

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ЛИМАР ПЕТРО ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.87

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РУХУ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН
НА СКЛАДАХ ЛІСОМАТЕРІАЛІВ

05.05.05 – піднімально-транспортні машини

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Ловейкін Вячеслав Сергійович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
завідувач кафедри конструювання машин
і обладнання

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Фідровська Наталія Миколаївна,
Українська інженерно-педагогічна академія,
професор кафедри металоріжучого обладнання
і транспортних систем

кандидат технічних наук, доцент
Паламарчук Дмитро Анатолійович,
Київський національний університет будівництва
і архітектури,
доцент кафедри основ професійного навчання

Захист відбудеться «03» березня 2016 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.06 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Генерала Родимцева, 19, навчальний корпус № 1, кімната 97

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розісланий «01» лютого 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

І. Л. Роговський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Технологічний процес сучасних лісових складів включає великий обсяг вантажно-розвантажувальних робіт, для виконання яких використовується різноманітне обладнання: крани різних конструкцій, самохідні навантажувачі та ін. Тільки в лісозаготівельному виробництві кожен кубометр лісоматеріалів завантажують, вивантажують і штабелюють від чотирьох до восьми разів. Незважаючи на різноманітність конструктивного виконання, до вантажно-розвантажувального обладнання висуваються загальні вимоги, обумовлені значною масою вантажів, їх габаритами і несиметричністю форми (пачки хлестів або дерев), а також необхідністю розміщення лісоматеріалів на значній площі (укладання хлестів або дерев в запас, а сортиментів в штабелі). Обсяг пачок лісоматеріалів, що доставляються на склад, 20–30 м³. Оскільки пачки вивантажують цілком, без розподілу їх на частини, то вантажопідйомність розвантажувального обладнання повинна бути близькою до 10–15 т. Робота кранів на складах лісоматеріалів характеризуються тим, що пачки хлестів або дерев не симетричні і відрізняються один від одного довжиною, збіжністю стовбурів, густотою крони і т. д. Внаслідок цього центр ваги у різних пачок розташований не однаково і колоди мають зміщений центр мас відносно захватного пристрою, тому при використанні одного вантажопідйомного каната зі стропами або захвату в одній точці може виникнути перекис пачки у вертикальній площині. Такі перекоси вантажу негативно впливають на процес перевантаження, оскільки викликають додаткові коливання, вантаж розгойдується та ускладнюється його переміщення. Для укладання лісоматеріалів на значній площі вантажно-розвантажувальні установки повинні переміщати вантажі як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках зі швидкостями, що забезпечують необхідну продуктивність. Необхідно також, щоб операції по захопленню, відчепленню і розвороту пачок були механізовані, оскільки виконання цих операцій вручну (за допомогою стропів) є небезпечним і трудомістким.

Пуск, зміна швидкості та гальмування привідного візка крана супроводжуються коливаннями вантажу закріпленого на гнучкому підвісі. Коливань вантажу необхідно уникати, оскільки вони ускладнюють позиціонування вантажу та передають навантаження на конструкцію крана.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана згідно з науково-дослідними тематиками кафедри конструювання машин і обладнання Національного університету біоресурсів і природокористування України: «Оптимізація режимів руху механізмів ПТМ, що використовуються при механізації виробничих процесів у тваринництві і рослинництві» (номер державної реєстрації 0105U007502); «Розробка енергоощадних засобів та методів оптимізації режимів руху вантажопідйомних машин у сільськогосподарському виробництві» (номер державної реєстрації 0109U000953); «Розробка концепції динамічної оптимізації транспортуючих машин» (номер державної реєстрації 0115U003351); «Обґрунтувати інтегровані технологічні процеси та технічні засоби для органічного виробництва сільськогосподарської продукції в агроєкосистемах» (номер державної реєстрації 0112U001678).

Мета і задачі досліджень. Метою дослідження є підвищення ефективності роботи механізмів вантажопідйомних машин при перевантаженні лісоматеріалів за рахунок оптимізації перехідних режимів руху приводних механізмів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- виконати аналіз існуючих досліджень динаміки переміщення кранового візка із вантажем на гнучкому підвісі та механізму замикання гідравлічного грейфера;
- побудувати моделі динаміки руху кранового візка із вантажем на гнучкому підвісі зі зміщеним центром мас відносно захвату;
- проаналізувати динаміку руху та оптимізувати перехідні процеси кранового візка із вантажем на гнучкому підвісі зі зміщеним центром мас;
- оптимізувати режим замикання щелеп грейферного захвату при захопленні колод;
- розробити фізичну модель кранового візка з вантажем на гнучкому підвісі зі зміщеним центром мас відносно захвату і гідравлічного грейфера та експериментально в лабораторних умовах дослідити визначені оптимальні та реальні режими руху;
- на основі проведених досліджень запропонувати функціональну схему керування рухом кранового візка і приводу гідрозахвата для колод.

Об'єкт дослідження – процеси переміщення кранового візка з вантажем на гнучкому підвісі зі зміщеним відносно захвата центром мас і захоплення грейферним механізмом круглих лісоматеріалів.

Предмет дослідження – встановлення впливу оптимізації режимів руху кранового візка із вантажем на гнучкому підвісі зі зміщеним центром мас і щелеп грейферного захвата на ефективність їхньої роботи.

Методи дослідження. При виконанні досліджень були використані методи теоретичної та аналітичної механіки, теорії механізмів і машин, варіаційного, диференціального та інтегрального числення, методи математичного моделювання та статистики. Розв'язування задач оптимального керування рухом механізмів переміщення візка та замикання щелеп грейфера проведено із використанням класичного варіаційного числення та прямих варіаційних методів. Теоретичні розрахунки проводились за допомогою програми Mathematica. Експериментальні дослідження проводились на моделі крана та гідрозахвату, які знаходяться в лабораторії динаміки машин кафедри конструювання машин і обладнання Національного університету біоресурсів і природокористування України при використанні сертифікованого обладнання.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

уперше:

- розроблено математичну модель динаміки руху кранового візка з довгомірними колодами зі зміщеним центром мас, яка дозволила визначити динамічні навантаження в елементах конструкції крана і приводного механізму;
- обґрунтовано заміну моделі кранового візка з довгомірними колодами на модель рухомого подвійного математичного маятника, що дозволило значно спростити оптимізацію режимів руху зі збереженням точності розрахунків;

- на основі комплексного критерію, який враховує дію динамічних навантажень і відхилення вантажного каната від вертикалі оптимізовано процес переміщення візка крана з довгомірними колодами, що дозволило значно зменшити динамічні навантаження в елементах конструкції крана та приводу і, як наслідок, підвищити ефективність роботи крана в цілому;

- оптимізовано режим руху приводу гідрозахвата для колод, який забезпечує плавну зміну тиску в гідросистемі та мінімізацію потужності приводного механізму;

удосконалено:

- методику визначення динамічних навантажень в елементах кранового візка;

- обґрунтовано і експериментально підтверджено доцільність використання керованого руху кранового візка з гнучким підвісом вантажу зі зміщеним центром мас відносно захвату.

Практичне значення одержаних результатів. За результатами досліджень:

- розроблено нові конструкції грейферних захватів, що дають змогу зменшити енергетичні витрати та навантаження на механізм замикання щелеп, які захищені 6 патентами на корисні моделі;

- розроблено оптимальні режими руху кранового візка з вантажем та гідрозахвата, які дозволяють зменшити динамічні зусилля в приводі візка, усунути коливання вантажу та мінімізувати потужність гідрозахвата;

- розроблено програмне забезпечення «Оптимальне керування ВПМ», що дозволяє реалізовувати оптимальні закони руху візка та гідрозахвата.

Результати досліджень передано до впровадження у ТОВ «Червона волока», ТОВ «Нива», ПП «Велідницьке» та використовуються у навчальному процесі Національного університету біоресурсів і природокористування України при викладанні дисципліни «Динаміка і оптимізація машин».

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи виконані здобувачем особисто, зокрема: обґрунтовано актуальність теми дисертації та проаналізовано зміст попередніх досліджень за обраною темою, встановлено невирішені в цьому напрямі завдання [9]; проведено аналіз динаміки руху крана з вантажем та побудовано відповідні математичні моделі [4, 5, 24, 25]; обрано метод оптимізації та визначено оптимальні закони руху механізмів переміщення візка з вантажем, що усувають коливання вантажу при перехідних режимах та гідрозахвата, що мінімізують навантаження на механізм приводу щелеп [1, 3, 7, 8]; обґрунтовано адекватність заміни розрахункової схеми крана з вантажем на модель рухомого подвійного математичного маятника [28]; для проведених експериментальних досліджень розроблено систему керування та збору даних, підібрано вимірювально-реєструюче обладнання [27]; проведено експериментальні дослідження, що підтверджують адекватність теоретичних розрахунків [26].

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження доповідались і отримали позитивну оцінку на: Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні тенденції та перспективи розвитку

збалансованого природокористування в агропромисловому виробництві» (м. Ніжин, 2015 р.); XVI Міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (м. Київ, 2015 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (м. Тернопіль 2015 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Буд-Майстер-Клас – 2015» (м. Київ, 2015 р.); XXI Міжнародній науково-технічній конференції «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» (сmt Глеваха, 2013 р.); 72-й науково-практичній конференції Київського національного університету будівництва і архітектури (м. Київ 2011 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Еколого-ресурсосберегающие технологии и системы в лесном и сельском хозяйстве» (м. Вороніж, 2014 р.); науково-практичній конференції «Високі технології в аграрному виробництві» (м. Київ, 2013 р.); 14-й спеціалізованій виставці-ярмарку «Україна аграрна – 2014» (м. Київ, 2014 р.); виставці-ярмарку «Овочі та фрукти – 2013» (м. Київ, 2013 р.); 9 Міжнародній агропромисловій виставці «ІнтерАгро» (м. Київ, 2013 р.); Міжнародній виставці проектування, будівельних технологій, машин, обладнання і будівельних матеріалів «Проектування, будівництво, ремонт 2014» (м. Київ, 2014 р.); Національній агропромисловій виставці «AgroExpo» (м. Кіровоград, 2015 р.); VIII Міжнародній виставці «LabComplex» (м. Київ, 2015 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи викладено у 28 опублікованих працях, із яких 9 статей у наукових фахових виданнях України, стаття у науковому виданні іншої держави, 7 патентів України на корисну модель, 11 тез наукових доповідей.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків та списку використаних джерел. Основна частина роботи складає 155 сторінок, на 17 сторінках наведено список використаних джерел, на 15 сторінках викладено додатки. Текст містить 11 таблиць 64 рисунків. До списку використаних джерел увійшло 156 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «**Стан питання та завдання досліджень**» проведено аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень механізмів переміщення вантажу консольно-козловими кранами, наведено класифікацію задач оптимального керування рухом кранових механізмів, виконано оглядовий аналіз робіт, що присвячені питанням керування приводами кранових механізмів.

Питанням динамічних розрахунків механізмів кранів присвячені роботи: Д. П. Волкова, М. М. Гохберга, В. Ф. Гайдамаки, Б. С. Ковальського, В. Ф. Сиротського, С. А. Казака, М. С. Комарова, М. А. Лобова, О. В. Григорова, Л. Я. Будікова, А. П. Нестерова, В. С. Ловейкіна, В. Ф. Семенюка, Н. М. Фідровської, М. Шеффлера, Х. Дресига, Ф. Курта, та ін. Розрахункам оптимальних режимів руху механізмів вантажопідйомних машин присвячені роботи: М. М. Перельмутера, Я. Л. Геронімуса, Л. М. Полякова, А. О. Смехова, М. І. Єрофєєва, О. М. Орлова, О. В. Григорова, В. С. Ловейкіна,

Л. Я. Будікова, Р. П. Герасимьяка, В. П. Свиргуна, Ф. Л. Черноуська, Л. Д. Акуленка, Б. Н. Соколова, Ю. І. Зайцева, П. О. Коваленка, Ш. Базила, В. В. Бушера, А. П. Нестерова, Ю. О. Ромасевича, Ю. В. Човнюка, Д. А. Паламарчука, Н.-В. Kuntze, М. А. Ahmad, Y. Yoshida та інших. Для розв'язку задач оптимального керування механізмами вантажопідйомних машин цими вченими використані: методи варіаційного числення, принцип максимуму, динамічне програмування, метод моментів та наближені варіаційні методи.

На сьогоднішній день вивченість методів підвищення ефективності роботи вантажопідйомних кранів, що працюють на складах лісоматеріалів та гідрозахватів для колод є недостатньою. Вирішення вказаних питань передбачає оптимізацію режимів руху механізмів вантажопідйомних кранів. Вирішенню цієї актуальної науково-прикладної проблеми присвячена дисертаційна робота.

У другому розділі «Аналіз динамічних навантажень механізмів для перевантаження деревини» проведено динамічний аналіз руху механізму переміщення візка із вантажем на гнучкому підвісі, який має зміщений центр мас відносно захвату та аналіз руху грейферного гідрозахвата для колод. Для проведення досліджень запропоновано розрахункову (динамічну) модель «візок-захват-вантаж», яка зображена на рис. 1.

Динамічна модель представлена у вигляді плоскої механічної системи з трьома ступенями вільності. За узагальнені координати вибрано лінійну координату центра мас візка x та кутові координати відхилення вантажного каната від вертикалі ψ і повздовжньої осі вантажу φ .

При побудові тримасової системи «візок-захватний пристрій-вантаж» нехтуємо тими факторами, які не суттєво впливають на дане дослідження та розрахунок, а саме: деформацією підвісу та тертям в точці підвісу; вважаємо, що всі елементи кранового візка рухаються у вертикальній площині; усі елементи візка є абсолютно твердими тілами, окрім захвату, який має пружний зв'язок з вантажем.

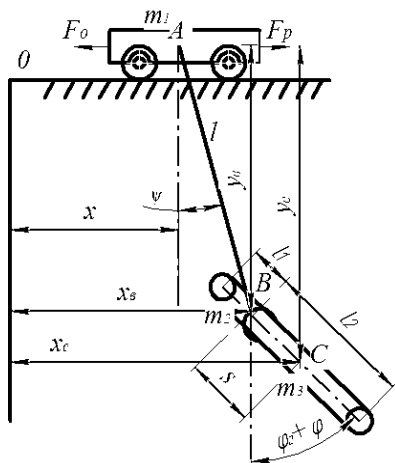


Рис. 1. Розрахункова модель тримасової системи «візок-захват-вантаж»

На рис. 1 прийнято такі позначення: m_1 – маса візка разом з приведеною масою приводного механізму; m_2 – маса захватного пристрою; m_3 – маса пачки деревини; s – зміщення центра мас деревини відносно вісі захвату; l – довжина гнучкого підвісу захватного пристрою; F_p – рушійне зусилля, що діє на візок; F_0 – сила опору переміщення візка; l_1, l_2 – відстані від точки захоплення до краю колод; x_b, y_b – лінійні координати центра мас захвату; x_c, y_c – лінійні координати центра мас вантажу; φ_0 – початкове положення кутової координати відхилення вісі вантажу.

На основі представленої динамічної моделі за допомогою рівнянь Лагранжа другого роду побудовано математичну модель:

$$\begin{cases} (m_1 + m_2 + m_3)\ddot{x} + (m_2 + m_3)l\ddot{\psi} + m_3s\ddot{\varphi}(\cos\varphi_0 - \varphi\sin\varphi_0) - m_3s\dot{\varphi}^2\sin\varphi_0 = 2Mu\frac{\eta}{D} - F_o; \\ (m_2 + m_3)\ddot{x} + (m_2 + m_3)l\ddot{\psi} + m_3s\ddot{\varphi}(\cos\varphi_0 - \varphi\sin\varphi_0) - m_3s\dot{\varphi}^2\sin\varphi_0 = -(m_2 + m_3)g\psi; \\ m_3s((\ddot{x} + \ddot{\psi}l + \ddot{\varphi}s(\cos\varphi_0 - \varphi\sin\varphi_0) - \dot{\varphi}^2\sin\varphi_0)(\cos\varphi_0 - \varphi\sin\varphi_0) - \\ - \dot{\varphi}(\dot{x} + \dot{\psi}l + \dot{\varphi}s(\cos\varphi_0 - \varphi\sin\varphi_0))\sin\varphi_0) + J_c\ddot{\varphi} = -m_3gs\sin\varphi_0 - (m_3gs\cos\varphi_0 - c)\varphi, \end{cases} \quad (1)$$

де M – рушійний момент приводного двигуна, який для асинхронного електродвигуна визначається за формулою Клосса; u – передаточне число приводного механізму; η – к. к. д. приводного механізму; D – діаметр приводного колеса візка; g – прискорення вільного падіння; J_c – момент інерції пакету деревини відносно осі повороту; c – коефіцієнт жорсткості захвату з колодами. Отримані рівняння є системою трьох нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку, які необхідно розв’язати чисельними методами.

Оскільки рівняння (1) є досить складними для вирішення оптимізаційної задачі, тому динамічну модель зображену на рис. 1 представлено у вигляді рухомого подвійного математичного маятника (рис. 2). У цій моделі за узагальнені координати прийнято лінійні координати центрів мас x_1 , x_2 , x_3 відповідно візка, захвату і вантажу.

Модель подвійного математичного маятника описується відомими диференціальними рівняннями, в яких враховано коефіцієнт жорсткості c вантажу з захватом:

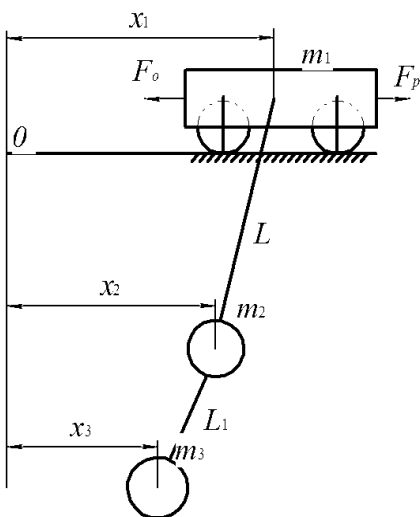


Рис. 2. Розрахункова динамічна модель

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}_1 + m_2\frac{g}{L}(x_1 - x_2) = 2Mu\frac{\eta}{D} - F_o; \\ m_2\ddot{x}_2 - m_2\frac{g}{L}(x_1 - x_2) + \left(m_3\frac{g}{L_1} + c\right)(x_2 - (x_3 - x_0)) = 0; \\ m_3\ddot{x}_3 - \left(m_3\frac{g}{L_1} + c\right)(x_2 - (x_3 - x_0)) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Тут m_1 , m_2 , m_3 – маси візка, захватного пристрою і вантажу відповідно; L , L_1 – розрахункові довжини ланок математичного маятника, які відповідають періоду коливань реальної конструкції.

В системі (2) величини L і L_1 визначаються залежностями:

$$L = \frac{J_{BC}}{(m_1 + m_2)l}; \quad L_1 = \frac{J_c}{m_3s}, \quad (3)$$

де J_{BC} – момент інерції захвата з вантажем відносно точки кріплення гнучкого підвісу; J_c – момент інерції вантажу відносно точки його захоплення; s – відстань від точки захоплення вантажу до його центра мас.

Для розв’язання систем диференціальних рівнянь (1) та (2), які описують рух системи «крановий візок-захват-вантаж» і подвійного математичного

маятника використано чисельні методи розрахунку. Для кранового візка з параметрами: $m_1=1600$ кг; $m_2=4000$ кг; $m_3=6000$ кг; $l=8$ м; $s=1$ м; $\varphi_0=0,174$; $F_0=2976$ Н; $c=294000$ Н·м/рад; $u=29$; $D=0.55$ м; $\eta=0,8$; $g=9,8$ м/с²; $J_c=13906$ кг·м²; $J_{BC}=213333$ кг·м². Побудовано графіки кінематичних та динамічних характеристик руху (рис. 3–6).

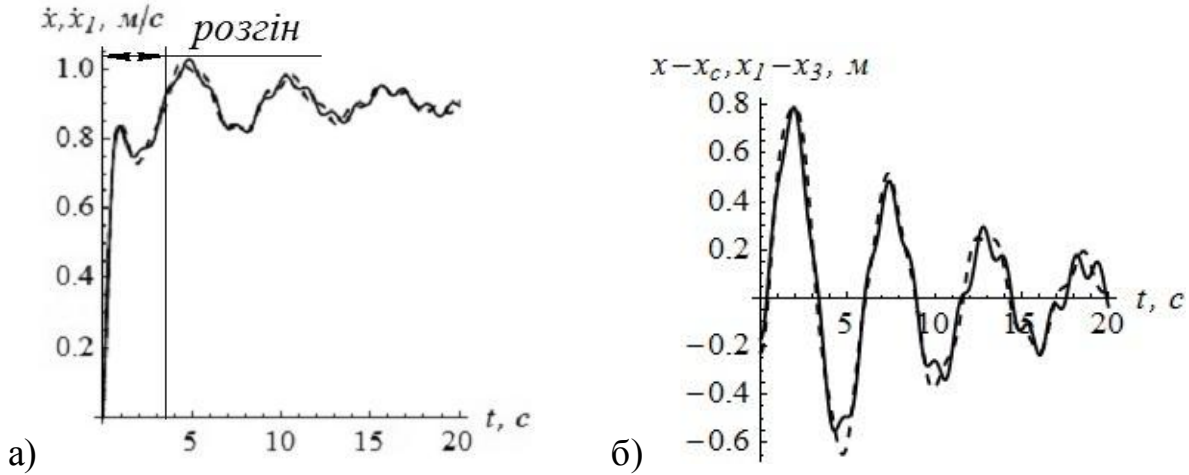


Рис. 3. Графіки функцій швидкості візка (а) та відхилення вантажу від вертикалі візка (б)

Кутові відхилення каната для моделі подвійного математичного маятника виражено з системи (2) $\psi_m = \arccos((x_2 - x_1)/l)$.

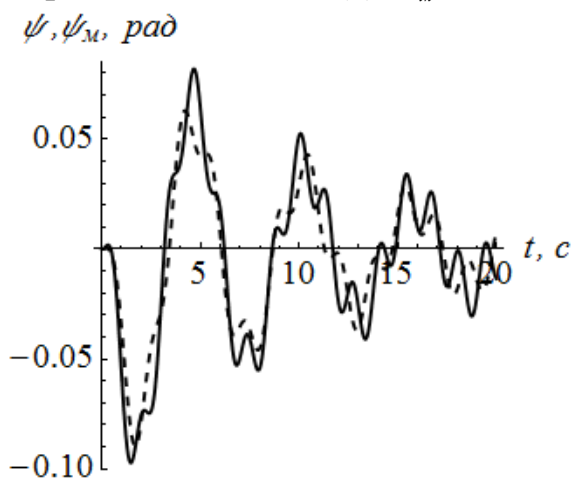


Рис. 4. Графік кутового відхилення вантажного канату

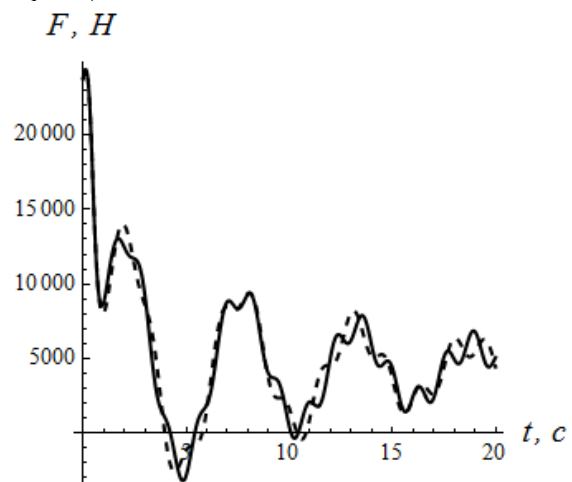


Рис. 5. Графік зміни приводного зусилля, що діє на візок

На рис. 3–5 суцільною лінією позначено графіки для тримасової системи «візок-захват-вантаж», а пунктиром – для моделі рухомого подвійного математичного маятника. З графіку (рис. 3, а) видно, що швидкість візка отримана з математичної моделі для рухомого подвійного математичного маятника практично аналогічна швидкості математичної моделі руху крана зі зміщеним центром мас вантажу відносно захватного пристрою з максимальним відхиленням 0,05 м/с. На рис. 3, б – 5 спостерігаються незначні відхилення, а найбільші відхилення на рис. 4 і становлять до 18 %, проте період коливань співпадає для обох моделей. Отже, для подальших розрахунків оптимальних

режимів руху доцільно використовувати розрахункову модель для рухомого подвійного математичного маятника.

Оскільки пакет колод має досить значну вагу і центр їх мас не співпадає з центром мас захвата, то в процесі роботи виникає крутний момент навколо точки захоплення, який визначається залежністю: $M_k = c \cdot \varphi$, де c – коефіцієнт жорсткості захвату з колодами; φ – кутлова координата повороту колод.

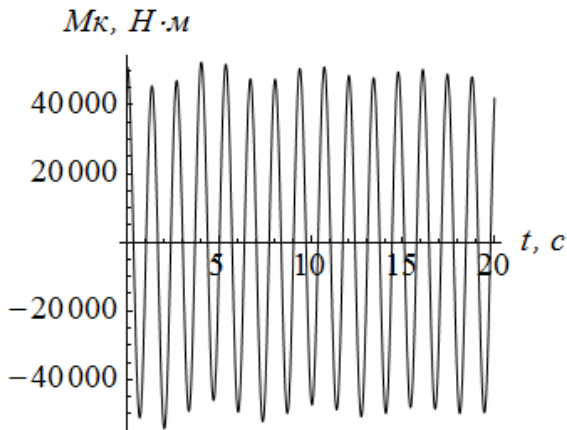


Рис. 6. Графік зміни моменту сили пачки колод відносно захвата

усталеному русі воно не перевищує 8000 Н. Коливання центра мас вантажу відносно вертикалі візка зберігаються на визначеному проміжку часу, що видно з рис. 3, б. Коливання центра мас вантажу мають циклічний характер. Аналогічний характер має і зміна моменту сили пачки колод відносно захвата (рис. 6).

Проведено аналіз зміни приводного зусилля, що діє на візок в процесі пуску двигуна (рис. 5), з якого видно, що найбільше зусилля спостерігається у момент пуску приводного електродвигуна. Це супроводжується ударами у кінематичних зачепленнях приводу візка і надає візку різкого прискорення, що може призвести до руйнування його деталей. Крім того, видно, що на деяких ділянках зусилля набуває від'ємних значень, що свідчить про перехід двигуна у режим гальмування. Коливання тягового зусилля візка спостерігаються на всьому проміжку руху.

Враховуючи вищесказане, можна зробити висновок, що для зменшення динамічних навантажень і коливань в системі необхідно керувати режимом пуску приводного двигуна, тобто знайти такі оптимальні закони руху приводу, при яких небажані явища були б мінімальними.

Для визначення динамічних характеристик гідрозахвата (рис. 7) побудовано розрахункову модель. Оскільки захват симетричної структури, то сили, що діють на захват грейфера, розглянуто лише для однієї щелепи. Опір розподілений на зовнішній стороні щелепи приймається дискретним і, як правило, не відповідає запропонованій моделі та варіюється залежно від способу захоплення.

Для процесу пуску кранового візка на природній механічній характеристиці середньоквадратичне тягове зусилля складає 13080 Н.

Аналізуючи графіки (рис. 3–6) системи «візок-захват-вантаж» видно, що візок розганяється протягом 3,5 с і виходить на усталену швидкість, також досить різко зростає прискорення, яке через гнучкий підвіс передає коливання на захват з вантажем. Максимальне значення зусилля при розгоні, що діє на візок, становить 23952 Н, а при

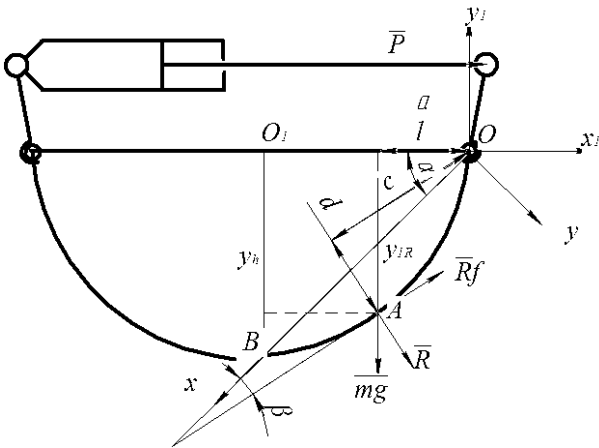


Рис. 7. Схема дії сил опору захоплення

На рис. 7 відображені системи координат: x_1oy_1 – нерухома і xoy – рухома система координат, що визначають положення щелеп. Точку дії результуючої сили \bar{R} на щелепу визначено на основі розподілу сил опору захоплення.

Момент усіх сил відносно точки O для грейфера на її рівноважний стан виражений як:

$$M_0(\alpha) = \frac{mg \cos(\alpha - \beta)}{2} \cdot l(\alpha) \sin(\beta(\alpha) - \alpha) - \cos(\beta(\alpha) - \alpha) \sin \alpha y_{IR}(\alpha) f + \frac{mgl(\alpha)}{2}, \quad (4)$$

де m – маса колод; g – прискорення вільного падіння; α – кутова координата повороту щелепи; β – кут між віссю x і дотичною до щелепи в точці A прикладання рівнодійної сили R ; l – довжина плеча сили mg в точці A , залежно від кута повороту щелепи; y_{IR} – вертикальна відстань від точки дії результуючої сили R до рами гідрозахвата; f – коефіцієнт тертя між колодами і щелепами грейфера.

Отриманий вираз (4) є нелінійним відносно α , тому для проведення подальших розрахунків використаємо апроксимаційний поліном: для $m=200\text{кг}$

$$M_{анр} = \alpha(413.794 + \alpha(-1307.13 + (1235.63 - 300.342\alpha)\alpha)). \quad (5)$$

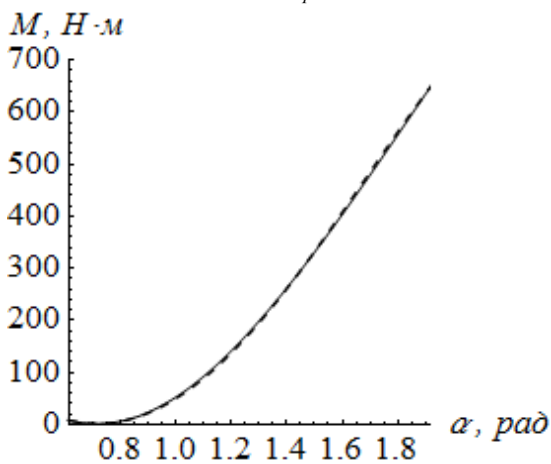


Рис. 8. Графік моменту, що діє на щелепу

Побудовано графіки за залежностями (4) і (5) (рис. 8), з яких видно, що отримані залежності є рівнозначними. На рис. 8 суцільною лінією позначено фактичне значення моменту, а пунктирною – апроксимоване.

Як видно з рис. 8, графік апроксимованого значення моменту і графік моменту сил, що діють на щелепу гідрозахвата практично співпадають, тому надалі використаємо знайдений апроксимаційний поліном для оптимізації.

У третьому розділі «**Оптимізація режимів руху системи «візок-захват-вантаж» та механізму захоплення колод**» знайдено умови руху механізмів, за якими зменшується динамічне навантаження, що діє на візок, усуваються коливання та мінімізується середня потужність гідрозахвата.

В оптимізаційних дослідженнях використано комплексний інтегральний критерій, в якому динамічна складова врахована ваговим коефіцієнтом σ_1 , і дає змогу мінімізувати динамічні навантаження у механізмі приводу візка, а

кінематична складова враховується коефіцієнтом σ_2 , і відображає відхилення зосередженої маси колод від вертикалі візка:

$$I = \int_0^T \left(\frac{(m_1 \ddot{x}_1 + m_2 \frac{g}{L} (x_1 - x_2))^2}{F_m^2} \sigma_1 + \frac{(x_1 - x_3)^2}{x_m^2} \sigma_2 \right) dt \rightarrow \min, \quad (6)$$

де F_m – мінімально можливе значення приводного зусилля; x_m – мінімально можливе значення відхилення вантажу від вертикалі.

Оскільки критерій (6) відображає небажані явища, тому його необхідно мінімізувати. Умовою мінімуму критерію (6) є рівняння Пуассона, які для даного випадку дають нелінійні диференціальні рівняння, які не вдається проінтегрувати аналітично. Тому для оптимізації режиму руху тримасової системи за обраним комплексним критерієм використано прямий варіаційний метод. В результаті наближеного розв'язку варіаційної задачі отримано кінематичні та динамічні характеристики руху візка, які представлені у вигляді графіків (рис. 9).

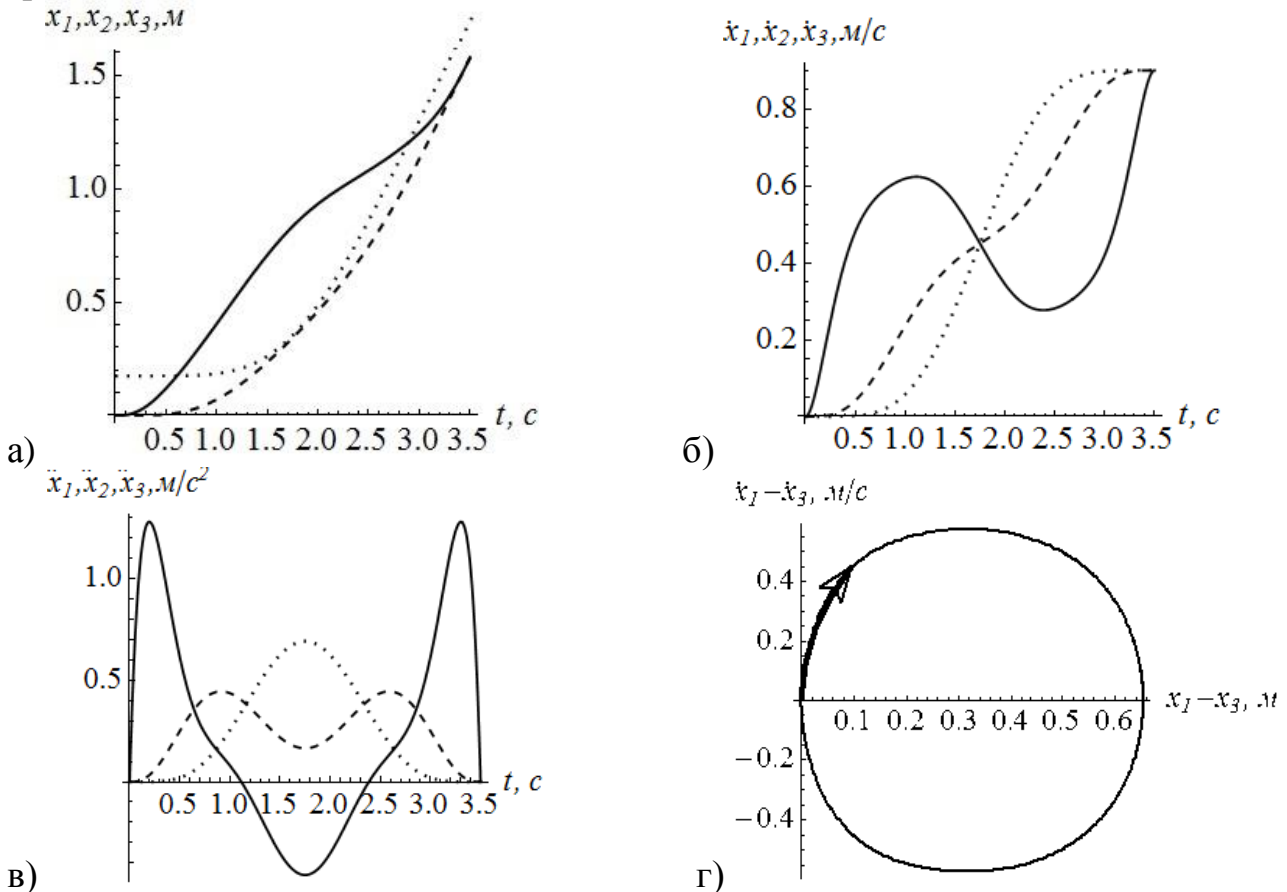


Рис. 9. Графіки функцій (а) переміщення, (б) швидкості, (в) прискорення візка: — , захвата – --- , вантажу – ···· і (г) фазовий портрет руху візка.

Також побудовано графік приводного зусилля візка за оптимальним режимом руху (рис. 10).

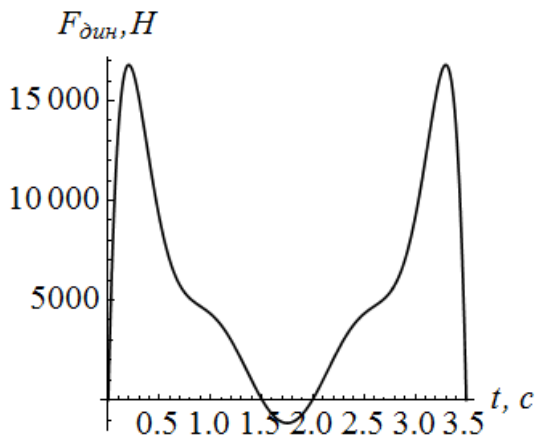


Рис. 10. Приводне зусилля, що діє на візок

від вертикалі візка становить 0,65 м, а різниця їх швидкостей 0,55 м/с, виходячи на усталений рух ці показники повертаються в нульову точку. Як видно з графіку приводного зусилля візка, динамічне зусилля на початку і в кінці руху дорівнює нулю, що також вказує на відсутність коливань. Середньоквадратичне його значення становить 7961 Н, що на 40 % менше ніж при неоптимальному режимі пуску кранового візка.

Оптимальний динамічний режим руху щелеп грейферного захвата з урахуванням вантажу, центр мас якого рухається вздовж внутрішньої поверхні щелепи може бути отриманий в результаті мінімізації інтегрального функціонала, який відображає середню потужність за час руху, що витрачається на захоплення вантажу. Розв'язавши таку оптимізаційну задачу прямим варіаційним методом, отримано графічні залежності кінематичних характеристик ланок гідрозахвата (рис. 11).

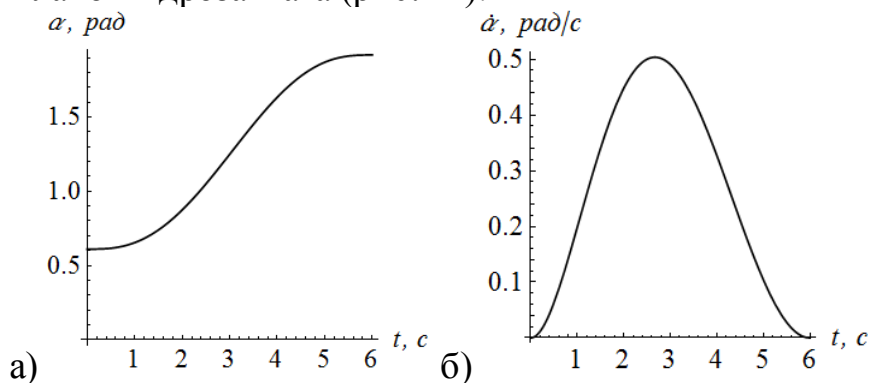


Рис. 11. Графіки функцій кутової координати повороту щелепи (а) та її швидкості (б)

З отриманих графіків видно, що оптимальний динамічний режим руху щелепи забезпечує плавну зміну швидкості та прискорення на всьому проміжку часу. Це свідчить про те, що в механізмі приводу не виникає значних динамічних навантажень. Також отримані залежності зміни кутового прискорення щелепи та швидкості висування приводного гідроциліндра. При роботі гідроциліндра в момент пуску у напірній магістралі відбувається плавна зміна тиску робочої рідини, що вказує на відсутність в гідросистемі гідроударів при такому режимі руху.

Аналізуючи графіки на рис. 9–10 видно, що знайдений оптимальний режим руху тримасової системи можна реалізувати на практиці, крім того, наприкінці перехідного режиму візок і вантаж будуть мати однакові переміщення, швидкості і нульові значення прискорення. Це означає, що коливання вантажу на ділянці усталеного руху будуть усунені. Фазовий портрет (рис. 9, г) показує, що на початку руху різниця лінійного відхилення і швидкості візка і вантажу дорівнює нулю. Далі, в процесі розгону, відхилення вантажу

У четвертому розділі «Програма і методика експериментальних досліджень» викладено програму і методику експериментальних досліджень механізмів переміщення візка та приводу щелеп гідрозахвата.

Експериментальні дослідження проводились з метою визначення характеру зміни кінематичних, динамічних та енергетичних характеристик в процесі роботи кранового візка з вантажем та гідрозахвата при неоптимальних і оптимальних режимах руху.

Використавши теорію подібності та виходячи зі співвідношення між параметрами натурного крана та лабораторної установки, розраховано параметри останньої. На рис. 12 наведено схему лабораторної установки кранового візка з гнучким підвісом колод за допомогою гідрозахвата з розміщенням вимірювального та керуючого обладнання.

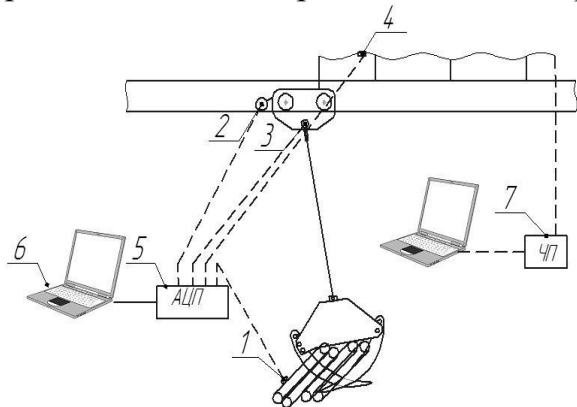


Рис. 12. Схема лабораторної установки

На цій схемі прийнято такі позначення: 1 – акселерометр (датчик прискорення); 2 – лінійний енкадер (датчик положення візка); 3 – кутовий енкадер (датчик кутового відхилення каната від вертикалі); 4 – датчики струму та напруги; 5 – аналогово-цифровий перетворювач; 6 – персональний комп'ютер (ПК); 7 – частотний перетворювач.

Дослідження проводились на моделі козлового крана вантажо-підйомністю 500 кг, прольотом балки 6 м

та потужністю приводу візка 0,4 кВт.

Для керування електродвигунами приводів моделі використано частотний перетворювач. Параметри руху моделі фіксувались за допомогою датчиків (рис. 13). Для обробки та запису експериментальних даних використано модуль m-DAQ-14 із електронним обладнанням.



Рис. 13. Обладнання для збору експериментальних даних системи «візок-захват-вантаж»

Для дослідження захвату колод використано гідрозахват з навантажувача лісового гідравлічного ПЛГ-50.

При дослідженні роботи грейферного захвата вимірювались тиск в гідросистемі приводу захватного механізму та кутова координата повороту щелепи.

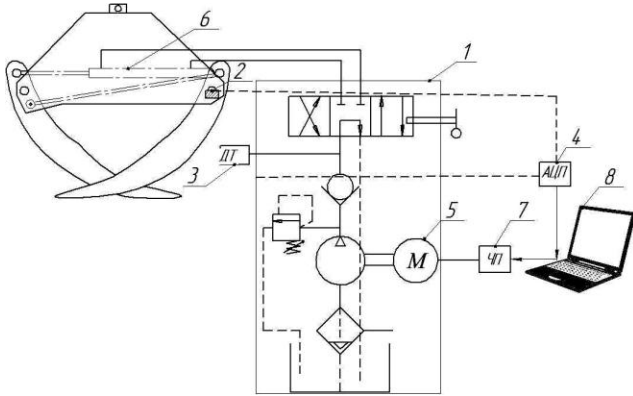


Рис. 14. Схема керування гідрозахватом

На рис. 14 представлено схема керування гідрозахватом до складу якої входять: 1 – гідронасосна станція; 2 – кутовий енкодер; 3 – датчик тиску робочої рідини; 4 – аналогово-цифровий перетворювач; 5 – електродвигун; 6 – приводний гідроциліндр; 7 – частотний перетворювач; 8 – ПК.

Для вимірювань використано датчик тиску рідини в гідросистемі ADZ-SML-10 (рис. 15) та кутовий енкодер (датчик кута повороту щелепи захвата) MOL-40.



Рис. 15. Загальний вигляд датчиків кута повороту та тиску

Для реалізації оптимальних режимів руху розроблено комп'ютерну програму керування «Оптимальне керування ВПМ» (рис. 16), яка дозволяє змінювати швидкість обертання приводних двигунів за допомогою частотного перетворювача у відповідності до отриманих оптимальних законів руху механізмів.

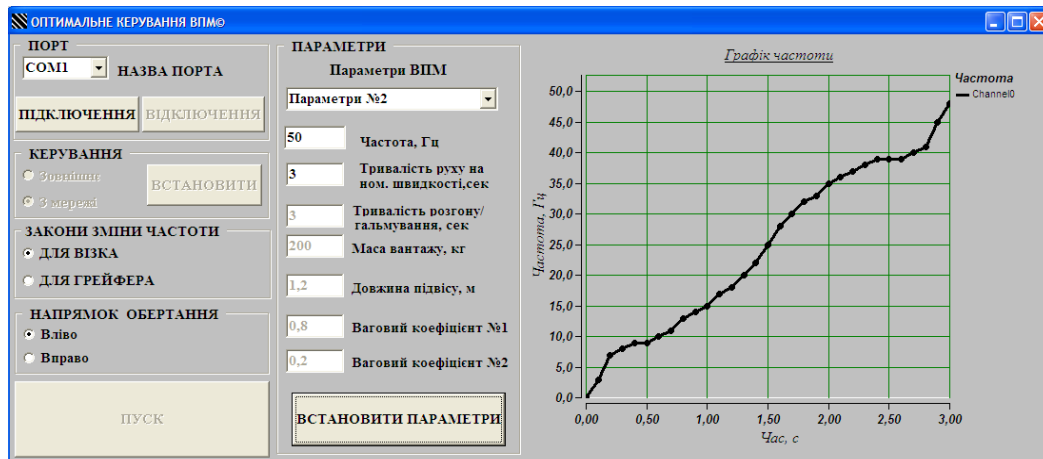


Рис. 16. Зовнішній вигляд вікна програми «Оптимальне керування ВПМ»

Дана програма дозволяє обирати тип механізму, яким необхідно керувати, напрямок обертання приводного електродвигуна та завантажувати оптимальні закони руху відповідно до параметрів крана.

У п'ятому розділі «Результати експериментальних досліджень» приведено результати аналізу відхилення теоретичних і експериментальних даних.

На рис. 17 показано графіки, які відображають зміну кінематичних характеристик механізму переміщення візка при проведенні експериментальних досліджень для реального (неоптимального) і оптимального режимів руху.

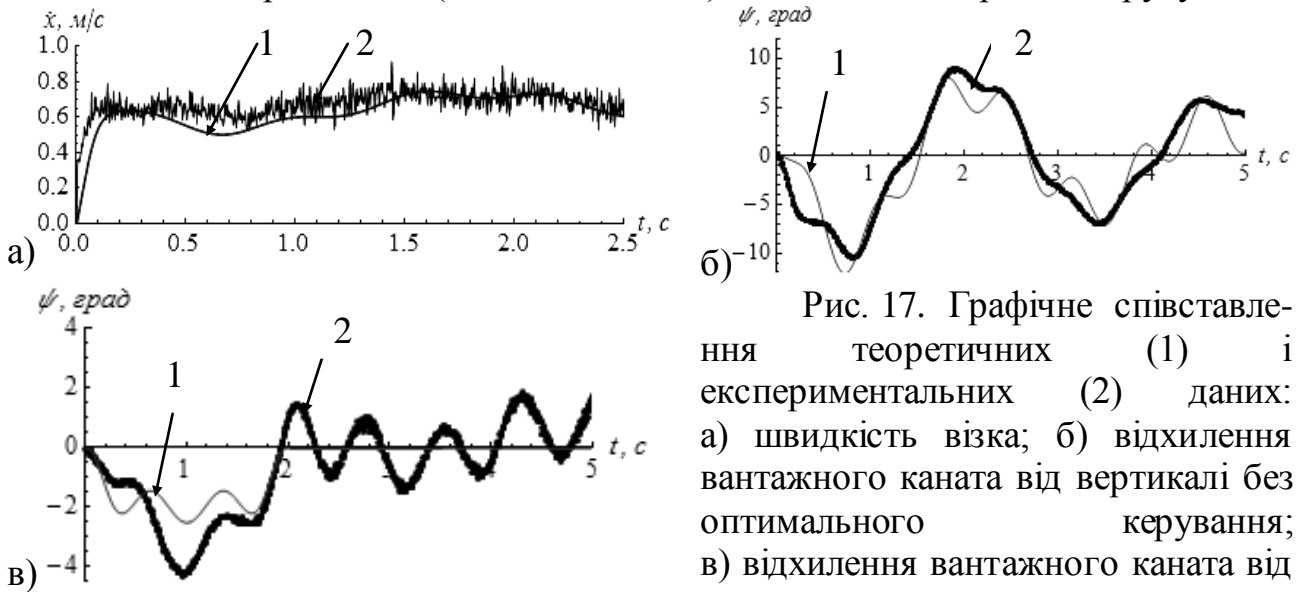


Рис. 17. Графічне співставлення теоретичних (1) і експериментальних (2) даних: а) швидкість візка; б) відхилення вантажного каната від вертикалі без оптимального керування; в) відхилення вантажного каната від вертикалі за оптимальним режимом руху.

З наведених графіків видно, що номінальна швидкість візка досягається через 0,2 с і становить приблизно 0,6 м/с, а через 1,5 с теоретична і експериментальна криві практично співпадають. При неоптимальному русі відхилення каната від вертикалі досягають 11° , крім того присутні додаткові коливання, які викликані зміщеною масою вантажу відносно захвата. На рис. 17, в експериментальна крива показує, що на початку руху канат відхиляється на 5° , проте на усталеному русі відхилення не перевищують 2° .

Максимальні значення коефіцієнта варіації для всієї серії дослідів при ручному керуванні механізмами становить 15,3 % – для переміщення візка; 13,4 % – для швидкості візка; 31,5 % – для кутового відхилення вантажного каната від вертикалі. Такі величини коефіцієнтів варіації підтверджують адекватність прийнятих для розрахунків моделей. Для серії дослідів оптимальних режимів руху максимальні значення коефіцієнтів варіації складають: 6,3 % – для переміщення візка; 12,2 % – для швидкості візка; 16,2 % – для кутового відхилення вантажного каната від вертикалі.

На рис. 18 наведено результати експериментальних досліджень механізму замикання щелеп гідрозахвата, що взаємодіє з колодами при оптимальному режимі руху.

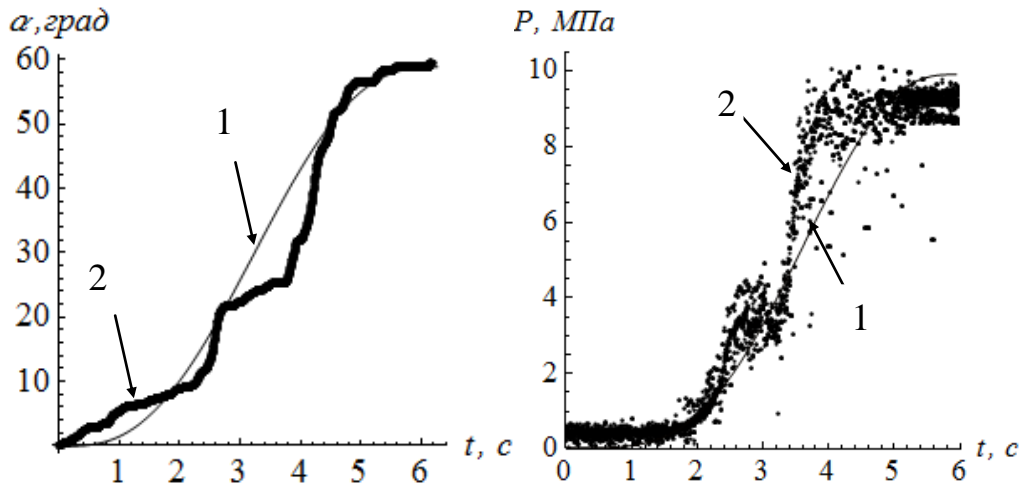


Рис. 18. Графіки теоретичних і експериментальних даних при оптимальному режимі руху гідрозахвата: а) кутової координати повороту щелепи; б) тиску рідини в напірній магістралі.

На рис. 18 цифрою 1 позначені теоретичні криві, а 2 – експериментальні. Аналіз експериментальних графіків показує, що спостерігається певна розбіжність між теоретичними і експериментальними даними. Це пояснюється тим, що при захопленні, щелепи діаметрально натикаються на колоди, тиск в гідросистемі стрімко зростає і коли досягається тиск достатній для руйнування «балки» з колод, вони зіскакують зі щелеп і тиск стрімко спадає. Досить важко визначити умови виникнення «балки» колод та тиск для її руйнування. При теоретичному розрахунку не враховувалось положення колод при умові утворення «балки», а враховувалась лише зосереджена маса, що діє на щелепу. Відхилення теоретичних і експериментальних даних не перевищує 20 %

У шостому розділі «**Рекомендації щодо удосконалення конструкцій вантажопідйомних машин на складах лісоматеріалів**» за результатами досліджень представлені рекомендації щодо удосконалення конструкцій гідрозахватів для лісоматеріалів та системи керування, що дало можливість підвищити ефективність роботи за рахунок зменшення динамічних навантажень на механізм приводу та оптимізації режимів руху (захищено 7 патентами України на корисну модель).

В розділі також розрахована економічна ефективність застосування оптимальних законів руху для козлового крана, що працює з довгомірними колодами. Для козлового крана вантажопідйомністю 10 тонн розрахована річна економічна ефективність, яка становить 50568 грн/рік і досягнута за рахунок збільшення довговічності кранової металоконструкції та економії електроенергії.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну задачу оптимізації перехідних режимів руху системи «візок-захват-вантаж» та гідрозахвата для перевантаження колод. Знайдені оптимальні закони керування механізмами

приводу візка та гідрозахвата, які підвищують експлуатаційні показники роботи цих механізмів.

1. На основі аналізу публікацій за темою дисертаційного дослідження встановлено, що досить детально вивчена динаміка руху механізмів перевантажувальних кранів, з іншого боку мало досліджені питання виникнення динамічних навантажень у механізмі приводу візка при перевантаженні довгомірних вантажів. Відомі результати з оптимального керування рухомим маятником, яким, як правило, представляється рух прольотних кранів (кранових візків) використовувати недоцільно, оскільки вони не враховують зміщення центра мас довгомірних вантажів відносно захвата.

2. Використовуючи рівняння Лагранжа другого роду, побудовано математичну модель динаміки руху механізму переміщення кранового візка з довгомірним вантажем зі зміщеним центром мас відносно захвата. На основі чисельного інтегрування диференціальних рівнянь руху механізму переміщення візка встановлено основні закономірності зміни динамічних навантажень. Спостерігається коливальний характер зміни приводного зусилля з періодом рівним коливанням вантажу при роботі електродвигуна на природній механічній характеристиці, а максимальне значення, що діє на візок, становить 23952 Н. Значний вплив на вказані навантаження має початковий момент двигуна, тому при роботі вказаних механізмів рекомендовано обирати найменший можливий початковий момент та забезпечувати роботу приводного двигуна на стійкій ділянці механічної характеристики.

3. Проведено аналіз математичних моделей реальної системи «візок-захват-вантаж» та рухомого подвійного математичного маятника, який дозволив підтвердити їх взаємозамінність (адекватність). Графіки приводних зусиль, швидкостей та прискорень за двома моделями практично співпадають, а відхилення координат центра мас візка і вантажу не перевищує 5 %.

4. Побудовано апроксимаційну модель визначення моменту, що діє на щелепи при захопленні колод, на основі якої встановлено необхідний закон зміни зусилля в приводному гідроциліндрі грейферного захвату, який плавно змінюється в часі.

5. Встановлено кінцеві умови перехідних процесів (пуск, гальмування), які дозволяють усунути коливання довгомірних вантажів зі зміщеним центром мас відносно захвату на усталеній ділянці руху. На цій основі встановлено структуру оптимізаційного комплексного критерію, який є інтегральним функціоналом з підінтегральними виразами у вигляді небажаних кінематичних відхилень центра мас вантажу від вертикалі та дії приводного зусилля візка.

6. На основі розв'язання варіаційних задач знайдено закони руху елементів механізмів переміщення візка та захвату, які характеризуються плавністю зміни в часі, що знижує динамічні навантаження, які діють у механізмах. Всі отримані оптимальні закони руху механізмів переміщення візка та захвату вантажу досліджені та проаналізовані, з яких встановлено, що максимальне зусилля, яке діє на візок, зменшилось на 30 % порівняно з рухом

на природній механічній характеристиці, середньоквадратичне зусилля на 21 %, кутове відхилення каната у 2,3 раза, вертикальне прискорення вантажу у 1,7 раза, а максимальне значення струму споживаного електродвигуном у 2 рази.

7. Обґрунтовано доцільність використання комп'ютерного програмного керування рухом приводного візка за оптимальними режимами руху. Для цього розроблено програму «Оптимальне керування ВПМ», яка дозволяє змінювати швидкість обертання приводних двигунів за допомогою частотного перетворювача у відповідності до отриманих оптимальних режимів руху.

8. Спроековано та виготовлено лабораторну фізичну модель козлового крана та грейферного захвата, розроблено програмне забезпечення для керування частотними перетворювачами електричних приводів фізичної моделі, підібрано вимірювально-реєструюче обладнання (датчики та цифрова система збору даних), розроблено методику проведення експериментальних досліджень, вибрано методику обробки експериментальних даних методами статистичного аналізу, що дало можливість провести експериментальні дослідження руху механізмів переміщення візка та грейферного захвату для підтвердження адекватності теоретичних досліджень. Максимальні значення коефіцієнта варіації для всієї серії дослідів при ручному керуванні механізмами становить 15,3 % – для переміщення візка; 13,4 % – для швидкості візка; 31,5 % – для кутового відхилення вантажного каната від вертикалі. Такі величини коефіцієнтів варіації підтверджують адекватність прийнятих для розрахунків моделей. Для серії дослідів оптимальних режимів руху максимальні значення коефіцієнтів варіації складають: 6,3 % – для переміщення візка; 12,2 % – для швидкості візка; 16,2 % – для кутового відхилення вантажного каната від вертикалі.

9. Розроблено рекомендації щодо оптимального керування рухом кранового візка і вдосконалення грейферних механізмів для захоплення колод, які підтверджено патентами України на корисні моделі, впровадження вдосконалень дає змогу зекономити до 50568 грн/рік для крана вантажопідйомністю 10 тонн. Економія досягнута за рахунок збільшення довговічності кранової металоконструкції та економії електроенергії.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Ловейкін В. С. Оптимізація динамічного режиму руху грейферного захвату / В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, **П. В. Лимар** // Сільськогосподарські машини. – 2013. – Вип. 24. – С. 218–227. *(Здобувач розв'язав оптимізаційну задачу, яка доставляє мінімум динамічних навантажень на грейферний захват).*

2. Ловейкін В. С. Кінематичний аналіз грейфера для лісоматеріалів: [електронний ресурс] / В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар** // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2013. – № 2. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Nd_2013_2_28.pdf *(Здобувач виконав кінематичний аналіз руху грейфера для лісоматеріалів).*

3. Ловейкін В. С. Оптимізація енергетичного режиму руху грейферного захвату / В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, **П. В. Лимар** // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – 2013. – Вип. 185. – Ч. 1. – С. 220–228. *(Здобувач оптимізував режим руху щелеп за енергетичним критерієм).*

4. Динамический анализ движения грейфера, подвешенного на гибком подвесе, при повороте крана / В. С. Ловейкин, Ю. В. Човнюк, **П. В. Лымарь**, В. В. Мельниченко // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2014. – Вып. 65–66. – С. 143–149. *(Здобувач проаналізував динамічні навантаження грейфера, підвішеного на гнучкому підвісі, при повороті крана).*

5. Ловейкін В. Динамічний аналіз переміщення візка вантажопідйомного крана зі зміщеним центром мас вантажу відносно захвату / В. Ловейкін, **П. Лимар** // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2014. – Т 73. – № 1. – С. 102–109. *(Здобувач виконав динамічний аналіз переміщення візка вантажопідйомного крана зі зміщеним центром мас вантажу відносно захвату).*

*Статті у наукових фахових виданнях України,
включених до міжнародної наукометричної бази даних:*

6. Динамічна модель руху грейфера, підвішеного на гнучкому підвісі, при повороті крана / В. С. Ловейкін, Ю. В. Човнюк, В. В. Мельниченко, **П. В. Лимар** // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – 2014. – Вип. 196. – Ч. 1. – С. 162–171. *(Здобувач побудував динамічну модель руху грейфера, підвішеного на гнучкому підвісі, при повороті крана).*

7. Ловейкін В. С. Оптимізація режиму руху щелеп гідрозахвата за динамічним критерієм / В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар** // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – 2014. – Вип. 196. – Ч. 2. – С. 89–98. *(Здобувач оптимізував режим руху щелеп за динамічним критерієм).*

8. Ловейкін В. С. Аналіз оптимальних режимів руху гідрозахвата для колод / В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар** // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – 2014. – Вип. 196. – Ч. 3. – С. 33–40. *(Здобувач проаналізував розроблені оптимальні енергетичний і динамічний режими руху гідрозахвата для колод).*

9. Пилипака С. Ф. Аналіз способів керувань вантажопідйомними машинами / С. Ф. Пилипака, В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар** // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – 2015. – Вип. 212. – Ч. 1. – С. 255–263. *(Здобувач проаналізував відомі способи керувань вантажопідйомними машинами).*

Стаття у науковому виданні іншої держави

10. Ловейкин В. Анализ динамических нагрузок в канатах подъёмных кранов методом временных сплайнов / В. Ловейкин, **П. Лымарь** // Motrol: Motorization and energetics in agriculture. – 2014. – Том 16. – № 3. – Р. 12–18. *(Здобувач застосував метод часових сплайнів для визначення динамічних навантажень в канатах підйомних кранів).*

Патенти на корисну модель:

11. Патент на корисну модель 66618 Україна, МПК В66С 3/16 (2006.01). Грейфер для лісоматеріалів / В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар**; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u2011 07772; заявл. 20.06.2011; опубл. 10.01.2012, Бюл. №1. *(Здобувач удосконалив грейфер для лісоматеріалів, який має гідроциліндр з керуючим пристроєм).*

12. Патент на корисну модель 68741 Україна, МПК В66С 3/18 (2006.01). Грейфер для круглих лісоматеріалів / В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар**; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u2011 11094; заявл. 16.09.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. №7. *(Здобувач удосконалив грейфер для круглих лісоматеріалів).*

13. Патент на корисну модель 69443 Україна, МПК В66С 3/20 (2006.01). Вантажозахватний пристрій для круглих лісоматеріалів / В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар**; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u2011 13004; заявл. 04.11.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. №8. *(Здобувач удосконалив вантажозахватний пристрій для круглих лісоматеріалів).*

14. Патент на корисну модель 72631 Україна, МПК В66С 3/16 (2006.01). Грейферний механізм для захвату колод / В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар**; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u2012 01346; заявл. 08.02.2012; опубл. 27.08.2012, Бюл. №16. *(Здобувач удосконалив грейферний механізм для колод, у якого носки щелеп керуються тросом через блочну систему).*

15. Патент на корисну модель 88272 Україна, МПК В66С 3/16 (2006.01), МПК В66С 1/32 (2006.01). Гідрозахват для круглих лісоматеріалів / В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар**; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u2013 11113; заявл. 18.09.2013; опубл. 11.03.2014, Бюл. №5. *(Здобувач удосконалив гідрозахват для круглих лісоматеріалів, у якого носки щелеп приводяться в рух ланцюговою передачею).*

16. Патент на корисну модель 88271 Україна, МПК В66С 3/16 (2006.01), МПК В66С 1/32 (2006.01). Електрогідравлічний грейфер для колод / В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар**; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u2013 11112; заявл. 18.09.2013; опубл. 11.03.2014, Бюл. №5. *(Здобувач удосконалив електрогідравлічний грейфер, в якому щелепи рухаються за заданим оптимальним законом руху).*

17. Патент на корисну модель 98907 Україна, МПК В66С 3/16 (2006.01), МПК В66С 1/32 (2006.01). Гідрозахват зі складеними пружно з'єднаними щелепами / В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар**; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u2014 12927; заявл. 03.12.2014; опубл. 12.05.2015, Бюл. №9. *(Здобувач удосконалив гідрозахват, який має пружно з'єднані щелепи).*

Матеріали і тези наукових доповідей:

18. Ловейкін В. С. Принцип роботи грейферів для перевантаження лісоматеріалів / В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар** // XI конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів технічного ННІ НУБіП України, 21–25 березня 2011 р.: тези доповідей. – К., 2011. – С. 44–45. *(Здобувач описав принцип роботи грейферів для перевантаження лісоматеріалів).*

19. Ловейкін В. С. Удосконалення конструкції грейфера для перевантаження лісоматеріалів / В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар** // Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, м. Київ, 26–29 жовтня 2011 р.: тези доповідей / Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2011. – С. 160. *(Здобувач обґрунтував удосконалення конструкції грейфера для перевантаження лісоматеріалів).*

20. Ловейкін В. С. Удосконалення конструкції грейферного захвату для перевантаження лісоматеріалів / В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар** // Технологія і техніка друкарства: новітні технології і обладнання поліграфії: Міжнародний науково-технічний семінар аспірантів, професорсько-викладацького складу, 2012 р.: тези доповідей. – К., 2011. – С. 46–47. *(Здобувач описав удосконалення конструкції грейферного захвату для перевантаження лісоматеріалів).*

21. Ловейкін В. С. Удосконалення грейферного механізму для захвату колод / В. С. Ловейкін, **П. В. Лимар** // Науковий семінар ПТМ, м. Тернопіль, 26–29 березня 2012 р.: тези доповідей / Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя. – Тернопіль, 2012. – С. 7. *(Здобувач навів удосконалення та переваги конструкції грейфера для перевантаження лісоматеріалів).*

22. Ловейкін В. С. Аналіз динамічних навантажень в канатах кранових механізмів підйому методом часових сплайнів / В. С. Ловейкін, Ю. В. Човнюк, **П. В. Лимар** // Актуальні задачі сучасних технологій: Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів, м. Тернопіль 11–12 грудня 2013 р.: тези доповідей / Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя. – Тернопіль, 2013. – С. 114. *(Здобувач описав застосування методу часових сплайнів для аналізу динамічних навантажень в канатах кранових механізмів підйому).*

23. Ловейкин В. С. Оптимизация режима движения грейферного механизма прямым вариационным методом / В. С. Ловейкин, **П. В. Лымарь** // Экологоресурсосберегающие технологии и системы в лесном и сельском хозяйстве: Международная научно-техническая конференция. – Воронеж,

2014. – С. 245–251 (*Здобувач застосував прямий варіаційний метод для оптимізації режиму руху грейферного механізму*).

24. Ловейкін В. С. Щодо динамічних навантажень в кранових канатах механізмів підйому / В. С. Ловейкін, Ю. В. Човнюк, **П. В. Лимар** // Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів, 11–15 березня 2014 р.: тези доповідей. – К., 2014. – С. 55. (*Здобувач зробив аналіз динамічних навантажень в кранових канатах механізмів підйому*).

25. Лимар П. В. Обґрунтування динамічної моделі тримасової системи «візок-захват-вантаж» / П. В. Лимар // Інноваційний розвиток аграрної сфери: III Міжнародна наукова конференція, 19 – 21 березня 2015р.: тези доповідей. – К., 2015. – С. 86–89. (*Здобувач обґрунтував динамічну модель тримасової системи «візок-захват-вантаж»*).

26. Лимар П. В. Методика проведення експериментальних досліджень руху грейферного захвата / П. В. Лимар // «Буд-майстер-клас – 2015»: I всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів, 26–27 листопада 2015 р.: тези доповідей. – К., 2015. – С. 31. (*Здобувач представив методику проведення експериментальних досліджень руху грейферного захвата*).

27. Лимар П. В. Система керування та збору даних для грейферного гідрозахвата / П. В. Лимар // Сучасні проблеми землеробської механіки: XVI Міжнародна наукова конференція, 17–19 жовтня 2015 р.: тези доповідей. – К., 2015. – С. 74–75. (*Здобувач розробив систему керування та збору даних для грейферного гідрозахвата*).

28. Лимар П. В. Обґрунтування використання рухомого подвійного математичного маятника у якості розрахункової моделі кранового візка з довгомірним вантажем / П. В. Лимар // Інженерія систем природокористування: I Міжнародна науково-практична конференція, 11 листопада 2015 р.: тези доповідей. – К., 2015. – С. 35–37. (*Здобувач обґрунтував використання рухомого математичного маятника у якості розрахункової моделі кранового візка з вантажем*).

АНОТАЦІЯ

Лимар П. В. Оптимізація режимів руху вантажопідйомних машин на складах лісоматеріалів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.05 – піднімально-транспортні машини. – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2016.

У дисертації наведено дослідження, що мають за мету збільшення ефективності роботи вантажопідйомних машин при перевантаженні лісоматеріалів за рахунок оптимізації перехідних режимів руху.

Виконано динамічний аналіз руху тримасової кранової системи «візок-захват-вантаж» при горизонтальному переміщенні вантажу та грейферного механізму для колод, визначені їх динамічні і кінематичні характеристики. Розрахункову модель «візок-захват-вантаж» замінено удосконаленою

розрахунковою моделлю рухомого подвійного математичного маятника, підтверджено їх відповідність.

За динамічними та кінематичними критеріями, що мають вигляд інтегральних функціоналів, оптимізовано перехідні режими руху кранового візка з вантажем та приводу гідрозахвата. Отримано і представлено позитивний ефект при синтезі оптимальних законів руху механізмів у вигляді зменшення динамічних навантажень у приводі візка та усунення коливань вантажу в системі «візок-захват-вантаж», а також зменшення різких перепадів тиску в гідросистемі гідрозахвата. Розроблено систему керування приводами для реалізації оптимальних законів руху. Для підтвердження теоретичних розрахунків проведено експериментальні дослідження на розроблених моделях механізмів.

На основі результатів досліджень запропоновано рекомендації з удосконалення конструкцій вантажопідійомних машин, захищених 7 патентами України на корисну модель.

Ключові слова: крани, гідрозахват, режими руху, динамічні навантаження, коливання, оптимізація.

АННОТАЦИЯ

Лымарь П. В. Оптимизация режимов движения грузоподъемных машин на складах лесоматериалов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.05 – подъемно-транспортные машины. – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2016.

В диссертации приведены исследования, целью которых является повышение эффективности работы грузоподъемных машин при перегрузке лесоматериалов за счет оптимизации переходных режимов движения.

Выполнен динамический анализ движения трёхмассовой крановой системы «тележка-захват-груз» при горизонтальном перемещении груза и грейферного механизма для бревен, определены их динамические и кинематические характеристики. Выявлены значительные колебания груза и динамические нагрузки в крановых механизмах, которые являются нежелательными и негативно влияют на эффективность работы и долговечность грузоподъемных машин.

Для упрощения дальнейших расчетов и оптимизации режимов движения крановой тележки с грузом, расчетную модель «тележка-захват-груз» заменено усовершенствованной расчетной моделью подвижного двойного математического маятника с сохранением точности расчетов и подтверждена их взаимозаменяемость (адекватность).

Для оптимизации режимов движения крановой тележки с грузом, в данных исследованиях, использован комплексный критерий, имеющий вид интегрального функционала, в котором динамическая составляющая учтена весовым коэффициентом σ_1 и позволяет минимизировать динамические нагрузки в механизме привода тележки, а кинематическая составляющая

учитывается коэффициентом σ_2 , и отражает отклонения сосредоточенной массы бревен от вертикали тележки.

Получен и представлен положительный эффект при синтезе оптимальных законов движения крановой тележки с грузом в виде уменьшения максимального усилия, которое действует на тележку, на 30 %, среднего усилия в процессе разгона на 39 %, углового отклонения каната в 2,3 раза, вертикального ускорения груза в 1,7 раза, максимального потребляемого тока электродвигателем в 2 раза, по сравнению с движением тележки на естественной механической характеристике привода.

Также синтезирован закон движения челюсти гидрозахвата, согласно критерию, который обеспечивает минимум затрат мощности на процесс захвата бревен. Данный режим движения челюсти обеспечивает плавное изменение скорости и ускорения на всем промежутке времени. Также получены зависимости изменения углового ускорения челюсти и скорости выдвигания приводного гидроцилиндра. Максимальная скорость выдвигания штока гидроцилиндра составляет 0,06 м/с, а угловая скорость челюстей 0,5 рад/с. В результате чего, при работе гидроцилиндра в момент пуска в напорной магистрали происходит плавное изменение давления рабочей жидкости, что указывает на отсутствие в гидросистеме гидроударов при таком режиме движения. Это положительно влияет на долговечность деталей гидропривода и механизма в целом.

Разработано программное обеспечение для реализации установленных оптимальных законов управления движением тележки и гидрозахвата. Программа позволяет управлять двумя отдельными механизмами по оптимальным законам движения тележки крана или грейферного захвата, отправляя соответствующие значения частоты на частотный преобразователь.

Для проведения экспериментальных исследований и сбора данных, подобрано измерительно-регистрирующее оборудование, которое позволяет осуществлять сбор данных о движении трёхмассовой системы «тележка-захват-груз» (перемещение тележки во времени, угол отклонения каната от вертикали, колебания груза по вертикали, потребляемый электродвигателем ток), гидрозахвата (давление в гидросистеме, угол поворота челюсти) и отправлять полученные данные на ПК.

Спланировано проведения экспериментальных исследований и выбрано методику обработки массива экспериментальных данных с помощью регрессионного анализа. Для получения более полной информации о движении тележки было избрано четыре фактора: весовой коэффициент, масса груза, длина каната, время переходного процесса движения тележки (разгон / торможение).

Проведён расчет статистических показателей теоретических и экспериментальных данных для тележки с грузом и гидрозахвата, который на основе анализа графических зависимостей их кинематических и динамических функций, позволяет установить адекватность математических моделей этих механизмов.

Разработаны рекомендации относительно оптимального управления движением крановой тележки и совершенствования грейферных механизмов для захвата бревен, которые подтверждены патентами Украины на полезные модели, внедрение усовершенствований позволяет сэкономить до 50568 грн/год для крана грузоподъемностью 10 тонн.

На основе результатов исследований предложены рекомендации по усовершенствованию конструкций грузоподъемных машин, защищенных 7 патентами Украины на полезную модель.

Ключевые слова: краны, гидрозхват, режимы движения, динамические нагрузки, колебания, оптимизация.

ANNOTATION

Lymar P. V. Optimization of load movement machines in storage timber. – Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.05.05 – lifting-conveyed machines. – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2016.

The thesis shows research aimed at improving the efficiency of the lifting equipment at transshipment timber by optimizing transient driving modes.

It was carried out a dynamic analysis of the motion of a three-mass system of the crane «trolley-grab-cargo» for the horizontal movement of the load and clamshell mechanism for the log, identified by their dynamic and kinematic characteristics. Computational model «trolley-grab-cargo» was replaced by an improved calculation model of rolling double mathematical pendulum, their compliance was confirmed.

For dynamic and kinematic criteria should form integral functional, optimized transient modes of motion with a cargo of crane and motion of hydraulic grab.

A positive effect on the synthesis of optimal laws of motion mechanisms in the form of reducing the dynamic loads in the drive machines and cargo suppress oscillations in the «trolley-grab-cargo» was received and presented. Also, sudden changes in pressure in the hydraulic system of hydraulic grips are reduced.

Drive control system for the implementation of optimal laws of motion was developed to confirm the theoretical calculations of experimental research on the developed model of the mechanism.

The recommendations for improving the design of load-lifting machines were made on the basis of the results of research which are protected by seven patents of Ukraine.

Key words: cranes, hydraulic grab, modes of motion, dynamic loads, oscillations, optimization.