

УДК 621.874

**ІНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ
ПНЕВМОГІДРАВЛІЧНИХ БУФЕРІВ МОСТОВИХ КРАНІВ**©**Ісьєміні І. І., Фесенко Г. І.***Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про авторів:**

Ісьєміні Ілля Ігорович: ORCID: 0000-0001-7872-8526; isyemilya@gmail.com; кандидат технічних наук; доцент 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.

Розроблено та викладено методику розрахунку пневмогідролічних буферів, яка полягає в тому, що, знаючи масу крана, його вантажопідйомність, масу вантажного візка і номінальну швидкість пересування та задавшись потрібним уповільненням крана при гальмуванні, можна визначити такі параметри буфера: хід штоку, діаметр поршня, діаметр дросельного отвору, товщину стінки гідроциліндра буфера, об'єм пневмогідроакумулятора та його кінцевий тиск.

Наведена методика дає можливість розраховувати геометричні, фізичні та конструктивні параметри пневмогідролічних буферів, що спрощує їх проектування та конструювання.

За допомогою даної методики є можливим обладнати крани надійною захисною системою у кінцевих ділянках колії, а в подальшому проектувати конструкції кранових буферів, що забезпечуватимуть безпечну експлуатацію мостових кранів у аварійних ситуаціях.

Ключові слова: буфер пневмогідролічний; кран мостовий; методика розрахунку; буфер крановий; захисна система крана.

Исьемини И. И., Фесенко Г. И. «Инженерная методика расчета пневмогидравлических буферов мостовых кранов».

Разработана и изложена методика расчета пневмогидравлических буферов, которая состоит в том, что, зная массу крана, его грузоподъемность, массу грузовой тележки и номинальную скорость передвижения и задавшись необходимым замедлением крана при торможении, можно определить такие параметры буфера: ход штока, диаметр поршня, диаметр дросельного отверстия, толщину стенки гидроцилиндра буфера, объем пневмогидроакумулятора и его конечное давление.

Приведенная методика дает возможность рассчитывать геометрические, физические и конструктивные параметры пневмогидравлических буферов, что упрощает их проектирование и конструирование.

С помощью данной методики представляется возможным оборудовать краны надежной защитной системой в концевых участках пути, а в дальнейшем проектировать конструкции крановых буферов, обеспечивающих безопасную эксплуатацию мостовых кранов в аварийных ситуациях.

Ключевые слова: буфер пневмогидравлический; кран мостовой; методика расчета; буфер крановый; защитная система крана.

Піднімально-транспортні машини

Isyemini I., Fesenko H. “The engineering design procedure of the pneumohydraulic buffers of overhead cranes”.

The design procedure of the pneumohydraulic buffers is developed and given. If mass of a crane, capacity of a crane, mass of a load trolley and rated traveling speed are known and the required deceleration of a crane during braking is assigned, one can estimate such parameters of a buffer as: valve rod travel, piston diameter, diameter of an orifice hole, wall thickness of hydraulic cylinder, capacity of separator hydropneumatic accumulator and it's end pressure.

The design procedure gives an opportunity to calculate geometrical, physical and design factors of the pneumohydraulic buffers that simplifies it designing.

It is possible with this design procedure to equip the cranes with reliable protective system in the end of crane runway and in future to design the construction of crane buffers that provides safe operation of overhead cranes in emergency situations.

Keywords: pneumohydraulic buffer; overhead crane; design procedure; crane buffer; protective system of a crane.

1. Постановка проблеми

Експериментальні дослідження пневмогідравлічного буфера [1], результати яких наведені в роботі [2], показали, що розроблена конструкція буфера є роботоздатною і може бути рекомендована для застосування на кранах мостового типу. Для проектування та виготовлення пневмогідравлічних буферів і тупикових упорів необхідно правильно розраховувати їх параметри в залежності від технічних характеристик певного крана, на якому дані елементи захисної системи будуть встановлені. Необхідно мати на увазі, що надмірно жорсткі тупикові упори та неправильно розраховані буферні пристрої призводять до великих динамічних навантажень, руйнувань підкранових споруд і кранових металоконструкцій в результаті взаємодії металоконструкції крана з тупиковим упором [3].

2. Аналіз літературних джерел

Розрахунок гідравлічних буферних пристроїв полягає в тому, що, задаючись певними параметрами буферами, знаходять інші. Так, наприклад, в роботах [4, 5] автори зазначають, що з економічної і конструктивної точки зору є необхідним створення буфера, який мав би найменші розміри та разом з тим був надійним в роботі. Задаючись допусковим максимальним значенням уповільнення крана, можна визначити максимальний гідравлічний опір робочої рідини руху поршня в циліндрі буфера. Це дозволить визначити мінімальні хід і діаметр поршня за допомогою таких рівнянь [4]:

$$E - \sum w \cdot l = R_0, \quad (1)$$

де E – кінетична енергія крана;

$\sum w \cdot l$ – робота різних опорів, що виникають під час уповільненого руху крана при зупинці;

R_0 – робота буфера;

$$\varphi_{\max} = M_K a_{\max} - \sum w, \quad (2)$$

де φ – гідравлічний опір рідини руху поршня в циліндрі буфера;

M_K – маса крана;

a_{\max} – максимальне уповільнення крана.

Проте в роботі [6] автор зазначає, що основними параметрами буфера є його енергоємність і хід поршня, і пропонує, задаючись цими параметрами, визначати максимальне навантаження буфера та максимальне уповільнення крана.

Професор Ковальський Б. С. [7] зазначає, що також можна, задаючись ходом поршня та навантаженням буфера, визначати енергоємність буфера та максимальне уповільнення крана.

3. Мета статті полягає в розробці інженерної методики розрахунку пневмогідравлічних буферів мостових кранів.

4. Основний матеріал

Для зручного та швидкого визначення параметрів пневмогідравлічного буфера розроблена інженерна методика його розрахунку. Дана методика полягає в тому, що, знаючи масу крана, його вантажопідйомність, масу вантажного візка і номінальну швидкість пересування та задавшись потрібним уповільненням крана при гальмуванні, можна визначити такі параметри буфера: хід штоку, діаметр поршня, діаметр дросельного отвору, товщину стінки гідроциліндра буфера, об'єм пневмогідроаккумулятора та його кінцевий тиск. Алгоритм розрахунку пневмогідравлічного буфера наведений на рисунку 1.

Розрахунок потрібно починати з визначення зведеної маси крана, що приходить на один буфер:

$$M_{зв} = \frac{M_K}{2}, \quad (3)$$

де M_K – маса крана, кг.

Приймаємо заздалегідь відоме значення максимального уповільнення крана. Оскільки найбільше уповільнення крана, що допускається [8], становить 4 м/с^2 , то в розрахунках слід приймати уповільнення не більше $3,9 \text{ м/с}^2$. Отже, сила наїзду крана на початку роботи пневмогідравлічного буфера [9]:

$$F_H = M_{зв} a, \quad (4)$$

де a – уповільнення крана, м/с^2 .

Знаючи уповільнення крана, є можливим визначити мінімальний гальмівний шлях:

$$S_{\min} = \frac{V_K^2}{2a}, \quad (5)$$

де V_K – номінальна швидкість пересування крана, м/с .

Оскільки реальний гальмівний шлях є більшим від розрахункового на 30 % [10], а величину робочого ходу штока гідроциліндра слід обирати дещо більшою, ніж величина

Піднімально-транспортні машини

максимального гальмівного шляху, щоб уникнути можливих ударів поршня в кришку, то вираз для обчислення ходу штока гідроциліндра буфера матиме вигляд:

$$S_{ш} = S_{\min} \varepsilon, \quad (6)$$

де ε – коефіцієнт, що враховує вплив вантажу та запас ходу штока.

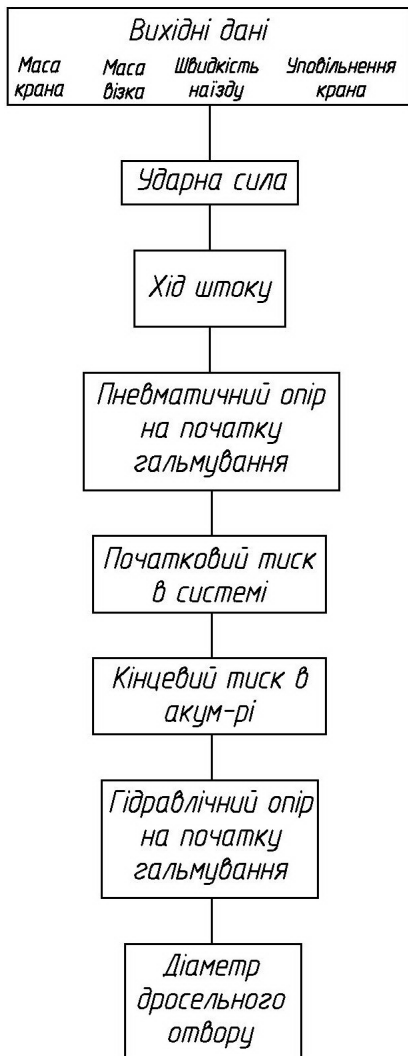


Рис. 1 – Алгоритм розрахунку пневмогідралічного буфера

При теоретичних дослідженнях роботи пневмогідралічного буфера було встановлено [11], що параметри гальмування є тоді найкращими, коли пневматичний опір становить 55 %, а гідралічний опір – 40 % від сили наїзду крана на початку гальмування. Отже, визначаємо пневматичний опір на початку гальмування:

$$F_{p0} = 0,55F_H. \quad (7)$$

Задаючись внутрішнім діаметром поршня D , обчислюємо тиск в системі на початку роботи буфера:

$$p_0 = \frac{4F_{p0}}{\pi D^2}. \quad (8)$$

Внутрішній діаметр поршня потрібно обирати зі стандартного ряду [12].

Розраховуємо кінцевий тиск в пневмогідроакумуляторі наприкінці гальмування:

$$p_K = \frac{p_0 V_0}{V_0 - \frac{\pi D^2}{4} S_{ш}}, \quad (9)$$

де V_0 – початковий об'єм пневмогідроакумулятора, м³.

Рекомендується застосовувати пневмогідроакумулятори, що відповідають нормативним документам [13] об'ємом не менше $V_0 = 6,3$ л. Обирати об'єм пневмогідроакумулятора слід за нормативними документами [14].

Якщо тиск p_K виходить дуже великим, потрібно збільшити діаметр поршня D і початковий об'єм пневмогідроакумулятора V_0 . Якщо значення p_K від'ємне, то потрібно також збільшити V_0 . В обох випадках після зміни D і V_0 необхідно перерахувати формули (8) і (9).

Визначаємо гідралічний опір на початку гальмування:

$$F_{\psi 0} = 0,4F_H. \quad (10)$$

Обравши робочу рідину в системі, обчислюємо діаметр дросельного каналу [15]:

$$d = 2,3 \cdot \sqrt[4]{\frac{\nu \rho D^2 V_K^2}{F_{\psi 0}}}, \quad (11)$$

де ν – кінематична в'язкість робочої рідини, м²/с;

Піднімально-транспортні машини

ρ – густина робочої рідини, кг/м³.

Знаючи кінцевий тиск в системі, необхідно розрахувати товщину стінки циліндра, що має витримувати навантаження від тиску [16]:

$$\delta = r_1 \sqrt{\frac{p_k + [\sigma]}{[\sigma] - p_k}} - r_1, \quad (12)$$

де r_1 – внутрішній радіус циліндру, м;

$[\sigma]$ – допустимі напруження в матеріалі стінки циліндру, МПа.

Товщину стінки циліндру потрібно обирати зі стандартного ряду [12].

При розрахунку штока на стійкість визначаємо його мінімально допустимий діаметр [16]. Замість довжини штока підставляємо його розрахований хід:

$$d_{ш} \geq \sqrt[4]{\frac{64F_{yd}k_l^2S_{ш}}{\pi^3E}}, \quad (11)$$

де k_l – коефіцієнт вільної довжини, $k_l = 2$;

E – модуль пружності сталі, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

Розраховуємо мінімальну товщину кришки циліндра:

$$h \leq r_1 \sqrt{\frac{3p_k(1+\nu)}{8[\sigma]}} = 0,06 \sqrt{\frac{3 \cdot 13,1 \cdot 10^6(1+0,3)}{8 \cdot 170 \cdot 10^6}} = 0,012 \text{ м}, \quad (12)$$

де ν – коефіцієнт Пуассона, $\nu = 0,3$;

$[\sigma]$ – допустимі напруження для сталі Ст3 $[\sigma] = 170$ МПа.

Висновки

Наведена інженерна методика розрахунку пневмогідравлічних буферів мостових кранів дозволяє, знаючи масу крана, його вантажопідйомність, масу вантажного візка і номінальну швидкість пересування та задавшись потрібним уповільненням крана при гальмуванні, хід штоку, діаметр поршня, діаметр дросельного отвору, товщину стінки гідроциліндра буфера, об'єм пневмогідроакумулятора та його кінцевий тиск. За допомогою даної методики є можливим обладнати крани надійною захисною системою у кінцевих ділянках колії, а в подальшому проектувати конструкції кранових буферів, що забезпечуватимуть безпечну експлуатацію мостових кранів у аварійних ситуаціях.

Список використаних джерел:

1. Ісьєміні І. І. Проведення експериментальних досліджень пневмогідравлічних буферних пристроїв на мостовому крані 5т40 / І. І. Ісьєміні, В. М. Іванов, С. Л. Смоляков // *Машинобудування* : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Х., 2013. – Вип. 12. – С. 13–21.
2. Пат. 69229 Україна, МПК⁹ 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.
3. Ісьєміні І. І. Захисні системи вантажопідіймальних кранів з пневмогідравлічними буферними пристроями. Рекомендації до проектування / І. І. Ісьєміні, С. Л. Смоляков // *Машинобудування* : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Х., 2013. – Вип. 11. – С. 14–20.
4. Петухов П. З. Буферные устройства. Конструкции и расчет / П. З. Петухов. – М. : Машгиз, 1948. – 108 с.

Піднімально-транспортні машини

5. Taylor D. P. Design and Selection Criteria for the Hydraulic Buffer [Electronic resource] / Douglas P. Taylor : Paper presented at AISE Rolling Mill Conference, 1978. – Access mode: <http://www.teratec.ca/doclibrary/Design&Selec.PDF>
6. Джигкаев Т. С. Основы динамики мостовых перегружателей и кранов в условиях особых нагрузок / Т. С. Джигкаев. – Владикавказ : Терек, 2000. – 226 с.
7. Ковальский Б. С. Грузоподъемные машины / Б. С. Ковальский ; Харьков. высш. командно-инж. уч-ще. – Харьков, 1963. – 216 с.
8. Справочник по кранам: в 2 т. Т. 2 / под общ. ред. М. М. Гохберга. – М.: Машиностроение, 1988. – 559 с.: ил.
9. Ісьєміні І. І. Інженерна методика обчислення ударного навантаження вантажопідйомних кранів у розрахунках буферних пристроїв / І. І. Ісьєміні // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – 2010. – № 4/6 (46). – С. 36–39.
10. Ісьєміні І. І. Підвищення ефективності захисних систем кранів мостового типу застосуванням пневмогідролічних буферів : автореф. дис. ... канд. техн. наук / І. І. Ісьєміні ; Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2014. – 20 с.
11. Ісьєміні І. І. Визначення параметрів пневмогідролічного буфера, що забезпечують безпечну зупинку крана / І. І. Ісьєміні, Г. І. Фесенко // *Машинобудування : зб. наук. пр.* / Укр. інж.-пед. акад. – Х., 2014. – Вип. 14. – С. 10–14.
12. ГОСТ 6540-68. Гидроцилиндры и пневмоцилиндры. Ряды основных параметров [Электронный ресурс]. – Введ. 01.07.69. – М. : Стандартинформ, 2008. – 8 с. – Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/16/1696.shtml>
13. ГОСТ 16769-84. Гидроаккумуляторы. Общие технические требования [Электронный ресурс]. – Введ. 01.07.85. – М. : Стандартинформ, 2008. – 3 с. – Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/16/1696.shtml>
14. ГОСТ 14064-68. Гидроаккумуляторы. Ряды основных параметров [Электронный ресурс]. – Введ. 01.07.69. – М. : Стандартинформ, 2008. – 3 с. – Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/16/1696.shtml>
15. Радин С. Ю. Влияние изменения сопротивления дросселей на демпфирующие свойства гидромеханических амортизаторов транспортных средств: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С. Ю. Радин ; Орлов. гос. техн. ун-т. – Орел, 2009. – 20 с.
16. Александров А. В. Сопротивление материалов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин : учеб для вузов. – М. : Высш. шк., 1995. – 560 с.

References

1. Isyemini, I, Ivanov, V & Smolyakov, S 2013, 'Provedennia eksperymentalnykh doslidzhen pnevmohidravlichnykh bufernykh prystroiv na mostovomu krani 5t40', *Mashynobuduvannia*, iss. 12, pp. 13–21.
2. Smoliakov, S & Isyemini, I 2011, *Zakhysna systema vantazhopidiimalnykh kraniv u kintsevykh diliankakh shliakhu*, UA Patent 69229.
3. Isyemini, I & Smolyakov, S 2013, 'Zakhysni systemy vantazhopidiimalnykh kraniv z pnevmohidravlichnymy bufernymy prystroiamy. Rekomendatsii do proektuvannia', *Mashynobuduvannia*, iss. 11, pp. 14–20.
4. Petukhov, P 1948, *Bufernyye ustroystva. Konstruktsii i raschet*, Mashgiz, Moskva.
5. Taylor, D 1978, 'Design and Selection Criteria for the Hydraulic Buffer', paper presented at AISE Rolling Mill Conference, Taylor Devices, Inc., North Tonawanda, New York, viewed 30 November 2015, <<http://www.teratec.ca/doclibrary/Design&Selec.PDF>>.
6. Dzhigkaev, T 2000, *Osnovy dinamiki mostovykh peregruzhateley i kranov v usloviyakh osobykh nagruzok*, Terek, Vladikavkaz.
7. Kovalskiy, B 1963, *Gruzopodyemnye mashiny*, Kharkovskoe vysshee komandno-inzhenernoye uchilishche, Kharkiv.
8. Gokhberg, M 1988, *Spravochnik po kranam*, vol. 2, Mashinostroenie, Moskva.
9. Isyemini, I 2010, 'Inzhenerna metodyka obchyslennia udarnoho navantazhennia vantazhopidiomnykh kraniv u rozrakhunkakh bufernykh prystroiv', *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 4/6 (46), pp. 36–39.
10. Isyemini, I 2014, 'Pidvyshchennia efektyvnosti zakhysnykh system kraniv mostovoho typu zastosuvanniam pnevmohidravlichnykh buferiv', *Kand.tekh.n. abstract, Ukrainka inzhenerno-pedahohichna akademiia*, Kharkiv.
11. Isyemini, I & Fesenko, H 2014, 'Vyznachennia parametriv pnevmohidravlichnoho bufera, shcho zabezpechuiut bezpechnu zupynku krana', *Mashynobuduvannia*, vol. 14, pp. 10–14.
12. Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam 1968, *Gidrotsilindry i pnevmotsilindry. Ryady osnovnykh parametrov*, GOST 6540-68, Izdatelstvo standartov, Moskva.
13. Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam 1984, *Gidroakkumulyatory. Obshchiye tekhnicheskkiye trebovaniya*, GOST 16769-84, Standartinform, Moskva.
14. Gosudarstvennyy komitet SSSR po standartam 1968, *Gidroakkumulyatory. Ryady osnovnykh parametrov*, GOST 14064-68, Standartinform, Moskva.
15. Radin, S 2009, 'Vliyaniye izmeneniya soprotivleniya drosseley na dempfiroyushchiye svoystva gidromekhanicheskikh amortizatorov transportnykh sredstv', *Kand.tekh.n. abstract, Orlovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet, Orel*.
16. Aleksandrov, A, Potapov, V & Derzhavin, B 1995, *Soprotivleniye materialov*, Vyssh. shk, Moskva.

Стаття надійшла до редакції 25 листопада 2015 р.