

УДК 621.873

МОДИФІКАЦІЯ КОМПЛЕКСНОГО ОПТИМАЛЬНОГО ЗАКОНУ РУХУ СИСТЕМИ «ВІЗОК-ВАНТАЖ» БАШТОВОГО КРАНА

В. С. ЛОВЕЙКІН, д.т.н., проф.
Ю. О. РОМАСЕВИЧ, д.т.н., проф.;;
О. СТЕХНО, PhD,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E

-

Для проведення дослідження використаємо двомасову динамічну модель системи «візок-вантаж», яка представлена на рис. 1 [1].

a

i

l

:

1

o

v

v

s

@

u

k

r

n

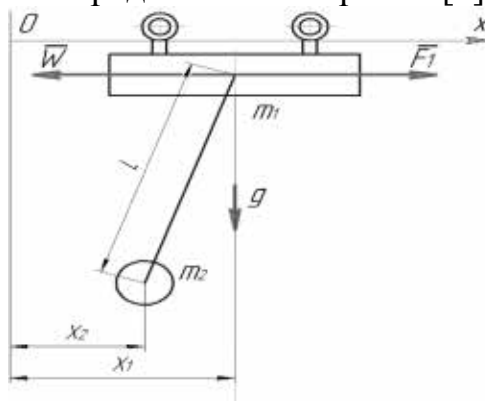


Рисунок 1. Динамічна модель системи «візок-вантаж»

Рух системи (рис. 1) в часі описується диференційними рівняннями [1]:

$$\begin{cases} m_1 \cdot \ddot{x}_1 + m_2 \cdot \ddot{x}_2 = F - W \cdot \text{sign}(\dot{x}_1); \\ \ddot{x}_2 + \frac{g}{L} \cdot (x_2 - x_1) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де m_1 – зведена маса вантажного візка з приводним механізмом; m_2 – зведена маса вантажу; x_1 та x_2 – узагальнені координати центрів мас візка та вантажу відповідно; g – пришвидшення вільного падіння; L – довжина гнучкого підвісу вантажу; F – рушійна сила приводу; W – сила статичного опору, яка протидіє руху вантажного візка [1].

У якості критерію оптимізації обрано інтегральний функціонал, який відображає середньоквадратичне значення швидкості зміни рушійного зусилля:

$$F_{C.K} = \left[t_1 \int_0^{t_1} \dot{F}_1^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

де t_1 – тривалість процесу пуску; \dot{F}_1 – швидкість зміни рушійного зусилля приводного механізму.

Умовою мінімуму функціоналу (2) є рівняння Ейлера-Пуассона, яке для наведеної системи має наступний вигляд [1]:

$$x_2(t) + 2 \cdot k^2 \cdot x_2(t) + k^4 \cdot x_2(t) = 0, \quad (3)$$

де $k = \sqrt{(1 + m_2/m_1) \cdot g/L}$ - частота власних маятникових коливань вантажу відносно точки його підвісу. Розв'язок рівняння (3) виконано за крайових умов [1]:

$$\begin{cases} t = 0: x_2 = 0, \dot{x}_2 = 0, \ddot{x}_2 = 0, \overset{V}{x}_2(0) + 2 \cdot k^2 \cdot \overset{V}{\ddot{x}}_2(0) = 0; \\ t = t_1: \dot{x}_2 = v_y, \ddot{x}_2 = 0, \overset{IX}{x}_2(t_1) + 2 \cdot k^2 \cdot \overset{VIII}{\ddot{x}}_2(t_1) + k^4 \cdot \overset{V}{x}_2(t_1) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Проаналізуємо отримані результати розв'язку рівняння (3) при умовах (4). Для цього знайдено, який описує динамічну складову рушійного зусилля на початку та у кінці керованого режиму руху системи [1]:

$$F_1(0) = F_1(t_1) = \left(6 \cdot k^3 \cdot L \cdot m_1 \cdot v_y \cdot (k \cdot t_1 \cdot (2 + \cos(k \cdot t_1)) - 3 \cdot \sin(k \cdot t_1)) \right) \times \left(g \cdot (12 \cdot (-2 + k^2 \cdot t_1^2) + 6 \cdot (4 + k^2 \cdot t_1^2) \cdot \cos(k \cdot t_1) + k \cdot t_1 \cdot (-6 + k^2 \cdot t_1^2) \cdot \sin(k \cdot t_1)) \right)^{-1}. \quad (5)$$

Аналіз отриманої аналітичної залежності (5) показує, що в моменти часу, коли $t = 0$ та $t = t_1$ функція F_1 терпить розриви першого роду, які призводять до виникнення небажаних динамічних навантажень коливального характеру на початку та в кінці пуску досліджуваної системи. Для зменшення таких динамічних навантажень у крайових умовах руху (4) зроблено наступні заміни:

$$\begin{cases} t = 0: x_2 = 0, \dot{x}_2 = 0, \ddot{x}_2 = 0, \overset{IV}{\ddot{x}}_2 = 0, \overset{IV}{x}_2 = 0; \\ t = t_1: \dot{x}_2 = v_y, \ddot{x}_2 = 0, \overset{IV}{\ddot{x}}_2 = 0, \overset{IV}{x}_2 = 0. \\ \overset{IX}{x}_2(t_1) + 2 \cdot k^2 \cdot \overset{VIII}{\ddot{x}}_2(t_1) + k^4 \cdot \overset{V}{x}_2(t_1) = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Назвемо оптимальний закон руху системи, що знайдений із використанням умов (4), оптимальним законом №1, а інший закон руху системи, що отримано із використанням умов (6), – оптимальним законом №2. Для цих законів руху побудовано графіки функцій рушійного зусилля [1]:

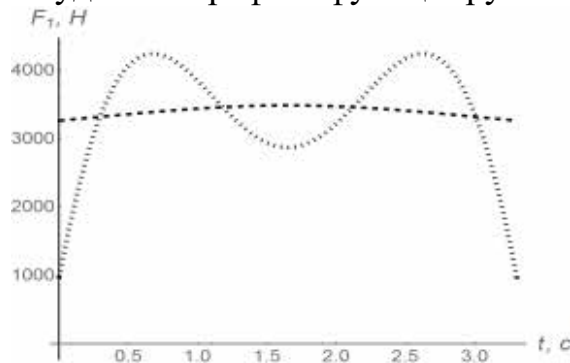


Рисунок 2. Графіки функцій рушійного зусилля для оптимальних законів руху №1 (пунктирна крива) та №2 (штрихова крива)

Аналіз графічних залежностей, які наведені на рис. 2, дає змогу зробити наступні висновки: рушійне зусилля, що відповідає оптимальному закону руху №2, характеризується значно меншими початковим та кінцевим значеннями, що забезпечує більш плавний розгін механізму до усталеної швидкості ніж при оптимальному законі №1. Однак максимальне значення рушійного зусилля, що відповідає оптимальному закону №2, є більшим порівняно з таким же

значенням для закону №1. Оскільки знайдені оптимальні закони руху мають протилежні властивості, то запропоновано виконати синтез оптимального закону руху системи, який би враховував їхні бажані властивості і був би позбавлений небажаних властивостей [1].

Для врахування бажаних властивостей отриманих оптимальних законів руху системи запропоновано комплексний оптимальний закон руху, який представлено в наступному вигляді [1]:

$$x_2^{КОМПЛ.} = \sigma \cdot x_2^{№1} + (1 - \sigma) \cdot x_2^{№2}, \quad (7)$$

де $x_2^{№1}$ і $x_2^{№2}$ - функції положення вантажу, які відповідають оптимальним законам №1 і №2 відповідно; σ - вагова функція, що визначає вагу оптимального закону №1, її отримано в результаті розв'язку триточкової крайової задачі [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \overset{VII}{\sigma}(t) = 0; \\ \sigma(0) = 0; \\ \sigma\left(\frac{t_1}{2}\right) = 1, \dot{\sigma}\left(\frac{t_1}{2}\right) = \ddot{\sigma}\left(\frac{t_1}{2}\right) = \overset{IV}{\sigma}\left(\frac{t_1}{2}\right) = 0; \\ \sigma(t_1) = 0. \end{array} \right. \quad (8)$$

Розв'язок крайової задачі (8) буде мати наперед задані бажані властивості. У моменти часу $t = 0$ і $t = t_1$ комплексний оптимальний закон руху буде відповідним закону №2. Це означає, що рушійне зусилля не буде мати розривів першого роду на початку і в кінці руху система буде мати плавний режим розгону. Рівність одиниці σ в момент часу $t = t_1/2$ означає, що комплексний закон руху буде відповідним оптимальному закону №1. Вищі похідні σ в момент часу $t = t_1/2$ забезпечують формування «пологої» функції розв'язку крайової задачі (8). Таким чином, досягається «поширення» бажаних характеристик закону №1 на проміжок часу, що передує моменту $t = t_1/2$ та на той же проміжок, що йде за ним.

Поглиблений аналіз параметрів досліджуваної системи дозволив встановити, що при певній тривалості розгону до усталеної швидкості, ($t_1 = 3.3$ с), величина максимального рушійного зусилля оптимального закону №1 є більшою за аналогічний показник оптимального закону №2, тобто $F_{№1}^{MAX} > F_{№2}^{MAX}$.

Для того, щоб комплексний оптимальний закон руху у процесі пуску системи використовував мінімальне значення рушійного зусилля, то його вагова функція σ , повинна описуватись за наступним виразом:

$$\sigma = \begin{cases} -\frac{4 \cdot (16 \cdot t^6 - 48 \cdot t^5 \cdot t_1 + 60 \cdot t^4 \cdot t_1^2 - 40 \cdot t^3 \cdot t_1^3 + 15 \cdot t^2 \cdot t_1^4 - 3 \cdot t \cdot t_1^5)}{t_1^6}, & \text{якщо } F_{№1}^{MAX} < F_{№2}^{MAX}; \\ 0, & \text{якщо } F_{№1}^{MAX} > F_{№2}^{MAX}. \end{cases} \quad (9)$$

У разі, якщо $F_{№1}^{MAX} > F_{№2}^{MAX}$, то пуск системи «візок-вантаж» буде відбуватись виключно за оптимальним законом №2.

Список використаних джерел

1. В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, О.В. Стехно, Д.І. Муштин. 2023. Наукове обґрунтування і розробка методів динамічного моделювання та режимно-параметричної оптимізації сучасних вантажопідійомних машин. Монографія. ЦП „КОМПРІНТ”. Київ. 458 с.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА АВТОМАТИКИ АПВ НААН
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



***ЗБІРНИК
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

***XII Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди
118-ї річниці від дня народження
доктора технічних наук, професора,
віцепрезидента УАСГН
КРАМАРОВА
Володимира Савовича
(1906-1987)***

«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»

***20-21 лютого 2025 року
м. Київ***

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL
SCIENCES OF UKRAINE
INSTITUTE OF MECHANICS AND AUTOMATICS OF
AGROINDUSTRIAL PRODUCTION OF THE NATIONAL
ACADEMY OF AGRARIAN SCIENCES OF UKRAINE
STATE BIOTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



PROCEEDINGS

*XII International Scientific and Technical Conference dedicated
to the 118th anniversary of the birth of
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Vice President of the UAAS
KRAMAROV
Volodymyr Savovych
(1906-1987)*

«KRAMAROV'S READINGS»

*February 20-21, 2025
Kyiv*

УДК 631.17+62-52-631.3

Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2025. 662 с.

Proceeding of the XII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 118th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President of the UAAS Kramarov Volodymyr Savovych (1906–1987), February 20–21, 2025, Kyiv / MES of Ukraine, National University of Life And Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv: Publishing center of NULES of Ukraine, 2025. 662 p.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів та студентів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок.

The Proceedings presents abstracts of reports of scientific and pedagogical workers, research staff, graduate students and students of the NULES of Ukraine, leading domestic and foreign higher educational institutions and scientific institutions, in which completed stages of development are considered.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ:

- Ткачук В. А.** – ректор НУБіП України, голова організаційного комітету;
Тонха О. Л. – проректор з наукової роботи та інноваційної діяльності НУБіП України, заступник голови організаційного комітету;
Ружило З. В. – декан факультету конструювання та дизайну НУБіП України, заступник голови організаційного комітету;
Мельник В. І. – доцент кафедри надійності техніки НУБіП України, секретар організаційного комітету;
- Члени організаційного комітету:**
Автухов А. К. – завідувач кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка ДБУ;
Адамчук В. В. – директор «ІМА АПВ НААН», академік НААН;
Альмейда А. – професор Політехнічного університету Браганси (Португальська Республіка);
Аулін В. В. – професор кафедри експлуатації та ремонту машин ЦНТУ;
Арак М. – директор Тартуського технічного коледжу м. Тарту (Естонська Республіка);
Банний О. О. – заступник декана факультету конструювання та дизайну НУБіП України;
Бєлоєв Х. – радник ректора Університету «Ангел Кънчев» в м. Русе, академік Болгарської АН (Республіка Болгарія);
Борак К. В. – заступник директора ЖАТФК;
Братішко В. В. – декан МТФ НУБіП України;
Будяй О. В. – директор ТОВ «Манн+Хуммель Фільтрейшн Текнолоджі Україна»;
Булгаков В. М. – завідувач кафедри механіки НУБіП України, академік НААН;
Василенко М. О. – завідувач відділу «ІМА АПВ НААН»;
Васильковський О. М. – завідувач кафедри сільсько-господарського машинобудування ЦНТУ;
Войтюк Д. Г. – професор кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки ім. акад. П.М. Василенка НУБіП України, член-кореспондент НААН;
Герук С. М. – завідувач кафедри агроінженерії ЖАТФК;
Джеонг Ілля – Голова представництва в Україні «HYUNDAI XITESOLUTION» (Республіка Корея);
Домейка Р. – декан відділення Агроінженірингу, Університету Вітаутаса Великого (Литовська Республіка);
Захарчук О. В. – завідувач відділу ННЦ «ІАЕ», член-кореспондент НААН;
Іванишин В. В. – ректор ЗВО «Подільський ДУ», академік НААН;
Ковалишин С. Й. – декан факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій ЛНУП;
Коренко М. – професор Інституту проєктування та інженерних технологій Словацького аграрного університету в м. Нітра (Словацька Республіка);

- Кувачов В. П.** – декан МТФ ТДАТУ імені Дмитра Моторного;
- Кульгавий В. Ф.** – генеральний директор ВГО «Українська асоціація аграрних інженерів»;
- Кюрчев С. В.** – ректор ТДАТУ імені Дмитра Моторного;
- Литовченко О. В.** – директор ВСП «Ніжинський ФК НУБіП України»;
- Ловейкін В. С.** – завідувач кафедри конструювання машин і обладнання НУБіП України;
- Лопатько К. Г.** – завідувач кафедри технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства НУБіП України;
- Лукач В. С.** – директор ВП «Ніжинський агротехнічний інститут» НУБіП України;
- Мельник В. І.** – провідний науковий співробітник відділу науково-технічної інформації НДЧ НУБіП України;
- Мельник В. І.** – професор кафедри оптимізації технологічних систем в рослинництві ДБУ;
- Надикто В. Т.** – професор ТДАТУ імені Дмитра Моторного, член-кореспондент НААН;
- Науменко О. А.** – професор кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка ДБУ;
- Новак Я.** – професор Університету природничих наук у Любліні (Республіка Польща);
- Новицький А. В.** – завідувач кафедри надійності техніки НУБіП України;
- Ольт Ю.** – професор Інженерного інституту Естонського університету наук про життя (Естонська Республіка);
- Паскуці С.** – професор Департаменту агроекологічних і територіальних наук (DISAAT) університету Альдо Моро в м. Барі (Італійська Республіка);
- Пилипака С. Ф.** – завідувач кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну НУБіП України;
- Полянський П. М.** – завідувач кафедри загальнотехнічних дисциплін МНАУ;
- Пона Лукреція** – науковий дослідник Національного інституту досліджень і розробок машин і установок для сільського господарства та харчової промисловості (Румунія);
- Продеус О. В.** – керівник відділу збуту Манн+Хуммель GmbH;
- Роговський І. Л.** – завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка НУБіП України;
- Ромасевич Ю. О.** – заступник декана факультету конструювання та дизайну НУБіП України;
- Ревенко Ю. І.** – доцент кафедри надійності техніки НУБіП України;
- Русінс А.** – директор Улброкського наукового центру Латвійського університету природничих наук і технологій (Латвійська Республіка);
- Саченко В. І.** – Голова Ради Асоціації «Укрмашибуд»;
- Савченко В. М.** – доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу ПНУ;
- Сайчук О. В.** – директор ХДФПК імені В. І. Вернадського;
- Сиволапов О. В.** – директор ТОВ «Індустрія техногруп»;

Тін Ю Чен - голова китайського офісу філії університету в Лінї (Китайська Народна Республіка);

Фіндура П. – проректор Словацького аграрного університету в м. Нітра (Словацька Республіка).

Шарибура А. О. – завідувач кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. О. Семковича ЛНУП;

Яковенко І. А. – завідувач кафедри будівництва НУБіП України.