

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ У МЕХАНІЗМІ ПІДЙОМУ ЛЕГКОГО БУДІВЕЛЬНОГО КРАНА

Наведено результати досліджень динамічних навантажень у механізмі підйому легкого будівельного крана при різних варіантах підйому вантажу.

Ключові слова: динамічні навантаження, легкий будівельний кран.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Робота механізмів вантажопідйомних машин під час перехідних процесів супроводжується динамічними навантаженнями [1 – 8], виникнення котрих обумовлено пружністю ланок й їхньою здатністю до збудження в них коливальних процесів за певних умов. Змінна складова сил або моментів при пружних коливаннях може бути настільки великою, що сумарні миттєві значення їх перевищують статичні та інерційні навантаження. Це може призвести до перевантаження механізмів і їх виходу з ладу. Уникнути цих коливань неможливо, проте можна їх суттєво зменшити на стадії проектування машини.

Отже, врахування динамічних навантажень на ланки механізмів машин є актуальним завданням і на попередньому етапі проектування машин його доцільно розв'язувати шляхом математичного моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання цієї проблеми та на які спирається автор, виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Динамічні навантаження у вантажопідйомних машинах визначають шляхом аналізу процесів у відповідних динамічних системах, які часто описуються диференціальними рівняннями [1]. При цьому може бути враховано багато факторів (зазори в передачах, нелінійні залежності у пружних в'язях, затухання коливань тощо), котрі дозволяють достатньо точно відобразити процеси, що реально протікають при роботі машин.

У процесі математичного моделювання коливальних процесів, які виникають у механізмах підйому, користуються різними розрахунковими схемами і розглядають одно- та двомасові коливальні системи [2, 3].

Метою даної статті є висвітлення результатів дослідження динамічних навантажень у механізмі підйому легкого будівельного крана при різних варіантах підйому вантажу.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Привід будь-якої машини складається з елементів, які можуть бути приведеними до зосереджених мас (ротор електродвигуна, маховики, рухомі маси робочих органів машин) та пружних в'язей (канати, ланцюги, стрічки, вали, муфти, зубчасті передачі).

Під впливом зовнішніх навантажень (моментів електродвигуна і гальм, опору робочої машини) пружні елементи деформуються, а зосереджені маси машини здійснюють, крім основного руху, невеликі коливання, тобто переміщуються з різними миттєвими швидкостями, і кожна з мас у деякі моменти часу випереджає сусідню або відстає від неї. Згідно із цим змінним рухом мас пружні ланки між ними періодично стискаються чи розтягуються зі збільшенням (зменшенням) сил відносно зусилля, що передається, або середнього крутного моменту. Змінна складова сил чи моментів при пружних коливаннях може бути настільки великою, що сумарні миттєві значення їх значно перевищують статичні та інерційні навантаження, і це може призвести до перевантаження й поломки деталей машин.

У багатьох механізмах підйомно-транспортних машин динамічні навантаження відіграють вирішальну роль. Практично 90% руйнувань деталей машин відбувається від втоми, і руйнуються вони саме в результаті дії змінних динамічних навантажень [2].

Розрахунок динамічних навантажень у привідних лініях включає такі основні етапи:

- складання розрахункових приведених або еквівалентних схем механізму;
- визначення величини і характеру зміни прикладених до системи зовнішніх навантажень;
- визначення жорсткості пружних в'язей;
- складання диференціальних рівнянь руху мас системи;
- знаходження пружних сил і моментів у ланках привода.

Привід машини складається з великої кількості зосереджених і розподілених мас, унаслідок чого теоретичне дослідження такої системи стає досить складним, а іноді й взагалі неможливим.

Тому дійсну схему замінюють простою приведеною розрахунковою схемою з невеликою кількістю мас, що забезпечує необхідну точність розрахунку. Зазвичай вибирають декілька найбільших мас привода і робочих органів машини. Іншими масами або нехтують унаслідок їхньої малості, або враховують їх наближено, згідно з існуючими методами приведення.

Як показано у роботах [2, 3] механізм підйому крана (рис. 1, а) можна привести до двомасової системи з лінійною жорсткістю C і масами m_2 та

m_1 , на які діють пружні сили P і сили опору Q , розрахункова схема такої двомасової системи показана на рисунку (рис. 1, б).

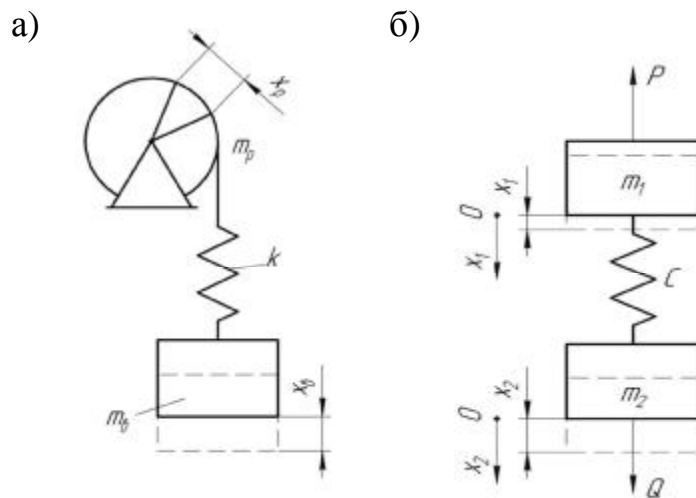


Рис. 1. Схема двомасової пружної системи: m_1 – маса рухомих частин привода приведена до периферії барабана; m_2 – маса вантажу та вантажозахоплювального пристрою

При складанні диференціальних рівнянь руху мас системи, котра показана на рис. 1, скористаємося принципом д'Аламбера, згідно з яким необхідно прирівняти до нуля суму проєкцій на вертикальну вісь усіх сил, що діють на маси m_1 та m_2 при їхньому відхиленні від положення статичної рівноваги.

Надавши масі m_1 переміщення x_1 , маємо

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + C(x_1 - x_2) - P = 0. \quad (1)$$

Надавши масі m_2 переміщення x_2 , маємо

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} - C(x_1 - x_2) + Q = 0. \quad (2)$$

Запишемо вирази (1) і (2) у вигляді системи рівнянь

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + C(x_1 - x_2) = P; \\ m_2 \ddot{x}_2 - C(x_1 - x_2) = Q. \end{cases} \quad (3)$$

У системі (3) перші складові – сили інерції відповідної маси, другі – сили пружності у в'язі. У правій частині – сили, що діють на систему в період несталого руху.

Перше рівняння домножимо на m_2 , а друге – на m_1 й друге рівняння віднімемо від першого. Ураховуючи, що $x_1 - x_2 = x$ – це переміщення мас, запишемо

$$m_1 \times m_2 \times C \times x(m_1 + m_2) = P \times m_2 + Q \times m_1. \quad (4)$$

Поділивши ліву та праву частини рівняння (4) на добуток $m_1 \cdot m_2$, отримаємо

$$\frac{C \times x(m_1 + m_2)}{m_1 \times m_2} = \frac{P \times m_2 + Q \times m_1}{m_1 \times m_2}. \quad (5)$$

Таке диференціальне рівняння характеризує деформацію пружної ланки, а враховуючи те, що динамічне навантаження матиме вигляд

$$P_\partial = (x_1 - x_2) \times C = C_x, \quad (6)$$

То воно характеризує і динамічне зусилля у цій же ланці.

Загальне рішення однорідного рівняння (5) матиме вигляд

$$P_\partial = C_1 \times \cos kt + C_2 \times \sin kt + \frac{m_2 \times P + m_1 \times Q}{C(m_1 + m_2)}, \quad (7)$$

де C_1, C_2 – постійні інтегрування, які знаходимо з початкових умов (також ураховуємо і жорсткість підвісу C , тобто $C_1 = c \times C_1 \phi$; $C_2 = c \times C_2 \phi$;

k – власна частота коливань,

$$k = \sqrt{\frac{C \times (m_1 + m_2)}{m_1 \times m_2}}. \quad (8)$$

При підйомі вантажу з положення «підвісу» початкові умови будуть такими: $t = 0$; $\frac{dx}{dt} = 0$; $P_\partial = Q$.

Сталі C_1, C_2 знаходимо з рівняння (7), підставивши початкові умови.

З урахуванням початкових умов динамічне навантаження буде виражатися формулою

$$P_\partial = \frac{m_2 \times P + m_1 \times Q}{m_1 + m_2} - \frac{(P - Q) \times m_2}{m_1 + m_2} \times \cos kt. \quad (1)$$

Для отримання наочних результатів підставимо в цю формулу технічні параметри легкого будівельного крана $P = 3300$ Н, $Q = 3200$ Н, $m_1 = 37,4$ кг, $m_2 = 320$ кг, $k = 3,641$ с. і побудуємо графік (рис. 2).

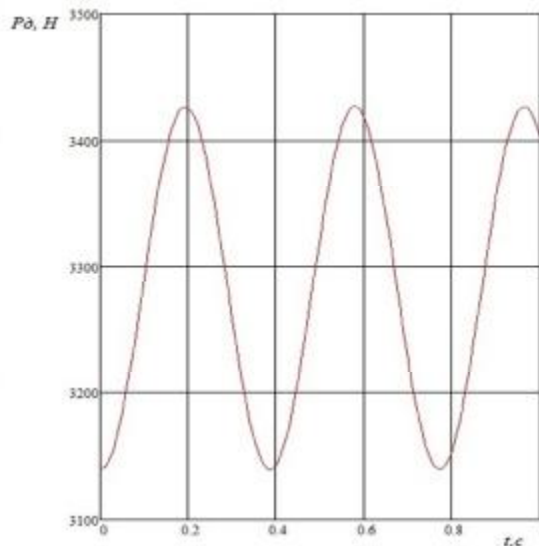


Рис. 2. Графік зміни динамічного навантаження із часом при підйомі вантажу з положення «підвісу» (без урахування затухання коливань)

При підйомі з «підхватом» канат попущений і система під навантаженням не знаходиться. У такому випадку можна вважати, що навантаження до системи прикладається миттєво. При обертанні барабана спочатку вибирається слабина в канатах поліспасти, а потім здійснюється відрив вантажу від поверхні.

Початкові умови у цьому випадку будуть такими: $t = 0$; $\frac{dx}{dt} = 0$;
 $P_0 = 0$.

При цьому формула динамічного навантаження матиме вигляд

$$P_0 = \frac{m_2 \times P + m_1 \times Q}{m_1 + m_2} \times (1 - \cos kt). \quad (2)$$

Аналізуючи рівняння (10), доходимо висновку, що максимальне навантаження виникне за умови

$$(1 - \cos kt) = 1, \quad (3)$$

або

$$\cos kt = 0, \quad (4)$$

тобто в момент

$$t = \frac{p}{p} = \frac{T}{2}. \quad (5)$$

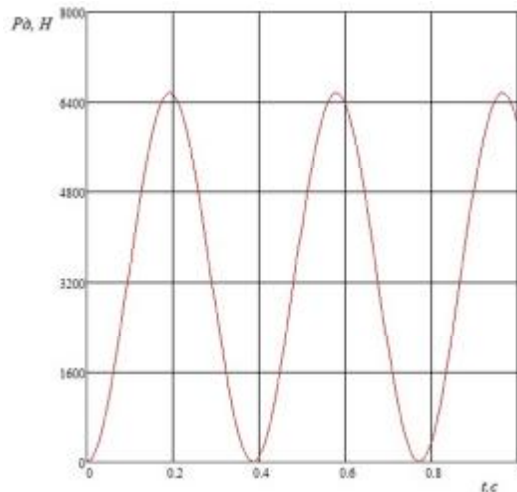


Рис. 3. Графік зміни динамічного навантаження з часом при підйомі вантажу з «підхватом» (без урахування затухання коливань)

Аналізуючи наведені графіки на прикладі прийнятих вище параметрів для легкого крана, бачимо, що під час пуску механізму підйому з піднятим вантажем динамічні навантаження перевищують статичні на 7%, при підйомі вантажу «з підхватом» перевищення навантаження складає 105%. Проведені дослідження дають можливість установити дійсний характер навантажень у механізмі.

Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі

1. Отримані результати аналітичних досліджень дозволяють урахувати динамічні навантаження на ланки механізмів крана на попередньому етапі його проектування.

2. Незважаючи на те, що розрахунки динамічних навантажень викликані без урахування затухання коливань, вони дозволяють з достатньою точністю визначати максимальні навантаження, які виникають на початку коливань.

Література

1. Брауде В.И. *Справочник по кранам: характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций* / В.И. Брауде, М.М. Гохберг, И.Е. Звягин и др. – М.: Машиностроение. – 1988. – Т. 1. – 536 с.
2. Тимошенко С.П. *Колебания в инженерном деле* / С.П. Тимошенко. – М.: Машиностроение, 1984. – 472 с.
3. Иванченко Ф.К. / *Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин* / Ф.К. Иванченко, В.С. Бондарев, Н.П. Колесник и др. – К.: Вища школа, 1978. – 576 с.
4. Човнюк Ю.В. *Аналітичний розв'язок задачі оптимізації усталеного режиму руху механізмів з нелінійною функцією положення ланок* / Ю.В. Човнюк, В.С. Ловейкін,

Д.А. Паламарчук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2009. – № 74. – С. 15 – 19.

5. Ловейкін В.С. Мінімізація коливань вантажу шарнірно-зчленованої стрілової системи крана в процесі зміни вильоту / В.С. Ловейкін, Д.А. Паламарчук // Підйомно-транспортна техніка. – 2010. – № 4. – С. 3 – 14.

6. Ловейкін В.С. Мінімізація коливань вантажу при горизонтальному переміщенні шарнірно-зчленованою стріловою системою крана / В.С. Ловейкін, Д.А. Паламарчук // Техніка будівництва. – 2010. – № 24. – С. 9 – 17

7. Паламарчук Д.А. Мінімізація коливань вантажу при горизонтальному переміщенні шарнірно-зчленованою стріловою системою крана / Д.А. Паламарчук, В.В. Іщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2011. – № 78. – С. 20 – 27.

8. Ловейкін В.С. Вплив розгойдування вантажу на ефективність кранів із шарнірно-зчленованою стріловою системою / В.С. Ловейкін, Д.А. Паламарчук, В.В. Іщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2012. – № 80. – С. 22 – 29.

Надійшла до редакції 20.11.2012

© О. В. Орисенко, М. П. Нестеренко

УДК 629.3.065.23:69

*А. В. Орисенко, к.т.н., доцент
Н. П. Нестеренко, к.т.н., доцент*

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В МЕХАНИЗМЕ ПОДЪЕМА ЛЕГКОГО СТРОИТЕЛЬНОГО КРАНА

Представлено результати досліджень динамічних навантажень в механізмі підйому легкого будівельного крана при різних варіантах підйому вантажу.

Ключевые слова: динамические нагрузки, легкий строительный кран.

UDC 629.3.065.23:69

*O.V. Orysenko, Ph. D., Associate Professor
M. P. Nesterenko, Ph. D., Associate Professor
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*

STUDY OSCILLATORY PROCESSES IN THE LIFTING MECHANISM LIGHTWEIGHT CONSTRUCTION CRANE

Presented results of research into the mechanism of dynamic loads easy lifting crane in different variants lifting.

Keywords: dynamic loads, lightweight construction crane.