

5. Гевко Р.Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин: конструювання і розрахунок / Р.Б. Гевко. – Тернопіль: Збруч, 1997. – 120 с.
6. Барановський В.М. Вибір параметрів при конструюванні гвинтового конвеєра / Барановський В.М., Соломка В.О., Онищенко В.Б. // Вісник ХДТУСГ. – Х., 2001. – Вип. 8. “Підвищення надійності відновлюємих деталей машин”. – Т. 2. – С. 209–215.
7. Барановський В.М. Конструктивні та кінематичні параметри комбінованого очисника вороху коренеплодів / Барановський В.М., Войтюк Д.Г., Вигovskyкий А.Ю. // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2002. – Т. 7, № 2. – С. 90–94.
8. Погорелый Л.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / Л.В. Погорелый, М.В. Татьяна. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.

В статье приведены полученные результаты экспериментальных исследований количества пройденных корнеплодов к отжимальным вальцам через зазор между шнеком и рабочей веткой подающего транспортера комбинированного очистителя вороху корнеплодов.

Очиститель вороху корнеплодов, корнеплоды, шнек, отжимальные вальцы, диаметр, угловая скорость обращения.

In paper the got results of experimental researches of amount of passed root crops are driven to extraction rollers through gap between screw and working branch of giving conveyer of combined purifier to lots of root crops.

Purifier to lots of root crops, root crops, screw, extraction rollers, diameter, angulator of appeal.

УДК 531.396, 534.014.4, 534.015.1

ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ РУХУ ГРЕЙФЕРА, ПІДВІШЕНОГО НА ГНУЧКОМУ ПІДВІСІ, ПРИ ПОВОРОТІ КРАНА

***В.С. Ловейкін, доктор технічних наук
Ю.В. Човнюк, кандидат технічних наук
П.В. Лимар, В.В. Мельниченко, магістри***

Обґрунтовано фізико-механічну модель, що описує можливі типи руху грейфера, підвішеного на гнучкому підвісі, при повороті крана. Для аналізу кінематичних і силових характеристик зазначеного руху використаний метод фазових портретів (класичного і більш високих порядків). Використання отриманих моделей кранів для оптимального управління рухом дозволяє значно підвищити їх продуктивність і надійність.

Модель, рух, вантаж, гнучкий підвіс, поворот, грейфер.

© В.С. Ловейкін, Ю.В. Човнюк, П.В. Лимар, В.В. Мельниченко, 2014

Постановка проблеми. Стан розвитку підйомно – транспортного обладнання потребує подальшого удосконалення математичних моделей технологічних процесів управління , продуктивності і точності позиціонування вантажу при повороті крана. Вирішення зазначених проблем вимагає додаткового динамічного аналізу руху вантажу на гнучкому підвісі в горизонтальній площині при рівноприскореному повороті крана. Також існує необхідність розрахунку власних коливань , які виникають при розгойдуванні вантажу уздовж переносного обертального руху стріловий системи крана. Розрахунковий аналіз механічної системи «стріла крана – грейфер» дає можливість для визначення динамічних навантажень на основні елементи несучої конструкції крана.

Однією з причин зменшення продуктивності і зниження надійності кранів з підвішеним грейфером є саме розгойдування вантажу на гнучкому підвісі (канаті). Для стрілових кранів найбільш характерним є розгойдування захвату з вантажем при повороті його стріли. Крім дії відцентрової сили, сили Коріоліса, що виникають при повороті стріли крана, на вантаж також діє і сила інерції, через яку кут відхилення каната від вертикалі максимальний при пуску/зупинці механізму повороту крана. Вантаж здійснює коливання, що представляють собою складний просторовий рух.

Для зменшення коливань можна збільшити час перехідних процесів, однак це збільшує час робочого циклу, що в свою чергу знижує продуктивність механізму, але підвищує його надійність. В даний час застосовують електропривод з мехатронною інформаційною системою управління, що дозволяє задавати програму керування електроприводом механізму повороту крана, а також за допомогою регульованого модального регулятора ефективно гасити небажані коливання вантажу на гнучкому підвісі. Звісно, що для складання подібної програми управління рухом крана необхідно підібрати режим його повороту, який би враховував вплив його конструктивних особливостей і забезпечував би підвищення продуктивності і надійності крана, а також простоту управління самим механізмом.

Для вирішення поставлених завдань потрібні знання узагальнених рівнянь руху, що враховують весь спектр сил, діючих на грейфер з вантажем, підвішений на гнучкому підвісі крана. Подібні рівняння досить точно можуть описувати поведінку вантажу в режимі реальної експлуатації крана.

Аналіз останніх досліджень. Розрахункові підходи, що враховують вплив відцентрових сил інерції на характер коливання вантажу при повороті стріли крана, представлені в роботах [1-10]. В

[11] проведено аналіз динамічних режимів розгойдування вантажу в горизонтальній площині коливань з урахуванням впливу прискорення Коріоліса на відносну траєкторію вантажу на гнучкому підвісі. Автори [12,13] обґрунтовують рівняння руху вантажу на гнучкому підвісі при повороті крана, проте без урахування сил Коріоліса. Слід зазначити що в [11] розглянуто рівномірний поворот стріли крана, а в [13] – нерівномірний.

Мета досліджень. Обґрунтування математичної моделі, яка описує динаміку і визначає вид відносної траєкторії руху грейфера з вантажем на гнучкому підвісі при різних режимах повороту стріли крана в горизонтальній площині коливань (з одночасним урахуванням як відносного повороту вертикальної площини коливань вантажу, так і впливу прискорення Коріоліса на вид відносної траєкторії вантажу, який розгойдується на гнучкому підвісі). Для досягнення мети роботи використано метод (класичного) фазового портрета і метод фазових портретів вищих порядків, перший з яких застосований в [13].

Результати досліджень. Рівняння горизонтальних коливань вантажу на гнучкому підвісі при рівномірному повороті стріли крана. Використовуючи результати роботи [11], в яких враховано дію сили Коріоліса, рівняння горизонтальних коливань вантажу на гнучкому підвісі при рівномірному повороті стріли крана можуть бути представлені (в абсолютній системі координат (y_2, x_2)) в наступному вигляді:

$$\left\{ \begin{aligned} \ddot{x}_2 &= \dot{y}(-\omega_l)\sin(\omega_l t) + (R + y + yd_{\ddot{\alpha}}) \times \\ &\times (-\omega_l^2) \cos(\omega_l t) + \ddot{y} \cos(\omega_l t) - \dot{y}\omega_l \times \\ &\times \sin(\omega_l t) + \ddot{x} \sin(\omega_l t) + \dot{x}\omega_l \cos(\omega_l t) + \\ &+ \omega_l \dot{x} \cos(\omega_l t) - \omega_l^2 x \sin(\omega_l t); \\ \ddot{y}_2 &= \dot{y}\omega_l \cos(\omega_l t) + (R + y + yd_{\ddot{\alpha}}) \times \\ &\times (-\omega_l^2) \sin(\omega_l t) + \ddot{y} \sin(\omega_l t) + \dot{y}\omega_l \times \\ &\times \cos(\omega_l t) - \ddot{x} \cos(\omega_l t) + \dot{x}\omega_l \sin(\omega_l t) + \\ &+ \dot{x}\omega_l \sin(\omega_l t) + x\omega_l^2 \cos(\omega_l t); \\ \ddot{x} - 2\omega_l \dot{y} - \omega_l^2 x &= -\frac{g}{l} x \\ \ddot{y} + 2\omega_l \dot{x} - \omega_l^2 y &= -\frac{g}{l} y \end{aligned} \right.$$

$$yd_{\ddot{\alpha}} = \frac{\omega_l^2 R l}{(g - \omega_l^2)}, \quad (1)$$

де ω_1 – кутова швидкість рівномірного обертання стріли крана навколо вертикальної осі OZ ; (x_2, y_2) – координати вантажу у нерухомій системі координат (інерційній); (x, y) – узагальнені координати вантажу (прямокутні); R – радіус обертання точки підвісу каната до стріли крана в горизонтальній площині відносно осі обертання.

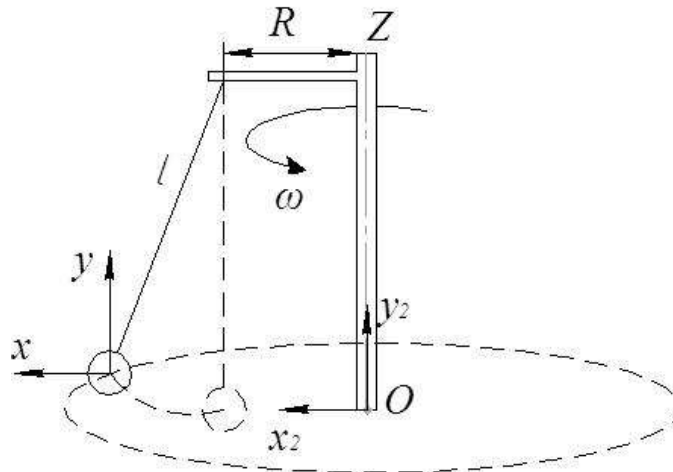


Рис. 1. Динамічна модель механізму повороту крана.

При чисельному аналізі на ПЕОМ системи (1) прийняті наступні початкові умови і значення вихідних параметрів [11]:

$$\omega_1 = 0,209 \text{ рад/с}; R=20 \text{ м}; l = 20 \text{ м};$$

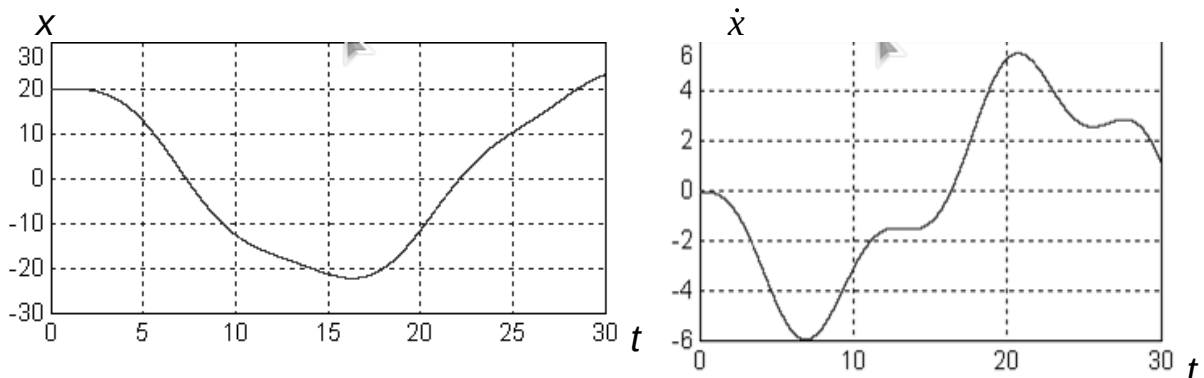
$$x|_{t=0} = 0; \dot{x}|_{t=0} = -\omega_1 R; \quad (2)$$

$$y|_{t=0} = -\frac{\omega_1^2 R l}{-\omega_1^2 l} = 0,0018 \text{ м}; \dot{y}|_{t=0} = 0.$$

У цьому випадку також виникає резонанс, але за умови:

$$g = \omega_1^2 l. \quad (3)$$

Побудуємо залежності $x(t)$, $y(t)$ та їх фазові портрети руху системи уздовж цих координат для значень параметрів (2) та відповідних початкових умов з урахуванням сил Коріоліса при постійній частоті обертання:



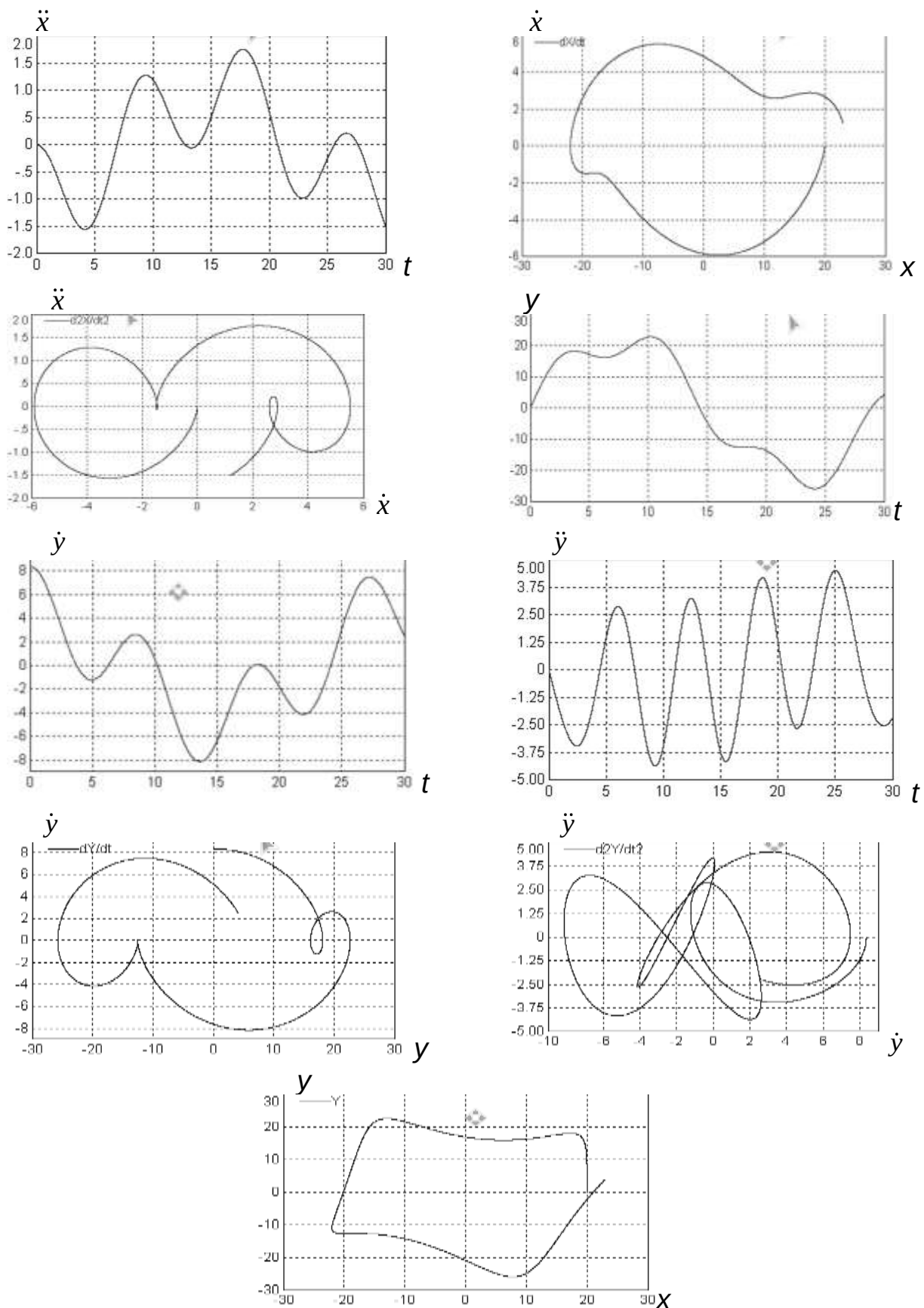


Рис. 2. Залежності $x(t)$, $y(t)$ та їх похідні по t до другого порядку включно, відповідні фазові портрети (у тому числі вищих порядків для обох координат), рівняння траєкторії $y(x)$.

Аналіз графіків на рис. 2 показує, що при даних значеннях параметрів (ω_1 , R , l) спостерігаються коливання вантажу у горизонтальній площині (x , y). Фазові портрети (x , $\dot{x}$), (y , $\dot{y}$), ($\dot{x}$, $\ddot{x}$), ($\dot{y}$, $\ddot{y}$) – мають вигляд замкнених ліній, що свідчить про циклічний рух системи.

Рівняння горизонтальних коливань вантажу на гнучкому підвісі при нерівномірному повороті стріли крана. При врахуванні залежності $\omega_1 = \omega_1(t)$ типу (4).

$$\omega(t) = \omega_0 \sin^2 \left(\frac{\pi}{2t_i} \right); \quad (4)$$

$$\omega_0 = 0,8 \text{ рад/с}, \quad 0 < t \leq t_i$$

і для $\dot{\omega}_l(t)$ типу (5)

$$\dot{\omega}(t) = \frac{\omega_0 \pi}{2t_i} \sin \left(\frac{\pi t}{t_i} \right), \quad 0 < t \leq t_i. \quad (5)$$

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 - \dot{\omega}_l(R + y_1) - 2\omega_l \dot{y}_1 - \omega_l^2 x_1 = -\frac{g}{l} x_1; \\ \ddot{y}_1 + \dot{\omega}_l x_1 + 2\omega_l \dot{x}_1 - \omega_l^2(R + y_1) = -\frac{g}{l} y_1, \end{cases} \quad (6)$$

де x_1 , y_1 – координати неінерційної системи при нерівномірній частоті обертання. Початкові умови для системи (6) наступні:

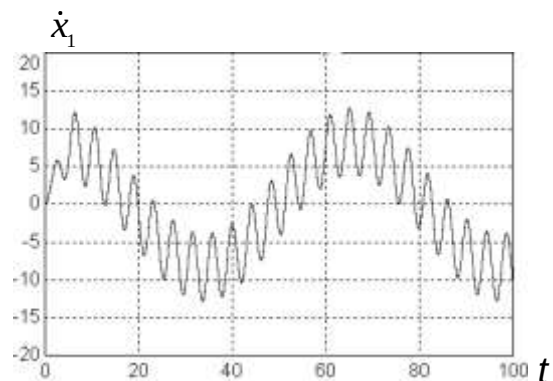
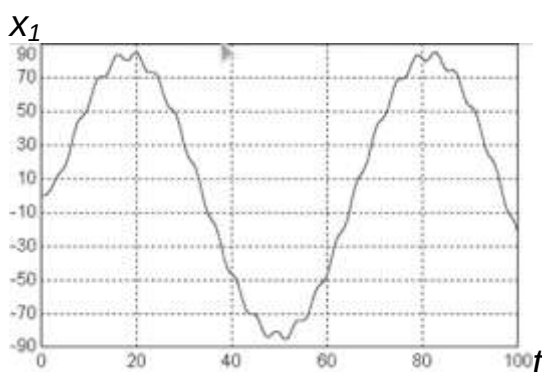
$$x_1|_{t=0} = 0; \quad \dot{x}_1|_{t=0} = 0; \quad y_1|_{t=0} = 0; \quad \dot{y}_1|_{t=0} = 0. \quad (7)$$

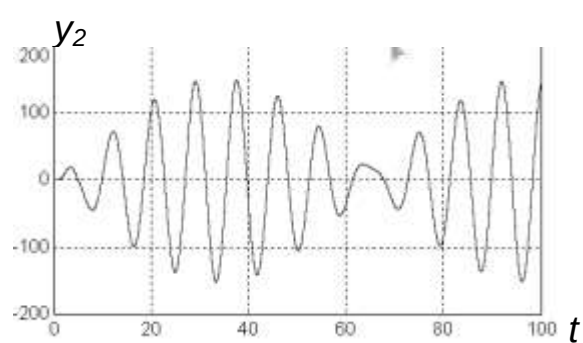
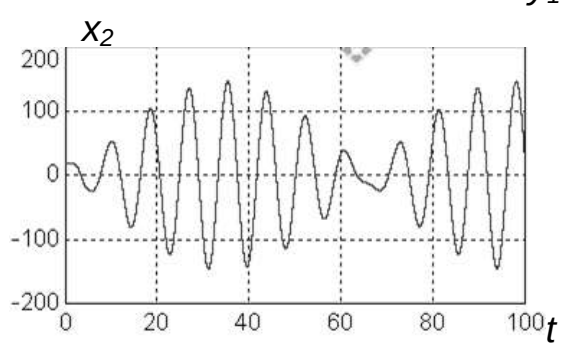
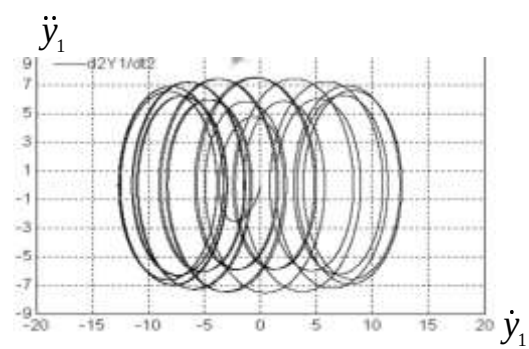
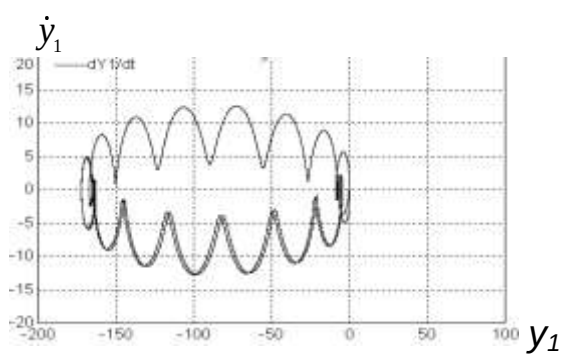
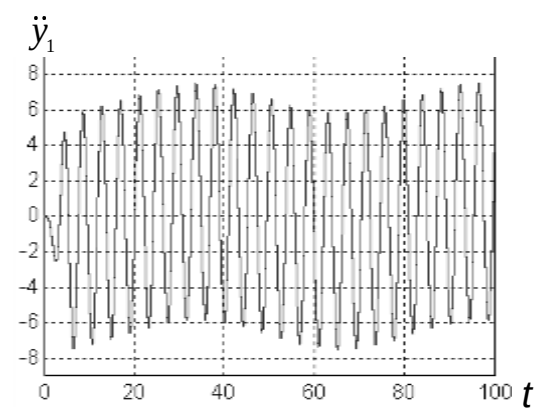
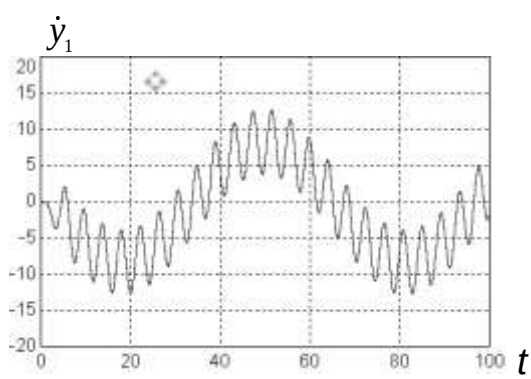
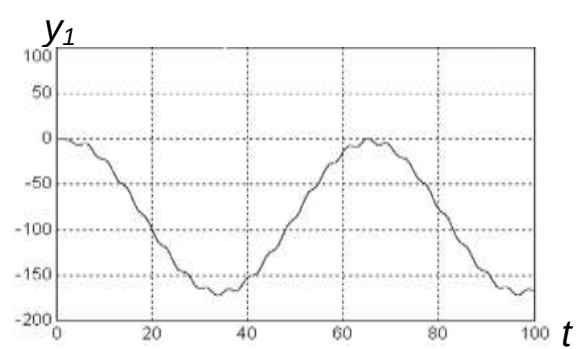
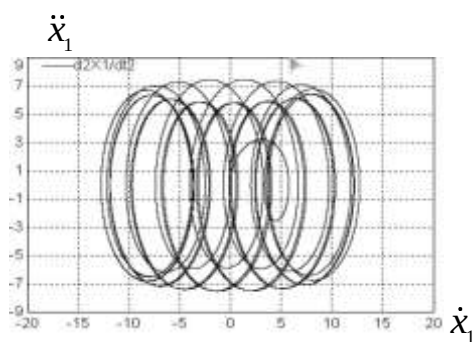
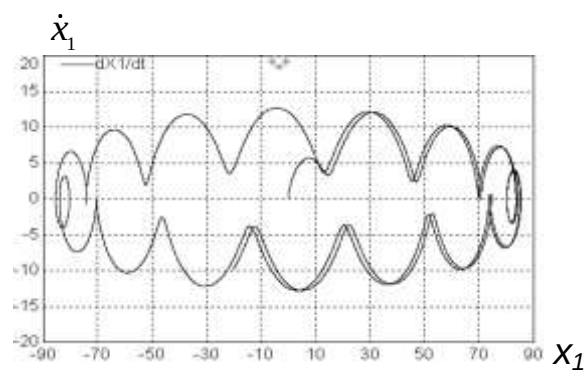
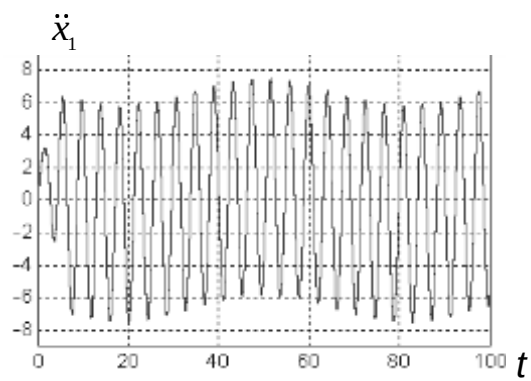
Після інтегрування на ПЕОМ (6) можна знайти вирази для координат вантажу в площині (x_2 , y_2) (в абсолютній системі координат):

$$\begin{cases} x_2(t) = (R + y_1) \cos(\omega_l t) + x_1 \sin(\omega_l t); \\ y_2(t) = (R + y_1) \sin(\omega_l t) - x_1 \cos(\omega_l t); \end{cases} \quad \omega = \omega_l(t); \quad x_1 = x_1(t); \quad y_1 = y_1(t), \quad (8)$$

а також рівняння траєкторії y_2 (x_2) вантажу.

Графіки на рис. 3 представлені для наступних умов: $\omega_0 = 0,8$ рад/с, $t_i = 5$ с, $l = 20$ м, $R = 20$ м.





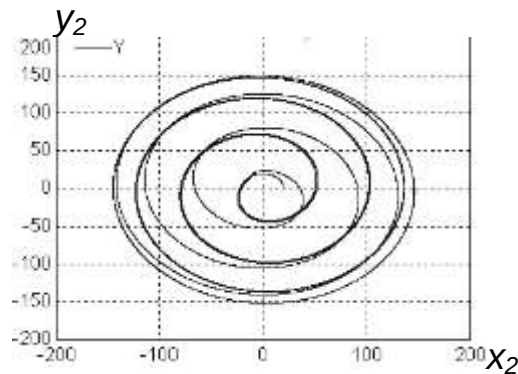


Рис. 3. Графіки залежностей $x_2(t)$, $y_2(t)$ і траєкторії руху вантажу $y_2(x_2)$ у горизонтальній площині (x_2, y_2) для заданих вище початкових умов (7) і параметрів (вихідних) досліджуваної системи «вантаж - гнучкий підвіс» (при змінній частоті обертання).

З рис. 3 видно, що закони руху $x(t)$, $y(t)$ носять коливальний (циклічний) характер (відповідні фазові портрети руху системи характеризуються замкнутими траєкторіями).

Висновки

1. Застосування рівнянь Лагранжа II роду і динамічної теореми Коріоліса дозволили отримати і чисельно проінтегрувати на ПЕОМ диференціальні рівняння (абсолютного/відносного) руху вантажу на гнучкому підвісі крана, який здійснює обертальні рухи із рівномірною/нерівномірною (залежної від t) кутовою швидкістю.

2. Отримані рішення рівнянь відносного (абсолютного) руху вантажу враховують вплив типових початкових умов задачі, а також мають «резонансні» властивості, які проявляють себе в сильному (по амплітуді) розгойдуванні вантажу, виході коливань з горизонтальної площини, коли частота обертання стріли крана збігається з власною частотою кутових коливань (математичного маятника) системи. Подібних ситуацій слід уникати в режимах реальної експлуатації крана, оскільки вони можуть привести до значного зниження надійності крана.

3. Результати даної роботи представляють собою основу для подальшого вивчення динаміки розгойдування вантажу на гнучкому підвісі, для побудови епюр внутрішніх силових факторів в несучих конструкціях його стріли, для аналізу статичних і динамічних характеристик автоматичних і ручних систем управління, а також для уточнення та вдосконалення інженерних методів розрахунку подібних систем, як на стадіях їх проектування/конструювання так і в режимах реальної експлуатації, які дозволять підвищити продуктивність і надійність роботи кранів з гнучким підвісом вантажу.

Список літератури

1. Кузьмин А.Н. Исследование колебаний груза на гибком подвесе при повороте крана / А.Н. Кузьмин, В.В. Суглобов, В.И. Федун // Захист металургійних машин від поломок. – Маріуполь: ПДТУ, 2011. – Вип. 13. – С. 141–147.
2. Маревич Е.В. Разработка оптимального управления движениями башенного крана / Е.В. Макаревич, В.Н. Шамардина, Ф. Палис, С. Палис // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Одеса: ОНПУ, 2011. – №3. – С. 170–171.
3. Герасимяк Р.П. Особливості керування електроприводом механізму вильоту стріли під час обертання крана з підвішеним вантажем / Р.П. Герасимяк, О.В. Найденко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Одеса: ОНПУ, 2007. – Вип. 68. – С. 11–15.
4. Зарецкий А.А. Управление и защита грузоподъемного крана с гашением раскачивания груза. Часть 1 / А.А. Зарецкий, Л.С. Каминский, Д.М. Маш, И.А. Пятницкий, И.Г. Фёдоров // Все краны. – Санкт-Петербург: ООО «Издательский дом «Кран - Сервис». – 2007. – №16/16 (декабрь). – С. 10–13.
5. Зарецкий А.А. Управление и защита грузоподъемного крана с гашением раскачивания груза. Часть 2 / А.А. Зарецкий, Л.С. Каминский, Д.М. Маш, И.А. Пятницкий, И.Г. Фёдоров // Все краны. – Санкт-Петербург: Издательский дом «Кран-Сервис». – 2008. – №01/17 (январь-февраль). – С. 8–12.
6. Дрёмов В.И. К вопросу о создании энергоэффективных отечественных мощных грузоподъемных средств для условий природно-техногенных катаклизмов / В.И. Дрёмов, В.Г. Ивахник, А.В. Ляхомский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ. – 2005. – №6. – С. 274–278.
7. Корытов М.С. О перемещении груза автокраном вдоль заданной траектории при ограничении количества одновременно управляемых координат / М.С. Корытов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: технические науки. – Самара: Сам ГТУ. – 2009. – №2 (24). – С. 105–112.
8. Голдобина Л.А. Теоретическое обоснование снижения раскачивания груза на канате строительного крана / Л.А. Голдобина, А.В. Власов, А.Л. Бочков // Технично-технологические проблемы сервиса. – Санкт-Петербург: СПбГУСЭ. – 2011. – Т. 2. – №16. – С. 52–60.
9. Подобед В.А. Теоретические исследования основных показателей работы порталного крана «Альбрехт» при динамическом воздействии ветра / В.А. Подобед // Вестник Мурманского государственного университета. – Мурманск: МГТУ. – 2006. – Т. 9. – №3. – С. 522–530.
10. Ловеїкін В.С. Нелінійні маятникові коливання вантажу на гнучкому підвісі при різних режимах обертання / В.С. Ловеїкін, А.А. Бойко, Ю.В. Човнюк // Вісник ТНТУ (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки). – 2010. – Т. 15. – №3. – С. 41–48.
11. Періг О.В. Горизонтальні коливання вантажу на тросі при рівномірному повороті стріли крана / О.В. Періг, О.М. Стадник, О.І. Дериглазов // Механіка та машинобудування. – 2012. – №1. – С. 33–40.
12. Смехов А.А. Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами / А.А. Смехов, Н.И. Ерофеев. – М.: Машиностроение, 1975. – 239 с.
13. Кузьмин А.Н. Уравнения движения груза на гибком подвесе при повороте крана / А.Н. Кузьмин, В.В. Суглобов, В.И. Федун, В.И. Тютюнников // Захист

металургійних машин від поломок. – Маріуполь: ПДТУ, 2012. – Вип. 14. – С. 168–173.

Обоснована физико-механическая модель, описывающая возможные типы движений грейфера, подвешенного на гибком подвесе, при поворотах крана. Для анализа кинематических и силовых характеристик указанных движений использован метод фазовых портретов (классического и более высоких порядков). Использование полученных моделей кранов для оптимального управления движением позволяет значительно повысить их производительность и надёжность.

Модель, движение, груз, гибкий подвес, поворот, грейфер.

Mechanical and physical models describing possible types of movements of grapple suspended on flexible suspension during process of crane's turning are proposed. One may use for analysis of kinematic and force characteristics of these movements method of phase portraits (classical and of higher order as well). Using the obtained models of cranes for optimal motion control can significantly improve their performance and reliability.

Models, movement, cargo, flexible suspension, turn, grapple.

УДК 631.372

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ РУШІЯ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА НА ПОКАЗНИКИ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ

**Г.В. Шкарівський, В.Г. Присяжний, С.П. Погорілий,
кандидати технічних наук**

Викладено результати експериментальних досліджень, які дозволили встановити, що при обладнанні колісних тракторів ХТЗ класу 3 шинами 15,5R38 щільність ґрунту становила 1,63...1,65 г/см³ в шарі 0-10 см, заміна шин 15,5R38 на шини 23,1R26 дозволила зменшити щільність на 6 %, заміна ж шин 15,5R38 на шини 66х43.00LR25 дозволила зменшити щільність на 7...13 %. Аналогічна динаміка отримана і в шарі 10-20 см, але з меншим приростом, а у шарах 20-30, 30-40 і 40-50 см показники щільності не суттєво відрізнялися від контролю.

© Г.В. Шкарівський, В.Г. Присяжний, С.П. Погорілий, 2014