

Крупко В. Г., Єрмакова С. О.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ В БАЛОЧНІЙ СТІЛІВІЙ ПІДВІСЦІ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЕКСКАВАТОРІВ ТА КРАНІВ

В роботі розглянуті особливості навантаження поворотної платформи і робочого обладнання універсального екскаватора при роботі з грейфером за умов зволоженого (вогкого) ґрунту. Розроблені математична та фізична моделі дозволяють знайти конструктивні шляхи зменшення динамічних навантажень та зменшити їх вплив на поворотну платформу і металеву конструкцію.

Ключові слова: динамічні навантаження, універсальний екскаватор, кран, грейфер, підвіс стріли

Актуальність дослідження. Господарський комплекс України постійно потребує виконання великого обсягу будівельних робіт, серед яких можна виділити вантажно-розвантажувальні роботи з насипним вантажем. Одним з основних типів машин, які виконують підйомно-транспортні та земляні роботи є стрілові крани на базі універсальних екскаваторів. Характерною ознакою для цього типу машин є наявність великої кількості змінного робочого обладнання до якого, в першу чергу, відносяться ковші, грейфери, спеціальні траверси, електромагніти і т.п. При використанні грейферного обладнання екскаватори-крани виконують роботи крім перевантаження насипних вантажів, по очищенню водоймищ, басейнів, каналів, відстійників на вугледобувних шахтах і збагачувальних комбінатах.

Постановка задачі. При виконанні процесів перевантаження, особливо вологих ґрунтів, виникають значні динамічні навантаження на механізми, металеву конструкцію та тягові елементи екскаваторів. Причиною цього є характер взаємодії грейфера з ґрунтом, а саме проявлення ефекту "підсосу", який виникає при відриві робочого органу від ґрунту, що призводить до поштовхів та нерівномірності в роботі механізмів екскаваторів та кранів і, як наслідок, погіршення умов роботи цих елементів. Аналогічні навантаження виникають і при роботі кранів з електромагнітом, коли під час підйому вантажу виникають значні динамічні навантаження. Таким чином виникає питання, вирішенням якого мають стати принципи, схеми та методи зниження вищевказаних динамічних навантажень.

Аналіз досліджень. Дослідження, проведені Волковим Д.П. по вивченню динамічних навантажень, а також статистичні дослідження дійсних режимів навантаження одноковшевих екскаваторів допомогли підійти до розробки прийнятних для інженерної практики методів розрахунку їх вузлів і деталей на міцність і довговічність по витривалості [1].

Основні конструктивні методи зниження динамічних навантажень приводять у своїх опрацюваннях Лобов Н.А., Ловейкін В.С., Човнюк Ю.В., Кабаков А.М., Орлов А.Н. та ін. [1-3].

Загальні підходи зі зниження динамічних навантажень в цілому розходяться на декілька шляхів, більшість з яких призводить до зменшення робочих характеристик машини. Наприклад, зменшення швидкості механізму підймання вантажу призведе до зменшення динаміки процесу підйому, зменшення динамічних навантажень. Але одночасно буде зменшуватись і кількість операцій, які виконує машина за певний проміжок часу, як наслідок зменшиться продуктивність роботи екскаватора.

Метою даних досліджень є зменшення динамічних навантажень стрілових кранів, що працюють на базі екскаваторів та з обладнанням грейфера або електромагніту за рахунок додаткових пристроїв-гасителів коливань, розроблених на основі встановлених закономірностей взаємодії елементів підвісу вантажозахоплюючих органів та поворотних платформ.

Задачі досліджень:

- проведення аналізу досліджень, розрахунків динамічних навантажень на робоче обладнання одноковшевих універсальних екскаваторів-кранів з робочим обладнанням грейфера та пошук основних способів їх зниження;

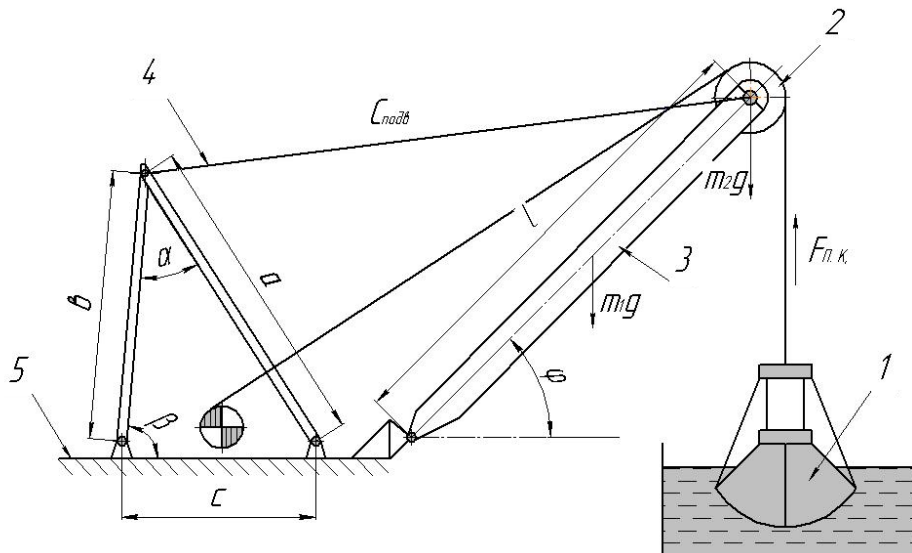
- визначення навантажень на систему підвісу стріл, виникаючих у екскаваторах з грейферним обладнанням, урахувавши особливості конструкції системи підвісу робочого органу;

- обґрунтування розрахункової схеми і формування математичної моделі процесу навантаження обладнання одноковшевих екскаваторів з робочим органом – грейфером, встановлення закономірностей виникнення динамічних навантажень в умовах експлуатації в залежності від конструктивних особливостей робочого органу і обладнання;

- розробка методики проведення експерименту з метою оптимізації за критерієм мінімізації (зниження) динамічних навантажень на робоче обладнання.

Розробка математичної і фізичної моделей проводиться, спираючись на конструктивну схему універсального екскаватора з робочим обладнанням грейфера.

Матеріали досліджень. Під час підйому грейфером (рисунок 1) в'язкої (вологої) речовини відбувається явище так званого "підсосу", яке викликає значні динамічні навантаження на робоче устаткування і металоконструкцію машини.



1 – грейфер, 2 – головні блоки, 3 – стріла, 4 – система підвісу стріли, 5 – поворотна платформа

Рисунок 1 – Принципова схема крана на базі універсального екскаватора з обладнанням грейфера

Дане дослідження повинно допомогти знайти способи зменшення наведених вище явищ за допомогою зміни вихідної конструкції універсального екскаватора введенням в неї додаткових пристроїв-гасителів коливань.

Складання математичної моделі здійснюємо, приймаючи наступні допущення та обмеження:

1. Коефіцієнт стійкості забезпечує механічні характеристики обладнання.
 2. Під час визначення інерційних сил приймаємо масу стріли як масу однорідного стрижня, а маси блоків – як зосереджені маси.
 3. У зв'язку з великою повздовжньою жорсткістю стріли у розрахунках нею нехтуємо.
 4. Жорсткісні параметри системи обмежені механічними можливостями виробничого характеру.
- Розглянута механічна система (рисунок 2) має 1 ступінь вільності.

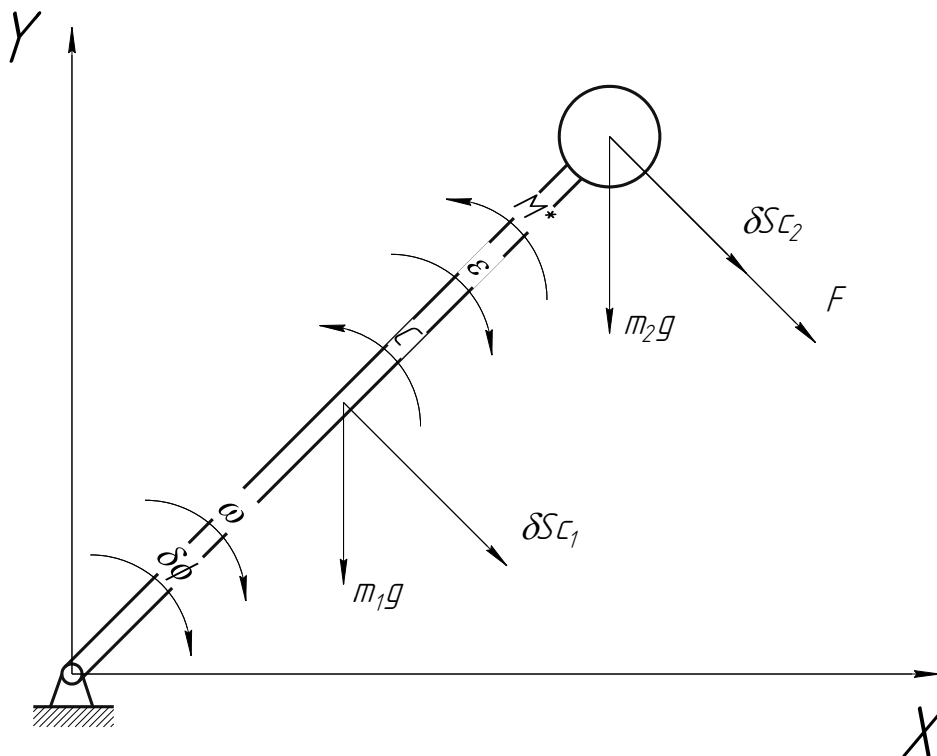


Рисунок 2 – Спрощена схема підвісу стріли універсального екскаватора з робочим обладнанням крана

Рух системи стріла-головні блоки відбувається у вертикальній площині під дією наступних сил

- $m_c g$ – сила тяжіння стріли;
- $m_6 g$ – сила тяжіння блоків;
- F' – сила, що діє від підйомного каната;
- M_{np} – момент пружності;
- $M_{зат}$ – момент затухання.

Застосуємо до аналізу руху системи рівняння Лагранжа II роду:

$$\frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q,$$

де T – кінетична енергія системи;

Q – узагальнена сила;

q – узагальнена координата;

$\dot{q} = \dot{\varphi} = \omega$ – кутова швидкість стрижня.

$$T = \frac{1}{2} \cdot I_0 \cdot \omega = \frac{\omega}{2} \cdot (I_0^{(1)} + I_0^{(2)}) = \frac{1}{2} \cdot \left(l^2 \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot m_1 + m_2 \right) \right) \cdot \dot{\varphi}^2, \quad (1)$$

де m_1, m_2 – маси стріли та блоків;

l – довжина стріли, м.

З урахуванням виразу (1) систему рівнянь зведено до виразу, що дозволяє визначити оператор Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = l^2 \cdot \left(\frac{1}{3} m_1 + m_2 \right) \cdot \ddot{\varphi}. \quad (2)$$

Узагальнену силу знаходимо через елементарну роботу (δA_1) в системі:

$$\begin{aligned} Q_{\delta q} &= \frac{\left(\sum \delta A_k^a \right)_{\delta q}}{\delta q} = \frac{\left(\sum \delta A_k^a \right)_{\delta \varphi}}{\delta \varphi} = \\ &= \frac{\delta A(m_1 \cdot g) + \delta A(m_2 \cdot g) + \delta A(F') + \delta A(M_{np}) + \delta A(M_{зат})}{\delta \cdot \varphi}, \end{aligned} \quad (3)$$

Зведені сили тяжіння та силу F' :

$$Q_{\delta q} = \frac{F \cdot \delta \varphi \cdot l + \delta \varphi \cdot M_{np} + \delta \varphi \cdot M_{зат}}{\delta \varphi} = F \cdot l + M_{np} + M_{зат},$$

тоді диференційне рівняння має вигляд:

$$l^2 \cdot \left(\frac{1}{3} m_1 + m_2 \right) \cdot \ddot{\varphi} = F \cdot l + M_{np} + M_{зат}. \quad (4)$$

Ураховуючи параметри системи, а саме силу пружності $F_{пр}$, лінійні переміщення X , та геометричні параметри системи (див. рис. 1) визначаємо моменти пружності системи $M_{пр}$ і затухання коливань $M_{зат}$:

$$M_{пр} = C \cdot \left(\sqrt{b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos(\varphi + \alpha)} - a \right) \cdot l \cdot \sin(\beta),$$

$$M_{зат} = k \cdot \dot{\varphi}.$$
(5)

де α, β, a, b, c – взяті з розрахункової схеми, м;
 C – жорсткість пружної динамічної системи, Н/м.
 k – коефіцієнт затухання.

Загальне нелінійне диференційне рівняння з урахуванням коливань у вертикальній площі має вигляд:

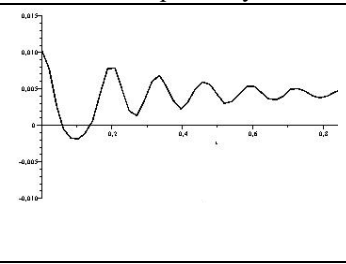
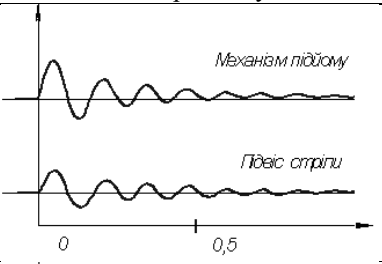
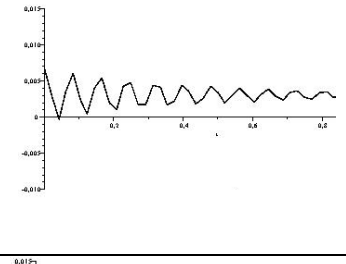
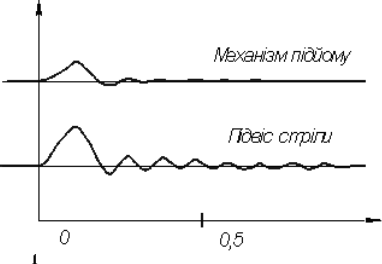
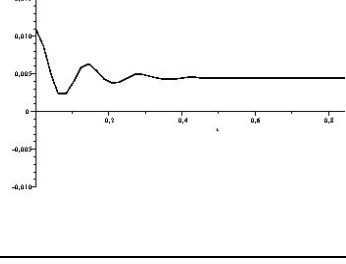
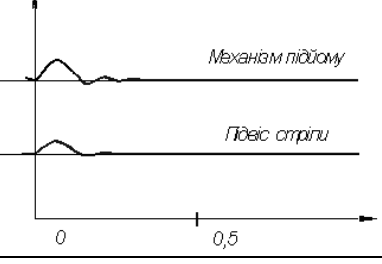
$$I^2 \cdot \left(\frac{1}{3} m_1 + m_2 \right) \cdot \ddot{\varphi} = F \cdot l + C \cdot \left(\sqrt{b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos(\varphi + \alpha)} - a \right) \cdot l \cdot \sin(\beta) + k \cdot \dot{\varphi}$$
(6)

Для позбавлення від великої частоти коливань в балочну систему підвісу стріли встановлюємо на передній опорі л-образної стійки пружний елемент, який зменшує жорсткість системи, а для зниження часу загасання коливань в систему вводимо демпфер, який встановлюємо паралельно пружинному елементу.

Після комп'ютерного обчислення маємо результати, які виражені графічними залежностями коливання стріли екскаватора протягом зазначеного часу при різних способах її закріплення (рисунок 3).

Таблиця 1

Результати математичного та фізичного експериментів

№ експ.	Схема системи підвісу стріли	Результати математичного експерименту	Результати фізичного експерименту
1	Вантова		
2	Балочна		
4	Балочна		

Аналіз графіків, отриманих в результаті експерименту показує, що на процес коливань динамічних навантажень в системі підвісу стріли можна впливати за допомогою зменшення жорсткості системи шляхом зміни її конструкції. Для перевірки адекватності математичної моделі на кафедрі ПТМ ДДМА розроблені фізичні моделі кранового обладнання на базі універсального екскаватора, які дозволяють провести експериментальні

дослідження динамічних навантажень. Основні параметри фізичної моделі виконані у відповідності з теорією подібності і моделювання, схема наведена на рис. 3.

В даному експерименті для виміру динамічних навантажень на грейферне обладнання універсальних екскаваторів використовуємо тензометричні перетворювачі (тензодатчики), приєднані до діодних мостів і з'єднаних з перетворюючими та реєструючими приладами.

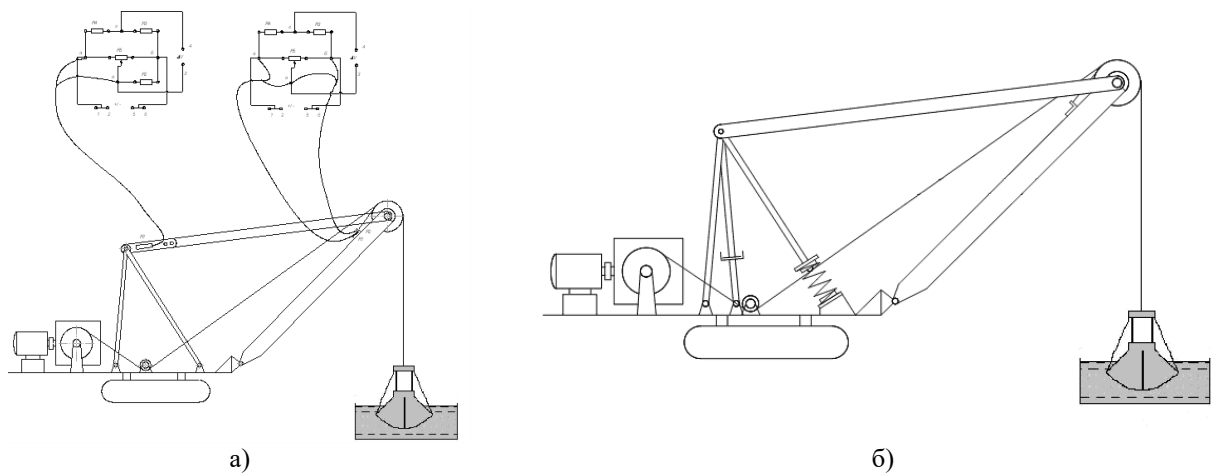


Рисунок 3 – Схема експериментальних досліджень на фізичній моделі з балочним підвісом стріли (а) та зі встановленим демпферним пристроєм (б)

Наведені графічні результати (див. табл. 1) вимірювань дозволяють зробити попередній висновок про те, що схема при балочній системі підвісу стріли зі зменшеною жорсткістю та встановленим демпферним пристроєм є більш доцільною для використання через найбільший створюваний нею ефект зниження динамічних навантажень.

Висновки. За розрахунковими схемами складена математична модель яка враховує жорсткість, інерційність та переміщення системи. За допомогою математичної моделі проведений теоретичний розрахунок і отримані діаграми коливань системи, за якими визначено систему з найменшою частотою та часом згасання коливань, що відповідає балочній системі підвісу стріли зі зменшеною жорсткістю. Розроблена математична модель, яка дозволила за рахунок зміни параметрів системи знайти оптимальний варіант, в якому частота коливань та час їх затухання зменшилися відповідно на 1/3 та в 6 разів. Проведене приблизне моделювання та розробка фізичної моделі експериментальної установки при коефіцієнті подібності рівним 10, що дозволило провести експериментальні дослідження і отримати осцилограми навантажень які підтверджують теоретичні розрахунки. Середня похибка не більше 13,4%. Дані розрахунки є рекомендацією підприємствам – виробникам універсальних екскаваторів з грейферним обладнанням крана для уточнення розрахунку динамічних навантажень та удосконалення конструкції робочого обладнання зі зменшеними динамічними навантаженнями на механізми екскаватора.

Література

1. Волков, Д.П. Динамика и прочность одноковшовых экскаваторов/ Д.П. Волков. – М.: Машиностроение, 1969.– 383 с.
2. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов. - М.: Машиностроение, 1987. - 157 с.
3. Кабаков А.М., Орлов А.Н., Мамаев Л.М. Теоретические и экспериментальные исследования эффективности применения виброзащитных устройств на мостовых кранах // Подъемно-транспортная техника. - Днепропетровск: ДПТ. - № 1 (9). - 2004. - С. 32-40.
4. Ловейкін В.С., Човнюк Ю.В., Діктерук М.Г. Теоретичні основи розрахунку віброгасителів коливань механізмів підйому вантажу промисловими роботами-маніпуляторами та вантажопідійомними (мостовими) кранами // Подъемно-транспортная техника. - Днепропетровск: ДПТ. - № 3. - 2003. - С. 5-19.

In this work the peculiarities of the loading of the swing platform and the working equipment of a universal excavator are considered when working with a grapple under wet (damp) soil conditions. The developed mathematical and physical models allow us to find constructive ways to reduce dynamic loads and reduce their impact on the rotary platform and metal construction.

In dieser Arbeit werden die Besonderheiten der Belastung der Schwenkplattform und der Arbeitsausrüstung eines Universalbaggers berücksichtigt, wenn mit einem Greifer unter nassen (feuchten) Bodenbedingungen gearbeitet wird. Die entwickelten mathematischen und physikalischen Modelle ermöglichen es uns, konstruktive Wege zu finden, um dynamische Belastungen zu reduzieren und deren Auswirkungen auf die Drehplattform und die Metall Konstruktion.