

## Гірничі та піднімально-транспортні машини

УДК 622.833

В.С.Ловеїкін, д.т.н., проф.;  
Ю.О.Ромасевич, к.т.н. (НУБіП України, Київ);  
Г.В.Шумілов, аспірант (КНУБА, Київ).

### ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАЛЬНОЇ ДИНАМІКИ ЗМІНИ ВІЛЬОТУ ВАНТАЖУ БАШТОВОГО КРАНА

*АНОТАЦІЯ. Розглянуто теорії та дослідження динаміки роботи приводних механізмів баштового крана. Побудовано динамічну та математичну моделі механізму зміни вильоту вантажу. Досліджено та проаналізовано поведінку елементів механізму зміни вильоту вантажу баштового крана під час його роботи.*

*Ключові слова: баштовий кран, механізм зміни вильоту, коливання вантажу, математична модель, динамічна модель.*

*АННОТАЦИЯ. Рассмотрены теории и исследования динамики работы приводных механизмов башенного крана. Построены динамическую и математическую модели механизма изменения вылета груза. Исследовано и проанализировано поведение элементов механизма изменения вылета груза башенного крана во время его работы.*

*Ключевые слова: башенный кран, механизм изменения вылета, колебания груза, математическая модель, динамическая модель.*

*SUMMARY. The theory and study the dynamics of the drivers of the tower crane. Construct a dynamic mathematical model and mechanism of change departure of cargo. Study and analyze the behavior of machine elements luffing tower crane at the time of his robots.*

*Key words: tower crane, luffing mechanism, fluctuations in load, the mathematical model, dynamic model.*

#### Вступ

Під час роботи механізму зміни вильоту вантажу баштового крана виникають маятникові коливання вантажу, що призводять до значних динамічних навантажень не тільки в металоконструкціях, а і у приводних механізмах крана. Ці навантаження приводять до утомного руйнування конструкції крана і передчасного виходу обладнання з ладу. Коливання вантажу під час роботи крана є практично неконтрольованими, що значно ускладнює позиціонування вантажу, та піддає небезпеці стропувальників.

Для вирішення даної проблеми необхідно дослідити динаміку зміни вильоту вантажу, що дає можливість зробити висновки про характер динамічних навантажень та можливість їх мінімізації шляхом керування приводними механізмами крана.

#### Аналіз існуючих досліджень і публікацій

З кінця 50-х, початку 60-х років почалось систематичне вивчення динаміки ван-

тажопідіймальних машин та розробка методів по зменшенню впливу динамічних навантажень. Дослідженнями динамічних навантажень та причин їх виникнення займалися такі вчені, як М.С. Комаров [1], М.О. Лобов [2], С.Т. Сергєєв [3], А.О. Сметхов і Н.І. Ерофєєв [4] та ін.

М.С. Комаров систематизував можливі причини виникнення динамічних навантажень [1]. Аналіз цих причин, здійснений автором, свідчить, що коливальні явища в металоконструкціях та механізмах кранів виникають:

1. *При підйманні вантажу під час: пуску механізму підймання на підйом вантажу, що вільно висить; пуску механізму в сторону опускання; гальмування механізму при підйомі; гальмування механізму при опусканні; пуску механізму в сторону підймання з одночасним відривом вантажу від основи; гальмування за одночасною посадкою вантажу на основу; підймання вантажу стрілою крана; кантування вантажу.*

2. При горизонтальному переміщенні вантажу під час: пуску механізму горизонтального переміщення вантажу, що вільно висить; зупинка (гальмування) механізму переміщення з вантажем, що вільно висить; зупинка механізму переміщення за наїзду візка або крана на упор.
3. При суміщенні роботи кранових механізмів: одночасний пуск чи зупинка механізмів підймання та горизонтального переміщення вантажу; одночасна робота механізмів повороту крана та горизонтального переміщення вантажу; підйом або опускання вантажу при одночасному підйманні або опусканні стріли.

Для цих випадків автором проводилися розрахунки з використанням тримасової динамічної моделі механізму підймання. На основі отриманих результатів автором запропоновано зменшення динамічних навантажень шляхом введення до гнучкої підвіски додаткового пружного елемента.

М.О. Лобов в монографії провів докладний аналіз і систематизацію методів теоретичного визначення та зменшення динамічних навантажень мостових та козлових кранів [2].

Результати досліджень, здійснених С.Т. Сергєєвим, свідчать, що коливальні зусилля, які виникають в канатах вантажопідіймальних машин та механізмів, суттєво впливають на їх надійність та довговічність [3].

А.О. Смєхов і Н.І. Ерофєєв дослідили способи побудови математичних моделей підйомно-транспортних машин, обґрунтували параметри керування та критерії їх оптимізації [4].

Разом з тим дослідження динаміки зміни вильоту вантажу баштового крана з вантажною кареткою не проводилися в достатньому обсязі.

Тому, спираючись на існуючі дослідження, пропонується дослідити динаміку руху механізму зміни вильоту вантажу баштового крана.

**Мета дослідження** полягає в моделюванні та аналізі реального руху елементів механізму переміщення каретки, в процесі роботи механізму зміни вильоту вантажу баштового крана, що дасть можливість зменшити небажані фактори за процес роботи механізму зміни вильоту вантажу баштового крана.

### Виклад основного матеріалу

Математична модель є центральним етапом у дослідженні, проектуванні або керуванні будь-якої системи. Математична модель динаміки зміни вильоту вантажу необхідна для визначення характеристики реального стану системи та подальшої мінімізації критеріїв, що створюють небажані навантаження та коливання за рахунок оптимального керування привідним механізмом.

Розглядається робота механізму зміни вильоту вантажу.

Припускаємо, що всі елементи механізму зміни вильоту вантажу є твердими тілами, окрім каната переміщення візка, який вважається пружним елементом. Вважаємо, що всі елементи крана рухаються у вертикальній площині, а вантаж коливається на гнучкому підвісі. Приймаємо, що статичний опір переміщенню кранового візка є постійною величиною, оскільки відхилення поліспастиної системи від вертикалі в процесі зміни вильоту вантажу є незначними і вони практично не змінюють величину статичного опору. Разом з тим інерційні навантаження, що діють на візок в результаті відхилення вантажу, є значні але їх необхідно враховувати.

На основі прийнятих припущень розроблена динамічна модель руху механізму зміни вильоту вантажу, яка представлена на рис 1.

В цій моделі за узагальнені координати прийняті: кутові координати повороту барабана механізму переміщення візка -  $\varphi$ ; лінійні координати центрів мас візка  $x_2$  і вантажу  $x_3$ .

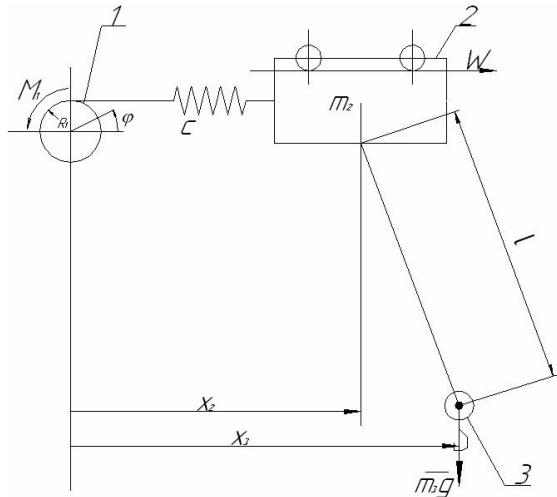


Рис 1. Динамічна модель механізму зміни вильоту вантажу

Для динамічної моделі (рис 1) складено систему рівнянь руху вантажної каретки, де барабан виконує обертовий рух, а вантаж та каретка – поступальний:

$$\begin{cases} I_{n1} \ddot{\varphi} + c(\varphi R_1 - x_2) R_1 = M_1; \\ m_2 \ddot{x}_2 = -W + c(\varphi R_1 - x_2) - m_3 g \frac{x_2 - x_3}{l}; \\ \ddot{x}_3 = g \frac{x_2 - x_3}{l}. \end{cases}$$

$$M_1 = \frac{u \cdot 2 \cdot M_{1\max} \cdot \eta}{\frac{1 - \frac{\varphi'}{w_1}}{skr_1} + \frac{1 - \frac{\varphi'}{w_1}}{1 - \frac{\varphi'}{w_1}}}$$

де  $c$  - жорсткість каната;  $M_1$  - рушійний момент на привідному барабані;  $R_1$  - радіус барабана;  $W$  - сила статичного опору переміщенню каретки;  $m_2, m_3$  - маси, відповідно, каретки і вантажу;  $I_{n1}$  - приведений до осі повороту барабана момент інерції привідного механізму переміщення каретки;  $M_{1\max}$  - максимальний момент двигуна;  $u$  - передаточне число редуктора;  $\eta$  - ККД передачі;  $skr_1$  - критичне ковзання двигуна;  $w_1$  - номінальна кутова швидкість барабана,  $g$  - прискорення вільного падіння;  $l$  - довжина підвісу вантажу.

Отримана система рівнянь розв'язується за наступних початкових

умов:

$$\varphi = 0, \dot{\varphi} = 0; x_2 = 0, \dot{x}_2 = 0; x_3 = 0, \dot{x}_3 = 0.$$

Розрахунок цієї моделі здійснюємо для таких параметрів:

$$I_{n1} = 556,8 \text{ H} \cdot \text{м}^2; R_1 = 0,133 \text{ м}; W = 6867 \text{ Н};$$

$$m_2 = 1500 \text{ кг}; m_3 = 12500 \text{ кг}; g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$M_{1\max} = 1821 \text{ Н} \cdot \text{м}; skr_1 = 0,504; l = 50 \text{ м};$$

$$T = 40 \text{ с}; c = 1,86 \cdot 10^5 \text{ Н/м}; w_1 = 4,6 \text{ рад/с};$$

$$\eta = 0,97; u = 20,49.$$

Підставивши параметри в систему рівнянь руху вантажної каретки баштового крана та вирішивши її, отримаємо графіки залежностей кінематичних характеристик від часу (рис 2-4).

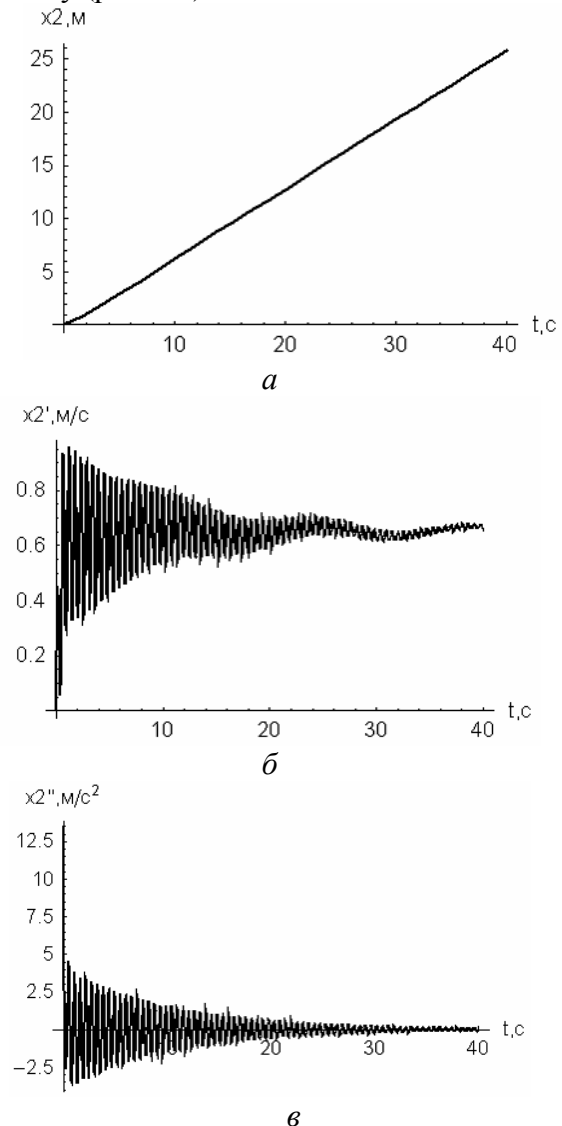
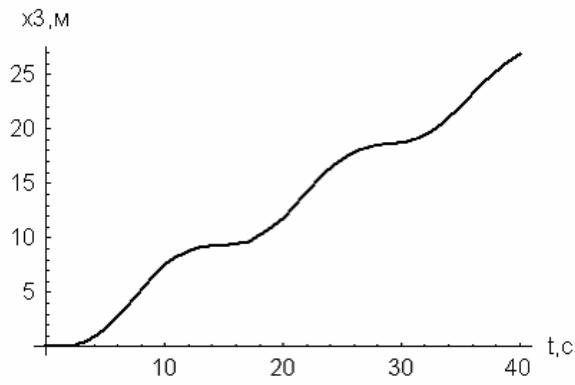
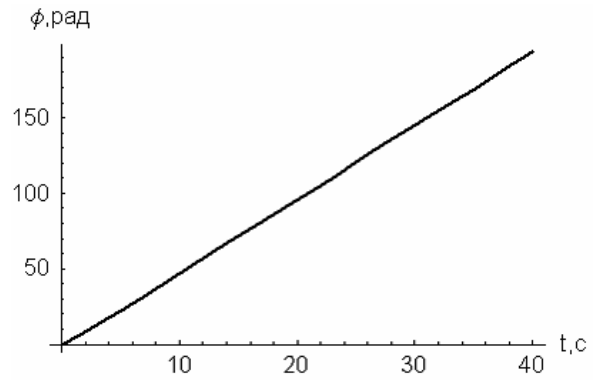


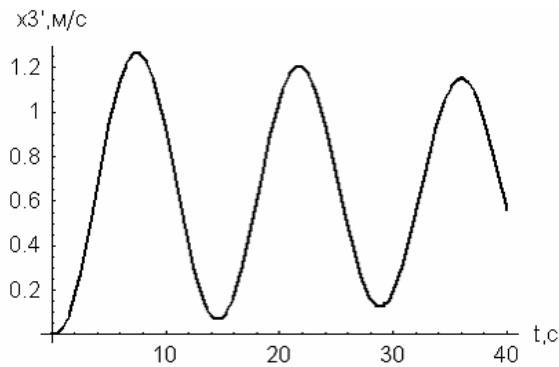
Рис 2. Графіки зміни кінематичних характеристик вантажного візка: а – переміщення; б – швидкості; в – прискорення



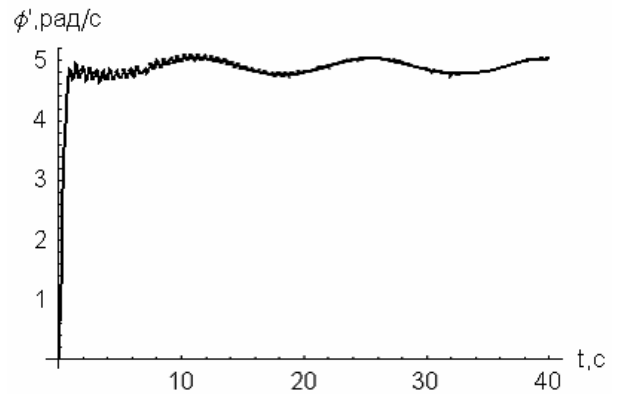
*a*



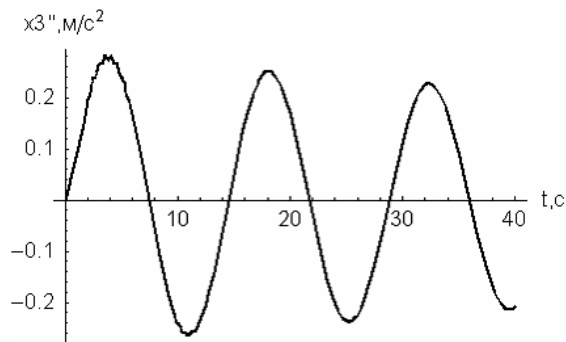
*a*



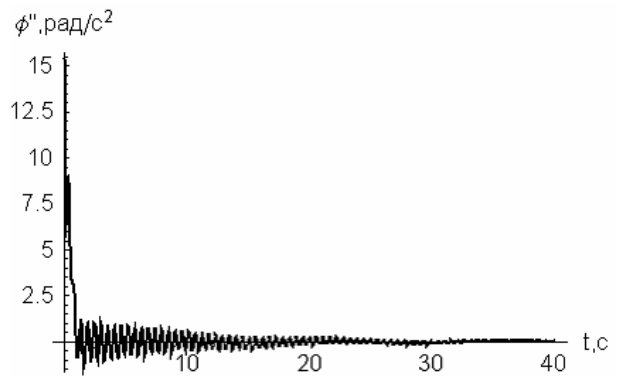
*б*



*б*



*в*



*в*

Рис 3. Графіки зміни кінематичних характеристик вантажу:

- a* – переміщення;
- б* – швидкості;
- в* – прискорення

Рис 4. Графіки зміни кінематичних характеристик барабана:

- a* – кут повороту;
- б* – швидкості;
- в* – прискорення

### Проаналізуємо отримані графіки

Координата переміщення візку змінюється майже рівномірно, з невеликими коливаннями на початку руху. Це пов'язано з так-званим ривком, що виникає під час пуску двигуна.

На графіку зміни координати швидкості візка помітні значні її коливання, що мають синусоїдальний характер. Найбільша амплітуда коливань становить приблизно 1,1 м/с.

літуда коливань спостерігається на початку руху, і поступово зменшується, що пов'язано із врахуванням пружності каната, що на початку руху працює як пружина. До 30-ї секунди коливання стають плавнішими, швидкість поступово стабілізується і складає приблизно 0,61 м/с, але коливання, викликані розхитуванням вантажу, все ж залишаються.

Координата прискорення візка також має значну амплітуду коливань на початку руху, в процесі руху коливання прискорення візка поступово згасають та приблизно на 30-ій секунді прискорення зникає, візок рухається практично рівномірно.

На графіках, що відповідають зміні координат вантажу добре видно поведінку всіх складових руху вантажу. Повний цикл коливання вантажу відбувається майже за 15с. На графіку переміщення вантажу видно, що в деякий момент вантаж майже не рухається, так як рух візка і коливання вантажу накладуються одне на інше. Приблизно на 8-й секунді швидкість вантажу максимальна, а прискорення рівне нулю, при проходженні цієї точки вантаж починає рухатись в зворотньому напрямку.

Кут повороту барабана змінюється практично рівномірно. Графіки зміни кутової швидкості та прискорення барабана механізму пересування каретки мають деяку амплітуду коливань, яка поступово згасає. Кутова швидкість набуває номінального значення - 4,57рад/с і продовжує трохи коливатись внаслідок коливань вантажу, а прискорення набуває значення, близького до 0, також з невеликими коливаннями.

### Висновки

Дослідження механізму зміни вильоту вантажу баштового крана дало змогу проаналізувати поведінку вантажу та елементів механізму зміни вильоту баштового крана, під час роботи механізму пересування вантажної каретки, та отримати конкретні відомості про вплив коливань вантажу на барабан механізму переміщення вантажної каретки.

Зменшення коливань вантажу за рахунок керування приводом дозволить зменшити навантаження на привідний механізм та підвищити надійність механізму зміни вильоту в цілому.

### Література

1. *Комаров М.С.* Динамика механизмов и машин, - М.: Машиностроение, 1969. – 206с.
2. *Лобов Н.А.* Динамика грузоподъемных кранов. М.: Машиностроение, 1987. – 160с.
3. *Сергеев С.Т.* Надёжность и долговечность подъёмных канатов. – К.: Техніка, 1968. – 238с.
4. *Смехов А.А., Ерофеев Н.И.* Оптимальное управление подъёмно-транспортных машин. 1975. - 239с.

*Рецензент:* В.Б. Яковенко, д.т.н., проф.  
(КНУБА, Київ)

*Отримано:* 28.03.2011 р.