

ВИКОРИСТАННЯ ЗАКОНІВ ДИНАМІКИ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ РУХУ ПІДЙОМНИХ МЕХАНІЗМІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проведено дослідження застосування законів динаміки при моделюванні руху підйомних механізмів на будівництві за допомогою прийомів теоретичної механіки. Для дослідження був використаний розрахунок підйому вантажу одноковшевим гідравлічним екскаватором.

Ключові слова: гідравлічний екскаватор, теоретична механіка, закони Ньютона, стан рівноваги, динамічне моделювання.

Abstract

The paper investigates the application of the laws of dynamics in modeling the movement of lifting mechanisms in construction using theoretical mechanics techniques. The study used calculations for lifting a load with a single-bucket hydraulic excavator.

Keywords: hydraulic excavator, theoretical mechanics, Newton's laws, equilibrium state, dynamic modeling.

Актуальність теми зумовлена необхідністю її застосування у будівництві для точного визначення експлуатаційних можливостей будівельної техніки, забезпечення безпеки її використання та охорони праці на будівельному майданчику, а також підвищення енергоефективності й оптимізації будівельного процесу.

За допомогою фундаментальних законів динаміки пропонується розглянути одну з конструктивних задач, що може виникати у процесі будівництва.

Розглянемо динамічне моделювання руху ковша екскаватора (рис. 1). Одноковшевий гідравлічний екскаватор, робочий орган якого складається з трьох основних ланок: стріли, рукояті та ковша. Змодельємо плоский рух ковша екскаватора у вертикальній площині під дією гідроциліндрів, що керують поворотом стріли й рукояті.

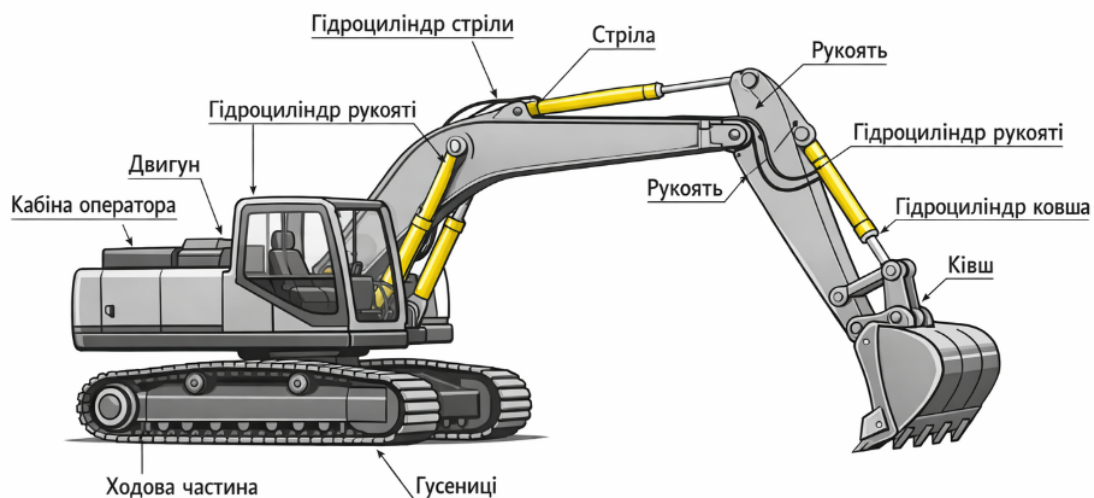


Рис. 1. Конструктивна схема одноковшевого гідравлічного екскаватора

Метою моделювання є побудова математичної моделі динаміки руху ковша відповідно до другого закону Ньютона та рівняння Лагранжа другого роду.

Для спрощення моделі припускаємо, що рух відбувається в одній вертикальній площині, ланки системи є абсолютно твердими тілами, маси кожної ланки зосереджені в їхніх центрах мас, моменти інерції відомі, сили гідроциліндрів діють уздовж своїх осей, опір ґрунту на ківш моделюється як сила, напрямлена протилежно швидкості його руху, величина якої залежить від глибини занурення

Геометричний опис конструкції:

$q_1 = \theta_b$ – кут повороту стріли відносно бази;

$q_2 = \theta_r$ – кут повороту рукояті відносно стріли;

$q_3 = \theta_k$ – кут повороту ковша відносно рукояті.

Положення центру мас кожної ланки описується через ці координати. Наприклад координата центру мас ковша:

$$x_k = l_b \cos \theta_b + l_r \cos(\theta_b + \theta_r) + c_k \cos(\theta_b + \theta_r + \theta_k),$$

де

l_b, l_r - довжини стріли та рукояті;

c_k - відстань від шарніра ковша до його центру мас.

Кінетична енергія складається з поступальної та обертальної енергії кожної ланки:

$$T = \sum_{i=b,r,k} \left(\frac{1}{2} m_i (\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2) + \frac{1}{2} J_i \dot{\phi}_i^2 \right),$$

де m_i – маса ланки,

J_i – її момент інерції,

ϕ_i – абсолютний кут повороту ланки.

Похідні координат отримуються через узагальнені швидкості $\dot{q}_j$ методом диференціювання параметричних залежностей.

Потенціальна енергія: $V = \sum_{i=b,r,k} m_i g y_i$,

де y_i – вертикальна координата центру мас кожної ланки.

Гідравлічні сили у циліндрах:

$Q_1 = F_b, Q_2 = F_r, Q_3 = F_k$, де F_b, F_r, F_k – проєкції сил гідроциліндрів на відповідні узагальнені координати.

Опір ґрунту ковшу: $\vec{R} = -k_s v_k \vec{e}_v$,

k_s – коефіцієнт опору ґрунту, v_k – швидкість руху робочої крайки ковша, $\vec{e}_v$ – одиничний вектор напрямку швидкості.

Ця сила перетворюється в узагальнені сили: $Q_j^{(R)} = \vec{R} \cdot \frac{\partial \vec{r}_k}{\partial q_j}$.

Застосуємо рівняння Лагранжа другого роду:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_j} + \frac{\partial V}{\partial q_j} = Q_j, \quad j = 1, 2, 3.$$

Це дає систему трьох нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = Q.$$

$M(q)$ – матриця мас інерції.

$C(q, \dot{q})$ – матриця Коріолісових та відцентрових сил.

$G(q)$ – вектор гравітаційних сил.

Q – вектор керуючих та реактивних сил.

Висновки

У даній роботі було розглянуто застосування законів динаміки та апарату теоретичної механіки для моделювання руху підйомних механізмів на прикладі одноковшового гідравлічного екскаватора. Побудовано математичну модель плоского руху робочого органу у вертикальній площині з урахуванням геометричних, кінематичних і динамічних параметрів системи. Використання узагальнених координат та рівнянь Лагранжа другого роду дозволило отримати

систему нелінійних диференціальних рівнянь, яка адекватно описує динаміку руху стріли, рукояті та ковша екскаватора.

Отримана модель враховує вплив сил тяжіння, гідравлічних приводів і опору ґрунту, що робить її придатною для аналізу реальних умов експлуатації будівельної техніки. Результати моделювання можуть бути використані для оптимізації режимів роботи екскаватора, підвищення енергоефективності та забезпечення безпеки виконання будівельних робіт. Таким чином, застосування законів динаміки при моделюванні руху підйомників є важливим інструментом для інженерних розрахунків і проєктування сучасних будівельних машин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лойцянский Л. Г. Курс теоретической механики : навч. посіб. – Київ : Вища школа, 2005.
2. Бондаренко В. М., Кузьменко О. П. Теоретична механіка : підручник для технічних спеціальностей. – Харків : Фактор, 2012.
3. Кіницький Я. Т. Динаміка машин і механізмів : навч. посіб. – Львів : Львівська політехніка, 2010.
4. Кузьмін В. І., Ковальчук П. М. Гідравлічні та пневматичні приводи будівельних машин : підручник. – Київ : Основа, 2014.
5. Кравченко О. В. Будівельні машини і обладнання: навч. посіб. – Київ : КНУБА, 2016.

Рисинець Андрій Сергійович – студент групи БМ-24б, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Рижкова Марія Віталіївна – студентка групи 2Б-24б, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Кириця Інна Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: slk-vin@ukr.net, kyrytsya@vntu.edu.ua, тел. +380679843705.

Rysynets Andriy S. – student of group BM-24b, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Ryzhkova Mariya V. – student of group 2B-24b, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Kyrytsya Inna Y. – PhD, Assistant Professor of Materials Resistance, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: slk-vin@ukr.net, kyrytsya@vntu.edu.ua, tel. +380679843705.