетичної енергії крана сприймається гідравлічним опором, то характеристика роботи буфера є жорсткою, що призводить до збільшення навантаження від удару. При сприйнятті більшої частини кінетичної енергії крана пневматичним опором, характеристика роботи буфера стає більш м'якою, що призводить до збільшення гальмівного шляху крана.

### 3. Постановка завдання

Визначити співвідношення гідравлічного та пневматичного опорів, що забезпечує найефективніше гальмування крана під час роботи пневмогідролічного буфера.

### 4. Основний матеріал

Для дослідження руху крана з вантажем, який закріплений на гнучкому підвісі, була використана двомасова динамічна розрахункова схема, що описує найнесприятливіший випадок наїзду крана на тупикові упори (рис. 2): вантажний візок розташований в одному з кінців підвіскової колії, кінцеві вимикачі спрацювали, але гальма «розпущені».

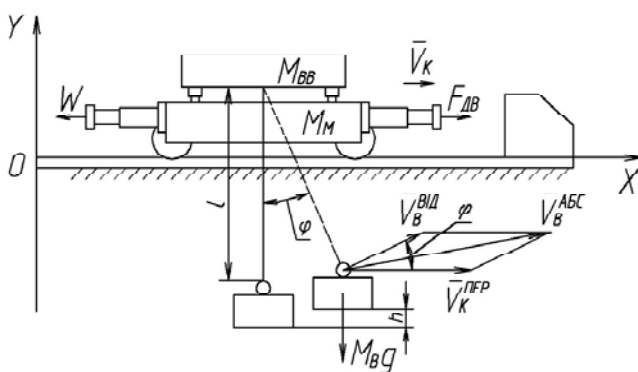


Рис. 2 – Розрахункова схема наїзду крана на тупикові упори

При розгляді процесу наїзду крана на тупикові упори були прийняті такі припущення та спрощення: маса канатів у порівнянні з масою підвішеного вантажу є зневажливо малою; вантаж на гнучкому підвісі є подібним до математичного маятника; втрати на блоках поліспасти є малими та не враховуються; кран і підкранові споруди розглядаються як абсолютно жорсткі конструкції.

На рис. 2:  $x$  – координата переміщення крана;  $M_M$  – маса мосту;  $M_{BB}$  – маса вантажного візка;  $\bar{V}_K$  – швидкість наїзду крана на тупиковий упор;  $M_B g$  – вага вантажу;  $l$  – довжина підвісу вантажу;  $\varphi$  – кут відхилення вантажу від вертикалі;  $h$  – відстань, на яку піднімається вантаж;  $\bar{V}_B^{BID}$  – відносна швидкість вантажу;  $\bar{V}_B^{ABC}$  – абсолютна швидкість вантажу;  $\bar{V}_K^{ПЕР}$  – переносна швидкість крана;  $W$  – опір пересуванню крана, викликаний тертям в опорах ходових коліс;  $F_{ДВ}$  – рушійна сила двигуна ( $F_{ДВ} = 0$ ).

**Піднімально-транспортні машини**

Наїзд крана на тупикові упори описується такою системою рівнянь:

$$\begin{cases} (M_B + M_K)\ddot{x} + M_B\ddot{\phi}l \cos \phi - M_B\dot{\phi}^2l \sin \phi + W = -\alpha \dot{x}^2 \operatorname{sign}(\dot{x}) - \frac{p_0 V_0}{V_0 - \frac{\pi D_{II}^2}{4} x} A_{пор} \\ \ddot{x} \cos \phi + \ddot{\phi}l + g \sin \phi = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

де  $\ddot{\phi}$  – кутове прискорення вантажу;  $\dot{\phi}$  – кутова швидкість вантажу;  $\alpha$  – коефіцієнт демпфірування;  $p_0$  – початковий тиск газу в пневмогідроакумуляторі;  $V_0$  – початковий об'єм газу в пневмогідроакумуляторі;  $D_{II}$  – діаметр поршня.

Для моделювання процесу наїзду кранів на тупикові упори були взяті мостові крани з технічними характеристиками, наведеними в таблиці 1.

**Таблиця 1** – Технічні характеристики кранів

№	$M_K$ , т	$M_{BB}$ , т	$M_B$ , т	Номинальна $V_K$ , м/хв (м/с)	Прогін, м	ГОСТ
1	59,5	13,5	50	75 (1,25)	28,5	25711-83
2	126	36	100	75 (1,25)	31	6711-81
3	162	46	160	75 (1,25)	27,5	6711-81

Проаналізувавши значення гідравлічного та пневматичного опорів під час моделювання наїзду крана, було знайдено частки, які становлять значення гідравлічного та пневматичного опорів від сили наїзду крана на початку гальмування при наїзді на тупикові упори з номінальною швидкістю та дотримуванні уповільнення  $4 \text{ м/с}^2$ . Наїзд на тупикові упори з вантажем і без нього моделювався з однаковими параметрами пневмогідравлічного буфера для крана певної маси. Отже, отримані дані наведені в таблиці 2.

**Таблиця 2** – Порівняння значень гідравлічного та пневматичного опорів зі значенням сили наїзду

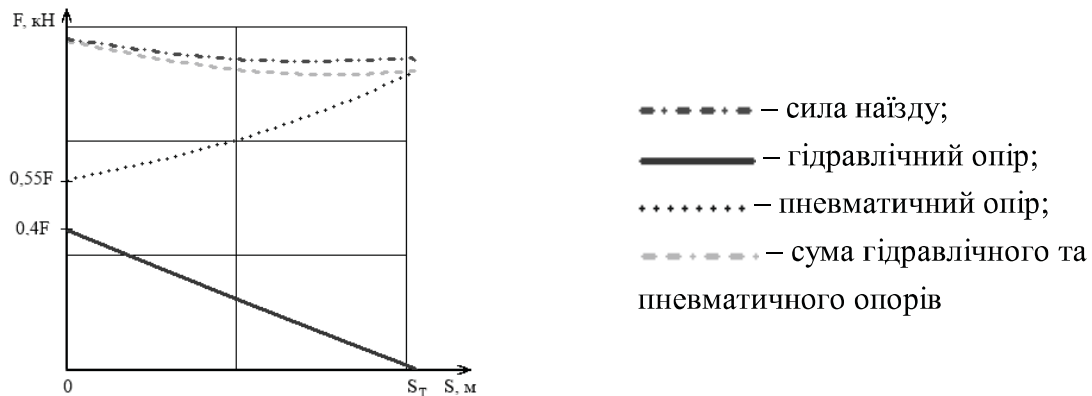
№ з/п	Маса крана $M_K$ , т	Сила наїзду на початку гальмування, кН	Гідравлічний опір на початку гальмування $F_{\psi}$ , кН	Пневматичний опір на початку гальмування $F_p$ , кН	Частка від сили наїзду, %	
					$F_{\psi}$	$F_p$
1	19	48,97	18,75	29,41	38,3	60,1
2	25,5	61,96	23,44	37,32	37,8	61
3	36	97,68	40,63	56,55	41,6	57,9
4	59,5	144,6	60,94	82,56	42,1	57,1
5	81	229	92,19	135,72	40,3	59,3
6	96	316,2	117,19	194,39	37,1	61,5
7	126	275,7	117,19	157,08	42,5	57
8	162	411,4	171,88	235,62	41,8	57,3

Як видно з таблиці 2, середнє значення частки гідравлічного упору від сили наїзду на початку гальмування становить 40,2 %, а пневматичного опору – 58,9 %. Отже, при розрахунках пневмогідравлічного буфера рекомендовано, щоб гідравлічний опір становив

**Піднімально-транспортні машини**

40 %, а пневматичний опір – 55 % від сили наїзду на початку гальмування. Використання при розрахунках трохи менших значень, ніж ті, що були отримані при моделюванні, дозволить при експлуатації запобігти перевищенню регламентованого уповільнення.

На рис. 3 показана залежність сили наїзду, гідравлічного та пневматичного опорів і їх суми від гальмового шляху.



**Рис. 3** – Залежність сил опору буфера від гальмового шляху

**Висновки**

Отримане співвідношення гідравлічного та пневматичного опорів на початку гальмування крана пневмогідравлічним буфером дозволяє розраховувати буферний пристрій таким чином, щоб забезпечити найефективніше гальмування крана. Також рекомендується дотримуватись вищенаведених значень співвідношення пневматичного та гідравлічного опорів при експлуатації пневмогідравлічних буферів.

**Список використаних джерел:**

1. 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.
2. Андриенко Н. Н. Еще раз о причинах крановых ЧП / Н. Н. Андриенко, В. Л. Корень // *Подъемные сооружения. Специальная техника.* – 2012. – № 3. – С. 12–14.
3. Джигкаев Т. С. Основы динамики мостовых перегружателей и кранов в условиях особых нагрузок / Т. С. Джигкаев. – Владикавказ : Терек, 2000. – 226 с.
4. Пат. 69229 Україна, МПК<sup>9</sup> F 16 F 5/00. Захисна система вантажопідіймальних кранів у кінцевих ділянках шляху / С. Л. Смоляков, І. І. Ісьєміні (UA); Укр. інж.-пед. акад. – № u 2011 11415; заявл. 27.09.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8. – 3 с.
5. Петухов П. З. Буферные устройства. Конструкции и расчет / П. З. Петухов. – М. : Машгиз, 1948. – 108 с.

**References**

1. Ivanov, V, Isyemini, I & Sedov, I 2009, 'Sovershenstvovanie zashchitnykh sistem gruzopodemnykh kranov v tupikovykh uchastkakh puti', *Podemnye sooruzheniya. Spetsianaya tekhnika*, no. 5 (93), pp. 13-16.
2. Andrienko, N & Koren, V 2012, 'Eshche raz o prichinakh kranovykh ChP', *Podemnye sooruzheniya. Spetsia'naya tekhnika*, no. 3, pp. 12-14.
3. Dzhigkaev, T 2000, *Osnovy dinamiki mostovykh peregruzhateley i kranov v usloviyakh osobykh nagruzok*, Terek, Vladikavkaz.
4. Smoliakov, S & Isyemini, I 2011, *Zakhysna systema vantazhopidiimalnykh kraniv u kintseyvykh diliankakh shliakhu*, UA Patent 69229.
5. Petukhov, P 1948, *Bufernye ustroystva. Konstruktzii i raschet*, Mashgiz, Moskva.

Стаття надійшла до редакції 24 листопада 2014 р.