

УДК 725:.69.059.28

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.110

УДОСКОНАЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВІСКИ-АМОРТИЗАТОРА ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ГІДРОМОЛОТА НА ЕКСКАВАТОР

Лютенко В. Є., Волошин Д. С., Бовсуновський Р. О.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

***Анотація.** У статті запропоновано розроблену конструкцію підвіски-амортизатора, що дала змогу встановити гідромолот як робоче обладнання на екскаватор, одночасно віброізолювавши його. Розроблена математична модель системи, основою якої є підвіска-амортизатор для підвішування гідромолота на екскаватор, передбачає моделювання її механічної системи. З допомогою програми MathCAD виконано дослідження динаміки системи, що містить гідромолот, амортизатор та екскаватор. Визначено частоти вільних коливань розглянутої системи. Здобуті результати наукових досліджень віброзахисту екскаваторів, що експлуатуються з навісними ударними пристроями (гідромолотами), із застосуванням математичної програми MathCAD, можуть бути успішно використані для розроблення, а також визначення динамічних навантажень аналогічних віброзахисних систем, що застосовуються в промисловості.*

***Ключові слова:** гідромолот, екскаватор, підвіска-амортизатор, частота, динаміка.*

Вступ

Гідроімпульсні пристрої широко застосовуються в різних галузях України. Створено й впроваджується багато різновидів пристроїв механізації. Питання вдосконалення, розроблення сучасних гідроударних механізмів, що дають їм змогу працювати з високим коефіцієнтом корисної дії та ефективно виконувати значну кількість складних робіт, є актуальними.

Сталий розвиток гідроімпульсних пристроїв механізації, безперечно, пояснюється унікальністю конструкцій, підвищенням ефективності використання їх складників, а також моделюванням з використанням ЕОМ.

Широке застосування гідроударних засобів на дорожньо-будівельних машинах, а особливо на екскаваторах із гідроприводом, дає змогу значно розширити види робіт в умовах, коли руйнуються скельні породи, розробляються мерзлі ґрунти, розкриваються асфальтобетонні покриття, а також руйнуються бетонні, залізобетонні конструкції, зокрема під час ліквідації наслідків техногенних і воєнних руйнувань будівель і споруд.

Екскаватор з гідроприводом є провідною багатофункційною будівельною машиною в Україні та за кордоном. Тому використання гідроударних механізмів на дорожньо-будівельних машинах, особливо на екскаваторах із гідроприводом, потребує розв'язання завдань щодо захисту конструкцій і обслуговувального персоналу від впливу вібраційного навантаження. Отже, актуальним напрямом машинобудівної та будівельної галузях є

розроблення та впровадження способів захисту від вібрацій. На сьогодні це є одним із найбільш важливих науково-технічних завдань.

Аналіз публікацій

Для більш інтенсивного виконання роботи широко використовуються гідроімпульсні пристрої на основі гідроударників. Відома значна кількість різновидів різних гідроімпульсних пристроїв механізації. Гідроударні пристрої найбільш широко застосовуються як робоче обладнання активної дії в багатьох дорожньо-будівельних, гірничих та інших машинах [1, 2].

Імпульсні навантаження, що виникають під час роботи активних робочих органів, створюють значні динамічні зусилля, які мають достатню величину для розроблення мерзлих ґрунтів, руйнування асфальтобетонних покриттів і завалів від зруйнованих споруд [3].

Перевага гідравлічних ударних засобів порівняно з іншими ударними пристроями полягає в тому, що вони мають змогу змінювати режими роботи в широкому діапазоні [3].

Гідромолот є високопродуктивним змінним обладнанням гідравлічних екскаваторів, навантажувачів, інших базових машин з гідроприводом, а також маніпуляторів.

Гідромолот устатковується замість демонтованого ковша або рукояті та приєднується до гідросистеми екскаватора.

Для установаження й демонтажу гідравлічного молота на екскаватор не потрібно жодних пристосувань, що не створює особливих труднощів у його експлуатації.

Під час роботи гідромолота з'являються значні динамічні навантаження, що передаються на металоконструкції екскаватора. Для їх зменшення розробляються спеціальні віброзахисні підвіски (пристрої).

Унаслідок огляду літературних джерел і виконаних теоретичних досліджень авторами статті розроблено нову конструкцію амортизатора для підвищування гідромолота (рис. 1).

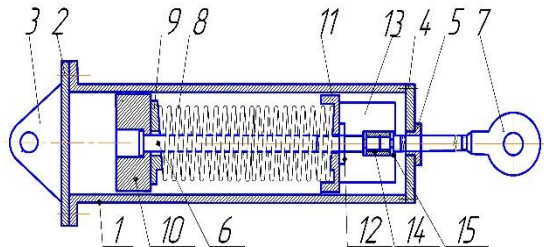


Рис. 1. Амортизатор для підвищування гідравлічного молота

Розроблений амортизатор належить до навісного обладнання екскаваторів із гідравлічним приводом для руйнування твердих матеріалів пристроями (механізмами) ударної дії. Корпус молота підвищується за допомогою амортизатора, який має певну жорсткість.

Амортизатор (рис. 1) складається із корпусу (стакана) 1 сполучного з кришкою 2 та кронштейном 3 для його приєднання до гідромолота, кришки корпусу 4 з втулкою 5 для переміщення штока 6 з проушиною 7 для приєднання пристрою до рукояті екскаватора. На штоку 6 змонтована пружина 8, що затиснута між шайбою 9 та напрямною втулкою 11. На штоку 6 (на різьбовій його частині) розташована гайка 12 для зміни натягу пружини 8. Для переміщення гайки 12 ключем, а також для обслуговування пристрою виконано два вікна 13. Для можливості зміни пружини (пружин), а також виконання монтажу-демонтажу деталей амортизатора шток 6 виготовлений із двох частин. Дві частини штока 6 сполучаються між собою за допомогою втулки з'єднувальної 14 і контргайок 15. Втулка з'єднувальна 14 одночасно слугує верхнім (крайнім) упором штока 6.

Амортизатор для встановлення гідравлічного молота працює таким чином.

У підвищеному (неробочому) стані гідромолота з'єднувальна втулка 14 упирається в кришку корпусу 4. Під час роботи гідромолота поршень 10 упирається в кришку 2. У поршні 10 виконана проточка для можливості переміщення штока 6 разом із затиснутою

пружиною 8 та напрямною втулкою 11 на величину переміщення (амплітуди вимушених коливань).

Під час роботи на амортизатор з одного боку діє сила реакції гідромолота, а з іншого – сила притиснення (від екскаватора) за умови плаваючого положення корпусу.

Регулювання довжини ходу штока 6 зі стиснутою пружиною 8 здійснюється переміщенням гайки 12, а також за допомогою втулки з'єднувальної 14. Для зменшення ходу штока 6 можливе встановлення упорних кілець між поршнем 10 та кришкою 2, а також – між з'єднувальною втулкою 14 та кришкою корпусу 4 (на рис.1 не зображено).

На амортизатор для підвісу гідравлічного молота подана заявка на видачу патента України.

Мета та постановка завдання

Метою є розроблення та дослідження підвіски-амортизатора для встановлення гідродарного обладнання (гідромолота) на екскаватор.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

- вивчити й проаналізувати віброзахисні пристрої землерийних машин і тих, що використовуються в машинобудуванні;
- на основі вихідних положень розробити математичну модель підвіски-амортизатора для підвищування гідромолота на екскаватор;
- запропонувати конструкцію підвіски-амортизатора для встановлення гідромолота на екскаватор, що полягає в зміні інерційно-жорсткісних параметрів віброзахисної системи.

Дослідження підвіски-амортизатора для підвищування гідромолота на екскаватор

Для зменшення динамічних навантажень, що передаються під час роботи гідромолота ударної дії на екскаватор, використовуються різні спеціальні віброзахисні підвіски.

Проаналізувавши відомі віброзахисні пристрої, що могли б бути застосовані для підвищування гідромолота до робочого обладнання гідравлічного екскаватора, автори статті розробили розрахункову схему (див. рис. 2).

Конструкція гідромолота масою m підвищується на гідравлічний екскаватор за допомогою амортизатора (пружної підвіски), певної розрахункової жорсткості c (рис. 2).

Реакція від сил тиску на корпус гідромолота зрівноважується силою притискання F за умови плаваючого положення корпусу.

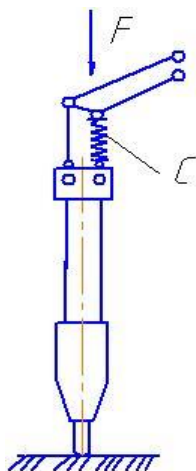


Рис. 2. Розрахункова схема динамічної системи, що складається з гідравлічного екскаватора й гідромолота

Корпус гідромолота під дією результуючої сили $P(t)$ здійснює вимушені коливання, що можна описати таким диференціальним рівнянням:

$$m\ddot{z} + cz = Po \cdot \sin(kt + \varphi), \quad (1)$$

де m – маса гідромолота; z – координата руху зосередженої маси; c – жорсткість амортизатора (підвіски); Po – максимальне значення збурювальної сили; k – частота вимушених коливань корпусу гідромолота; φ – початкова фаза.

Частота вимушених коливань корпусу гідромолота k визначається частотою його ударів N .

Подальші розрахунки й дослідження виконуємо для гідравлічного молота, близького до аналога гідромолота МГ-120. Розрахункові показники наведені в табл. 1.

Тоді частота вимушених коливань корпусу гідромолота k визначається за таким виразом:

$$k = 2\pi N = 2 \cdot 3,14 \cdot 11 = 69,1 \text{ с}^{-1}. \quad (2)$$

Для подальшого використання математичного застосунку *MathCAD* перетворюємо диференціальне рівняння одномасової динамічної системи в такий вигляд:

$$z'(t) = v(t);$$

$$v'(t) = -\frac{Cz(t)}{m} + \frac{1}{m} Po \cdot \sin(kt + \varphi);$$

$$a(t) = -\frac{Cz(t)}{m} + \frac{1}{m} Po \cdot \sin(kt + \varphi); \quad (3)$$

$$p(t) = Po \cdot \sin(kt + \varphi).$$

У рівняннях системи (3) застосовані такі заміни: $z = z(t)$ – координата руху зосередженої маси корпусу гідромолота; $z'(t) = v(t)$ – швидкість руху зосередженої маси корпусу гідромолота; $z''(t) = v'(t) = a(t)$ – прискорення руху зосередженої маси корпусу гідромолота; $P(t) = P$ – збурювальна сила.

Для перетворення рівнянь системи (3) підставляємо числові значення параметрів, поданих у табл. 1.

Таблиця 1 – Показники динамічної системи «гідромолот-екскаватор»

Показники	Аналог (гідромолот МГ-120)
Енергія удару, Дж	1200
Маса гідромолота, кг	370
Частота ударів, Гц	11
Колова частота вимушених коливань корпусу, с^{-1}	69,1
Максимальне значення збурювальної сили, Н	10000
Колова частота власних коливань корпусу, с^{-1}	38,4
Жорсткість пружин амортизатора, Н/м	545588
Довжина гідромолота, м	1,7
Жорсткість робочого обладнання екскаватора, Н/м	$3,5 \cdot 10^6$
Коефіцієнт віброізоляції	0,446

Після перетворення система рівнянь (3) матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned} z'(t) &= v(t); \\ v'(t) &= -1474z(t) + 30 \cdot \sin(69,1t + \varphi); \\ a(t) &= -1474z(t) + 30 \cdot \sin(69,1t + \varphi); \\ p(t) &= 10000 \cdot \sin(69,1t + \varphi). \end{aligned} \quad (4)$$

Початкові умови будуть:

$$\begin{aligned} t = 0; \quad z(0) &= 0; \quad v(0) = 0; \\ a(0) &= 0; \quad p(0) = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Рішення системи рівнянь (4) виконуємо для ударного пристрою з амортизатором (підвіскою) з використанням застосунку *MathCAD*.

Після реалізації системи рівнянь (4) маємо величини переміщення, швидкості та прискорення маси корпусу гідромолота, значення збурювальної сили. Один із графіків наведений на рис. 3.

Отримані графіки підтвердили коливальний характер мас.

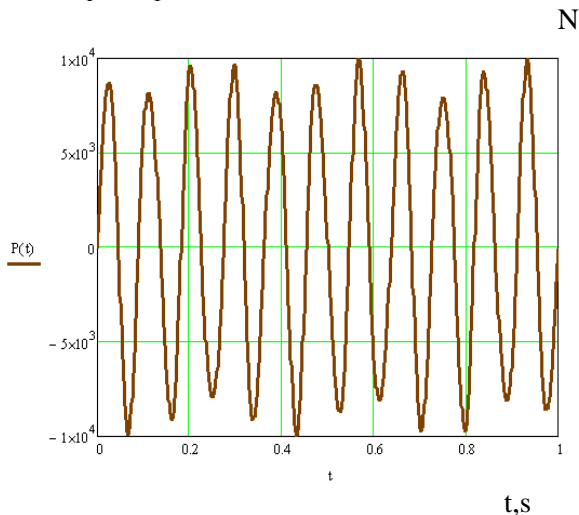


Рис. 3. Графік змінювання збурювальної сили гідромолота $P(t)$

Ефективність амортизатора оцінюється коефіцієнтом віброізоляції η , величина якого визначається за такою формулою [1]:

$$\eta = \frac{1}{\left(\frac{\kappa}{\omega}\right)^2 - 1} = \frac{1}{\left(\frac{69,1}{38,4}\right)^2 - 1} = 0,446. \quad (6)$$

Коефіцієнт віброізоляції характеризує зменшення сили силового збурення, яка передається на основу механізму, що захищається від гармонічних збурювальних сил під час роботи динамічних пристроїв. Здобуті результати доводять достатню ефективність розробленого амортизатора.

Висновки

Результати наукових досліджень віброзахисту екскаваторів, що експлуатуються з навісними ударними пристроями (гідромолотами), із застосуванням математичної програми *MathCAD* можуть бути успішно використані для розроблення, а також визначення динамічних навантажень аналогічних віброзахисних систем, які використовуються в промисловості.

Застосування математичної моделі дає змогу здійснювати дослідження перехідних процесів під час роботи гідромолота з динамічним амортизатором, розробленим авторами статті.

Література

1. Повідайло В. О. Вібраційні процеси та обладнання: навч. посіб. Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2004. 261 с.
2. Чабан В. Й. Математичне моделювання в електротехніці. Львів: Вид-во Тараса Сороки, 2010. 508 с.
3. Gavrilin A. N., Moyzer B. B., Cerkasov A. I. Applied Mechanics Materials: Scientific Journal. 2015. Vol. 756: Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS 2014). P. 35–40.

References

1. Povidaylo, V. O. (2004) Vibration processes and equipment: Education. manual. Lviv, 261 p.
2. Chaban, V. Y. (2010) Mathematical modeling in electrical engineering. Lviv, 508 p.
3. Gavrilin, A. N., Moyzer, B. B., Cerkasov, A. I. (2015) Applied Mechanics Materials: Scientific Journal, vol. 756: Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS 2014), pp. 35–40.

Лютенко Василь Єгорович, канд. техн. наук, старш. наук. співр., доцент кафедри галузевого машинобудування і мехатроніки, Національний університет «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка», vlutik@ukr.net, тел. +38 066-159-62-46.

Волошин Денис Олександрович, дипломник, Національний університет «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка», d.voloshin.08@gmail.com, тел. +38 099-485-62-83.

Бовсуновський Руслан Олегович, дипломник, Національний університет «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка», ruslanbovsunovsky777@gmail.com, тел. +38 095-778-97-41.

Improvement and research of a suspension-shock absorber for attaching a hydraulic hammer to an excavator

Abstract. Problem. The article proposes a developed construction of a suspension-shock absorber, which made it possible to install a hydraulic hammer as a working equipment, simultaneously isolating it from vibrations. A mathematical model of the system was developed, the basis of which is a suspension-shock absorber for attaching a hydraulic hammer to an excavator, which includes modeling of its mechanical system. **Goal.** The goal is the development and research of a sub-axle-shock absorber for the attachment of hydraulic hammer equipment (hydraulic hammer) to an excavator. **Methodology.** The solution of the set problems involved the creation

of a mathematical model of the vibration system and its implementation using the MathCAD application program. **Originality.** It is proposed to transform the differential equations of the mathematical model of the vibration system by the method of decreasing order and as a result obtain the displacements, velocities, and accelerations of individual elements and obtain the nature of the change in the disturbing force of the vibrating hammer. Using the MathCAD program, a study of the dynamics of the system, which includes a hydraulic hammer, a shock absorber and an excavator, was performed, as well as the frequencies of free oscillations of the system in question were determined. **Practical value.** The obtained results of scientific research on vibration protection of excavators, which are operated with attached shock devices (hydraulic hammers), with the use of the MathCAD mathematical program, can be successfully used in the development,

as well as in the determination of dynamic loads of similar vibration protection systems used in industry.

Key words: hydraulic hammer, excavator, suspension-shock absorber, frequency, dynamics.

Lyutenko Vasyl, Ph.D., S.N.S., Assoc. prof. of mechanical engineering and mechatronics, National University "Poltava Polytechnic named after Yuriy Kondratyuk", vlutik@ukr.net, tel. +38 066-159-62-46.

Voloshyn Denys, graduate, National University "Poltava Polytechnic named after Yuriy Kondratyuk", d.voloshin.08@gmail.com, tel. +38 099-485-62-83.

Bovsunovsky Ruslan, graduate, National University "Poltava Polytechnic named after Yuriy Kondratyuk", ruslanbovsunovsky777@gmail.com, tel. +38 095-778-97-41.
