

УДК 621.87

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ СТРІЛОВОЇ СИСТЕМИ САМОХІДНИХ КРАНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ

©**Подольак О. С., Назаркін О. А., Смоляков С. Л.**

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Подольак Олег Степанович: ORCID: 0000-0002-1477-8548; podoliak.09@rambler.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри металоріжучого обладання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Назаркін Олександр Анатолійович: ORCID: 0000-0003-1384-749X; 2008naa@mail.ru; кандидат педагогічних наук; доцент кафедри металоріжучого обладання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Смоляков Сергій Леонідович: ORCID: 0000-0002-3772-6310; 2008ssl@mail.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри металоріжучого обладання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Досліджено перехідний процес підймання вантажу з основи стріловим самохідним краном, який оснащено гасителем коливань.

Дослідження проводились на фізичній моделі гусеничного крана КГ-25 вантажопідйомністю 25 тонн. В стрілову і вантажну підвіску встановлені гідравлічні гасителі коливань телескопічного типу. В якості вимірювально-реєструвальної апаратури використано аналого-цифровий перетворювач (АЦП), який було підключено до ПК.

Отримані осцилограми зміни зусилля в часі $F(t)$ в підвісці стріли і вантажних канатах. Результати експериментів підтвердили теоретичні дослідження, які були отримані в попередніх роботах. Розбіжність результатів в визначенні коефіцієнту динаміки складає 6 %, по нижчій частоті коливань 12,5 %, по тривалості періоду розгону механізму підйому в середньому 15 %.

Обробка результатів експерименту дозволила зробити висновки, що найбільш ефективним є включення гасителя коливань в силовий ланцюг вантажної підвіски, при цьому коефіцієнт динаміки стріли зменшується з 1,6 до 1,1, а вантажних канатів з 1,5 практично до 1.

Ключові слова: стріла; вантаж; підвіска; гідравлічний гаситель; коливання.

Подольак О. С., Назаркин А. А., Смоляков С. Л. «Исследование динамических нагрузок элементов стреловой системы самоходных кранов с помощью физической модели».

Исследован переходной процесс подъема груза с основания стреловым самоходным краном оснащенный гасителем колебаний.

Исследования проводились на физической модели гусеничного крана КГ-25 грузоподъемностью 25 тонн. В стреловую и грузовую подвеску установлены гидравлические гасители колебаний телескопического типа. В качестве измерительно-регистрающей аппаратуры использовался аналого-цифровой преобразователь, подключенный к ПК.

Получены осциллограммы изменения усилий во времени $F(t)$ в подвеске стрелы и грузовых канатах. Результаты экспериментов подтвердили теоретические исследования, которые были получены в предыдущих работах. Расхождение результатов в определении

коефіцієнта динамічності склали 6 %, по нижшій частоті коливань 12,5 %, по продовжителі часу розгону механізму підйому 15 %.

Обробка результатів експериментів дозволила зробити висновок, що найбільш ефективним є включення гасителя коливань в силову ланку вантажної підвіски, при цьому коефіцієнт динамічності стріли зменшується з 1,6 до 1,1, а вантажних канатів з 1,5 практично до 1.

Ключеві слова: стріла; вантаж; підвіска; гідравлічний гаситель; коливання.

Podoliak O., Nazarkin O., Smolyakov S. “The research of the dynamic loads of the boom system elements of the mobile crane using the physical model”.

The transient process of the load hoisting from base with mobile crane equipped with oscillation damper is researched.

The research with physical model of caterpillar crane KG-25 with capacity 25 t is done. The hydraulic oscillation dampers of telescopic type in the boom and load hook assembly were installed. As a recording equipment the analog data digitizer connected to PC were used.

The oscillograms of force changing in the time $F(t)$ in hook assembly of boom and load ropes are obtained. The results of the experiments have confirmed the theoretical researches that in the previous studies was obtained. Divergence of results in the estimation of dynamic factor were 6 %, by the lowest oscillation frequency – 12,5 %, by duration of acceleration time of hoisting mechanism – 15 %.

The analysis of experiment results allowed to draw a conclusion that the most effective is inclusion of the oscillation damper in the power circuit of the load hook assembly. In this case the dynamic factor of boom from 1,6 to 1,1 is decreased and the dynamic factor of load ropes from 1,5 to 1 is decreased.

Keywords: boom; load; hook assembly; hydraulic damper; oscillations.

1. Актуальність роботи

Ефективним способом зменшення динамічних навантажень є встановлення в силовий ланцюг гідравлічного гасителя коливань але некоректне встановлення гасителів може викликати збільшення коефіцієнту динамічності, часу загасання коливань і стати причиною резонансу. Тому разом з теоретичними повинні проводитися і експериментальні дослідження, які можуть бути виконані за допомогою натурального зразка або фізичної моделі.

2. Огляд опублікованої літератури

В [1] зазначається, що дослідження моделей перед натурними мають ряд переваг в тому, що вони значно дешевші і простіші в виконанні (виконуються в приміщенні), дозволяють досліджувати варіанти конструкції та ін. Також в [1] відмічається, що згідно з теорією подібності дані, отримані при дослідженні будь якого явища, можуть бути перенесені тільки на явища подібні йому, тобто описуватися одними рівняннями. При створенні фізичних моделей слід виходити з однаковості напружень в моделі і в натурі при умові, що напруження не виходять за межі закону Гука. Слід зазначити, що моделі виконують геометрично подібними натурі. Ці ідеї положено в основу наших експериментальних досліджень перехідних коливальних процесів на моделі гусеничного стрілового крану.

Динаміка та міцність машин**3. Мета статті**

Знайти закономірності які впливають на процес гасіння коливань під час підйому вантажу за допомогою фізичної моделі стрілового гусеничного крану.

4. Основна частина

В якості натурального обраний стріловий самохідний гусеничний кран КГ-25 (ГОСТ 22827-85) з довжиною основної стріли $L_c = 14$ м, стрілою ґратчастої конструкції з масою $m_c = 2$ т; загальною конструктивною масою крана 36 т; висотою підймання 13,5–7,0 м; швидкістю підймання вантажу не менш 7 м/хв; швидкістю пересування крану 1 км/год. В подальших розрахунках модель позначається індексом «М», а натура індексом «Н».

При довжині елементів стрілової системи l будимо мати коефіцієнт геометричної подібності

$$k_l = \frac{l_H}{l_M}. \quad (1)$$

Коефіцієнт силової подібності

$$k_P = \frac{P_H}{P_M} = \frac{\sigma_H F_H}{\sigma_M F_M} = \frac{F_H}{F_M} = \frac{l_H^2}{l_M^2} = k_l^2. \quad (2)$$

Таким чином, вага вантажу що піднімається повинна моделюватися по квадрату коефіцієнта геометричної подібності, а власна вага конструкції очевидно – по кубу.

Коефіцієнт подібності жорсткостей

$$k_c = \frac{c_H}{c_M} = \frac{P_H \Delta l_M}{\Delta l_H P_M} = k_l. \quad (3)$$

Коефіцієнт подібності частот і періодів власних коливань:

$$k_\omega = \frac{\omega_H}{\omega_M} = \sqrt{\frac{c_H}{M_H} \frac{M_M}{c_M}} = \sqrt{\frac{k_l}{k_l^3}} = \frac{1}{k_l}. \quad (4)$$

$$k_\tau = \frac{\tau_H}{\tau_M} = \frac{\omega_M}{\omega_H} = k_l. \quad (5)$$

Розрахунок наведеної маси стріли. Розрахункова схема стріли може бути представлена у вигляді (рис. 1).

З умов динамічної еквівалентності систем для стріли з одним шарнірним і другим вільним кінцем (маса наводиться к кінцю консолі) маємо вираз:

$$\int_0^{l_1} \frac{M_1 (x\omega)^2}{l_1} dx + \int_{l_1}^{l_2} \frac{M_2 (x\omega)^2}{l_2 - l_1} dx + \int_{l_2}^l \frac{M_2 (x\omega)^2}{l - l_2} dx = \frac{M_{np} (l\omega)^2}{2}$$

Звідси маємо

$$M_{np} = \frac{1}{3} \left\{ M_1 \left(\frac{l_1}{l} \right)^2 + M_2 \left[\left(\frac{l_1}{l} \right)^2 + \frac{l_1 l_2}{l^2} + \left(\frac{l_2}{l} \right)^2 \right] + M_3 \left[1 + \left(\frac{l_2}{l} \right) + \left(\frac{l_2}{l} \right)^2 \right] \right\}. \quad (6)$$

Визначення наведеної жорсткості системи стріла – стрілова канатна підвіска. Жорсткість системи визначається по формулі [2]

$$c = \frac{P}{\Delta A} = E \frac{A_1}{l_1} \frac{\sin \alpha}{\sqrt{\cos^2 \alpha + \left(\cos^2 \alpha + \frac{l_2}{l_1} \frac{A_1}{A_2} \right)^2}}, \quad (7)$$

тут E – модуль пружності 1-го роду, мПа;

A_1, A_2 – наведені площі поперечного перерізу стріли і канатів підвіски відповідно, мм²;

l_1, l_2 – довжини стріли і канатів стрілової підвіски, мм;

α – кут між стрілою і канатами стрілової підвіски, град.

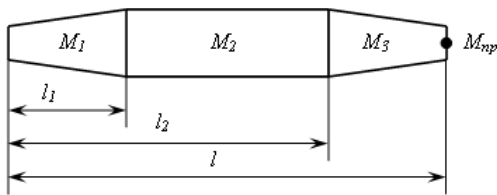


Рис. 1 – Розрахункова схема для визначення наведеної маси стріли

звідки маємо

$$A_{np} = \frac{2A_1A_2}{A_1 + A_2}. \quad (8)$$

Наведена жорсткість вантажної підвіски:

$$c_{в.п} = \frac{P}{\Delta l} = \frac{E_k A_{np}}{2l}. \quad (9)$$

Порівняльна характеристика геометричних, масових і силових параметрів натур і моделі стрілової системи гусеничного крану показано в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика параметрів системи

Параметри	Натура	Модель	Коеф. подібності	Умови теорії подібності	Розходження
Довжина стріли, мм	14000	1400	$k_l = 10$		
Маса стріли, кг	2000	2,0	$K_m = 1000$	$K_m = k_l^3 = 10^3$	0 %
Наведена маса стріли, кг	700	0,7	1000	1000	0 %
Жорсткість системи стріла – стрілова підвіска, Н/м	$0,69 \cdot 10^7$	$0,66 \cdot 10^6$	10,4	10	4 %
Жорсткість вантажної підвіски, Н/м	$0,25 \cdot 10^7$	$0,23 \cdot 10^6$	10,8	10	8 %

З табл. 1 видно, що основні параметри моделі подібні до параметрів натурального зразка. Отже результати досліджень на фізичній моделі можна вважати достовірними.

Опис фізичної моделі стрілової системи гусеничного крану. На рисунку 2 показана експериментальна установка, яка була створена для дослідження динамічних навантажень що виникають в стріловій системі при підйманні вантажу, а також ефективності зменшення динамічних зусиль за допомогою гідравлічних гасителів коливань.

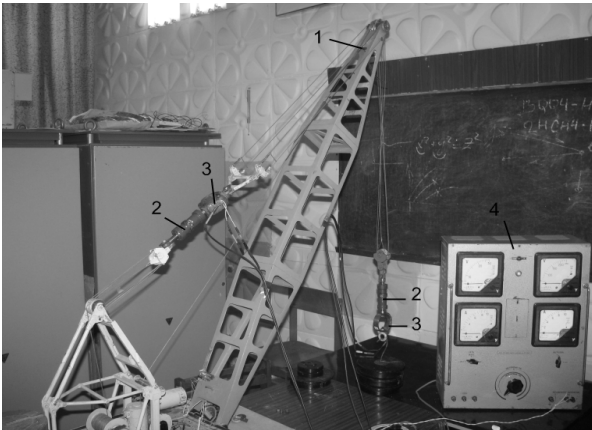
Динаміка та міцність машин

Рис. 2 – Експериментальна установка:
1 – стріла; 2 - гідравлічний гаситель;
3 – датчик; 4 – пульт керування

$F(t)$ в підвісці стріли і вантажних канатах. З рисунку 3, а і б видно, що застосування гідравлічних гасителів коливань дозволяє зменшити динамічні зусилля на 30%, коефіцієнт динамічності майже в 1,5 рази. Очевидно, що таке зменшення динамічних навантажень досягається за рахунок збільшення часу розгону підймання з 0,3 секунди (рис. 3, а) до 0,9 секунди (рис. 3, б) а також поглинання механічної енергії дросельною системою демпферів.

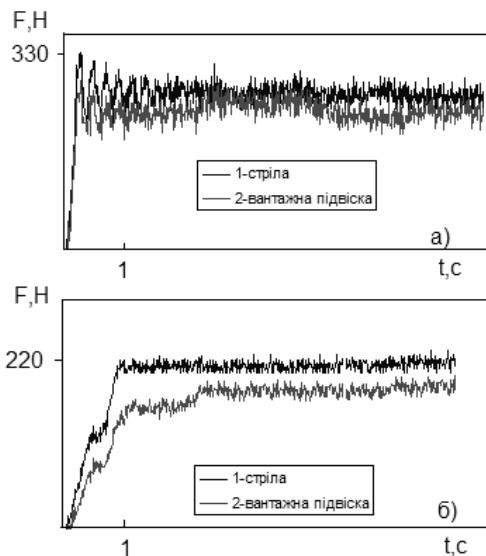


Рис. 3 – Копії осцилограм зміни зусилля в часі при підйманні вантажу вагою 20 кг з жорсткої основи на експериментальній установці:
а – без гідравлічних гасителів коливань;
б – з гідравлічними гасителями коливань

Mashinostroenie, Moskva, Leningrad.

2. Podolyak, O 2009, 'Issledovanie dinamicheskikh nagruzok pri podeme gruzha s zhestkogo osnovaniya avtomobilnym kranom', *Skhidno-Ievropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnolohii*, no. 1/5 (37), pp. 43-47.

Стаття надійшла до редакції 3 грудня 2014 р.

До складу експериментальної установки входять: стріла 1; гідравлічні гасителі 2, які розміщені в системі підвіски вантажу і в системі підвіски стріли; тензометричні датчики 3; пульт керування 4. Інформація з датчиків записувалася і оброблялася на комп'ютері, який був обладнаний АЦП.

5. Обговорення результатів експерименту

На рисунку 3 показана зміна зусилля

Висновки

Аналіз експериментальних досліджень дозволяє зробити висновок, що включення гідравлічних гасителів коливань в силовий ланцюг стрілової системи дозволяє значно зменшити динамічні навантаження, які виникають при перехідних процесах під час підйому вантажу з жорсткої основи.

Список використаних джерел:

1. Гохберг М. М. *Металлические конструкции кранов. Расчет с учетом явления усталости* / М. М. Гохберг. – М. ; Л. : Машиностроение, 1979. – 182 с.
2. Подоляк О. С. *Исследование динамических нагрузок при подъеме груза с жесткого основания автомобильным краном* / О. С. Подоляк // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2009. – № 1/5(37). – С. 43–47.

References

1. Gokhberg, M 1979, *Metallicheskie konstruktsii kranov. Raschet s uchetom yavleniya ustalosti*,