Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 3, 5-15
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.03.005

УДК 621.87

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РУХУ КРАНА-МАНІПУЛЯТОРА З ВАНТАЖЕМ ПРИ СУМІЩЕНІ РУХІВ

В. С. Ловейкін, О. О. Сподоба

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: sp1309@ukr.net.

Історія статті: отримано – квітень 2020, акцептовано – серпень 2020.
Бібл. 18, рис. 19, табл. 0.

Анотація. З метою підвищення продуктивності та надійності крана-маніпулятора з гідроприводом згідно з нормативно-технічною документацією, яка регламентує безпечну експлуатацію багатоланкових кранів-маніпуляторів допускається суміщення рухів з одночасним переміщенням декількох ланок стрілової системи. В результаті в роботі розглянута методика проведення експериментальних досліджень в площині зміни вильоту стрілової системи із вантажем крана-маніпулятора. Експериментальні дослідження проводились за умови одночасного кутового переміщення рукояті та зменшення лінійного переміщення телескопічної секції.

Для проведення експериментальних досліджень спроектовано та виготовлено експериментальну установку крана-маніпулятора з гідравлічним приводом. Підібрано та налаштовано вимірювально-реєструюче обладнання.

В рамках проведення експериментальних досліджень динаміки переміщення стрілової системи крана-маніпулятора з вантажем розроблено систему керування механізмами приводу, яка дає можливість реалізувати оптимальні режими руху ланок стрілової системи.

В результаті проведено експериментальні дослідження за умови одночасного переміщення рукояті та телескопічної секції з вантажем на кінці стрілової системи. Отримано пакет даних за реальними та оптимальними режимами руху ланок стрілової системи крана-маніпулятора. Оброблені дані наведені в графічному вигляді та проведено порівняльний аналіз за реальними та оптимальними режимами руху.

Розроблена методика проведення експериментальних досліджень дала змогу визначити вплив одночасного переміщення стріли та рукояті на коливання вантажу, та вплив коливання вантажу на динамічні навантаження, які виникають в стріловій системі та елементах приводу крана-маніпулятора.

Ключові слова: експериментальні дослідження, зміна вильоту, суміщення рухів, кран-маніпулятор, динамічні навантаження, коливання вантажу.

Постановка проблеми

В процесі виконання технологічного процесу розвантажувально-завантажувальних операцій в елементах стрілової системи та елементах приводу крана-маніпулятора виникають динамічні навантаження, в наслідок нерівномірного обертання стрілової системи при рівномірному переміщені штоків гідроциліндрів. Динамічні навантаження залежать від кінематичних параметрів крана-маніпулятора та від характеру зміни швидкості переміщення ланок стрілової системи з вантажем. Згідно з нормативно-технічною документацією, яка регламентує роботу багатоланкових кранів-маніпуляторів [1, 2] допускається суміщення операцій одночасного переміщення декількох ланок стрілової системи крана-маніпулятора. При суміщенні операцій одночасного переміщення двох ланок стрілової системи з вантажем можна значно знизити динамічні навантаження і відповідно підвищити продуктивність, надійність елементів стрілової системи та гідравлічного обладнання крана-маніпулятора. Для визначення дійсних динамічних навантажень в елементах конструкції крана-маніпулятора при суміщені рухів ланок стрілової системи необхідно мати адекватні математичні моделі [3-8].

Аналіз останніх досліджень

Відомі [6-13] методи побудови математичної моделі крана-маніпулятора. В даних роботах стрілова система крана-маніпулятора представлена, як голономна механічна система, в якій центр ваги ланок металоконструкції співпадає з їх геометричними параметрами. В роботах [6-18] розглянуто побудову математичної моделі крана-маніпулятора, встановлено зв'язок між кінематичними залежностями привідної ланки крана-маніпулятора та вантажу. Проаналізовано вплив динамічних навантажень на елементи металоконструкції стрілової системи крана-маніпулятора. В роботах [10, 11] розглянуто аналіз впливу суміщення рухів трьох ланок стрілової системи на динамічну завантаженість крана-маніпулятора. При

досить великому обсязі розгляду проблеми динамічного аналізу суміщення одночасного руху ланок стрілової системи, розв'язок даної задачі для кранів-маніпуляторів з гідроприводом не розглянуто з врахуванням коливання вантажу на кінці стрілової системи.

Мета досліджень

Метою проведення експериментальних досліджень при суміщенні одночасного кутового переміщення рукояті та лінійного переміщення телескопічної секції є отримання фактичних результатів динаміки переміщення ланок стрілової системи крана-маніпулятора з гідравлічним приводом та шарнірно закріпленим вантажем на жорсткому підвісі за реальним та оптимальним режимами руху, та проведення порівняльного аналізу між обома режимами руху.

Результати досліджень

Металоконструкція стрілової системи експериментальної установки виготовлена із стальних гнутих швелерів товщиною 6 мм, з легованої сталі марки 09Г2. Для шарнірного з'єднання ланок між собою та кріплення елементів приводу використано приварні елементи кріплення, які виготовлені із листової сталі товщиною 6 мм, марки 09Г2. Всі зварювальні роботи виконувались ручним напівавтоматичним електродуговим зварюванням в середовищі захищених газів. При цьому зварювальний дріт використовувався марки Св-08Г2С та газ CO_2. Ланки стрілової системи з'єднані між собою шарнірно. Пальці шарнірів виготовлено із сталі марки сталь 45. В якості підшипників ковзання використано металополімерні втулки SKF PCM-455040-M, PCM-404440-M та PCM-353940-M. Конструктивна схема розробленої експериментальної установки крана-маніпулятора зображена на рис. 1, а гідравлічна схема на рис. 2.

Рис. 1. Розроблена експериментальна установка крана-маніпулятора з гідравлічним приводом.
Fig. 1. The experimental installation of the loader crane with the hydraulic drive is developed.

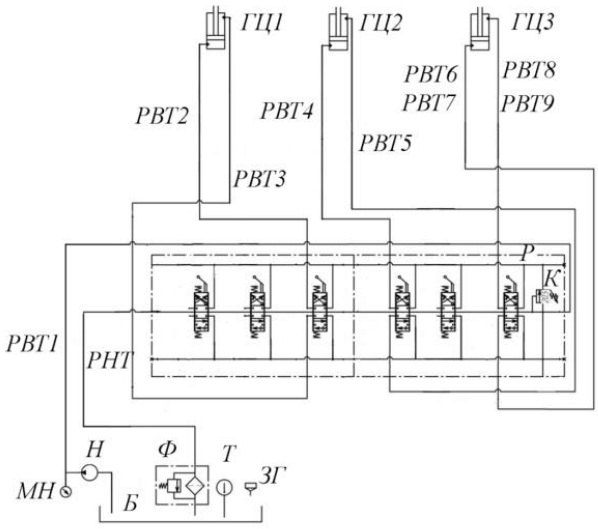


Рис. 2. Гідравлічна схема експериментальної установки крана-маніпулятора з гідравлічним приводом.

Fig. 2. Hydraulic scheme of experimental installation of the loader crane with the hydraulic drive.

Гідравлічна система фізичної установки крана маніпулятора складається з бака Б, в якому розміщено зливний фільтр Ф та термометр Т. Гідравлічний насос Н нагнітає робочу рідину через рукав високого тиску РВТ1 до гідравлічного золотникового розподільника Р. Манометр МН встановлено для контролю тиску робочої рідини. Запобіжний клапан К встановлено безпосередньо в корпусі гідравлічного розподільника. Відповідно до секцій гідравлічного розподільника Р через рукава високого тиску РВТ2…РВТ9 приєднано гідравлічні циліндри приводу стріли ГЦ1, приводу рукояті ГЦ2 та приводу телескопічної секції ГЦ3. Рукав низького тиску РНТ слугує для відведення робочої рідини від гідравлічних циліндрів в бак.

Для приводу гідравлічного шестеренчастого насосу UN-16L-R08-D12 використано асинхронний електродвигун марки АО2-31-2У3 з номінальною потужністю 3 кВт та номінальною частотою обертання ротора 2830 об/хв.

Передача потужності від електродвигуна до гідравлічного насосу виконана через поліклинопасову передачу з передаточним відношенням 2:1.

В рамках проведення експериментальних досліджень динаміки переміщення стрілової системи крана-маніпулятора з вантажем за реального та оптимального режимів руху використано шестисекційний моноблочний золотниковий розподільник OLEODINAMICA O.R.T.A. S.R.L. MB 25/6, який зображено на рис. 3, а сам золотник заводського виконання зображений на рис. 4.

Даний гідравлічний розподільник дозволяє виконувати керування як окремими ланками стрілової системи, так і керування ланками стрілової системи при суміщенні їх рухів.

Використовуючи даний гідравлічний розподільник, керування гідравлічними циліндрами виконується за рахунок об’ємної витрати робочої рідини через дросель, а золотник безпосередньо виконую функцію дроселя.

Рис. 3. Гідравлічний золотниковий розподільник.
Fig. 3. Hydraulic spool distributor.

Рис. 4. Золотник заводського виконання.
Fig. 4. Spool of factory execution.

Для надання ланкам стрілової системи крана-маніпулятора оптимальних режимів руху спроектовано та виготовлено конструктивно змінений золотник рис. 5.

Рис. 5. Конструктивно змінений золотник.
Fig. 5. Structurally changed spool.

Під час переміщення ланок стрілової системи крана-маніпулятора з гідравлічним приводом за різних режимів руху в елементах металоконструкції та механізмах приводу виникають значні динамічні навантаження. Визначення даних навантажень за різних режимів руху ланок стрілової системи надає можливість реально оцінити оптимальність роботи системи керування та виявити небажані недоліки, які можна попередити на етапі проектування металоконструкції стрілової системи та системи керування механізмами приводу.

При проведенні експериментальних досліджень характеристики режимів руху переміщення ланок стрілової системи, виготовленої фізичної моделі

крана-маніпулятора з гідравлічним приводом, застосовувалось високоточне електронне обладнання. Схема розташування вимірювальних датчиків на фізичній моделі крана-маніпулятора з гідравлічним приводом наведено на рис. 6.

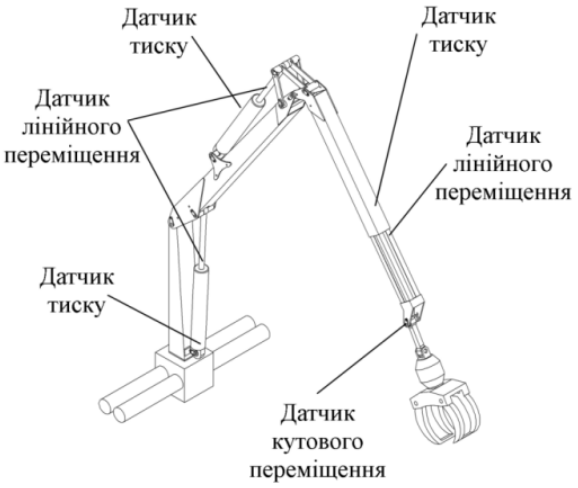


Рис. 6. Схема розташування вимірювальних датчиків на фізичній моделі крана-маніпулятора з гідравлічним приводом.

Fig. 6. Diagram of the location of measuring sensors on the physical model of the loader crane with hydraulic drive.

Для визначення характеристик тиску та відповідно зусиль, які розвивають гідравлічні циліндри використано три однакові тензометричні датчики тиску марки BOSCH 0 281 002 522. Датчики тиску вмонтовані в напірну гідравлічну лінію через виготовлені різьбові адаптери. Розміщення датчиків тиску на фізичній моделі зображено на рис. 7.

а)

б)

в)

Рис. 7. Розміщення датчиків тиску на фізичній моделі: а) датчик вимірювання тиску в гідравлічному циліндрі приводу стріли; б) датчик вимірювання тиску в гідравлічному циліндрі приводу рукояті; в) датчик вимірювання тиску в гідравлічному циліндрі приводу телескопічної секції.

Fig. 7. Placement of pressure sensors on the physical model: a) pressure sensor in the hydraulic cylinder of the boom drive; b) pressure sensor in the hydraulic cylinder of the jib drive; c) a sensor for measuring the pressure in the hydraulic cylinder of the drive of the telescopic section.

Попередньо датчики тиску були відтаровані заводом виробником про що засвідчено в їх паспорті. Проте вони були відтаровані безпосередньо на експериментальній установці за допомогою еталонного аналогового манометра.

В подальшому еталонний манометр був вмонтований в гідравлічну лінію високого тиску для проведення візуального контролю створеного тиску робочої рідини в гідравлічній системі приводу ланок стрілової системи.

На рис 8 зображена побудована характеристика датчика тиску за даними знятими з еталонного манометра. Характеристика розраховувалась за наступною залежністю:

$$P = \frac{1{,}25 \cdot P_n \cdot (U - 0{,}1 \cdot U_v)}{U_v}, \qquad (1)$$

де P_n – номінальний тиск вимірювання; U – напруга вихідного сигналу; U_v – напруга живлення датчика.

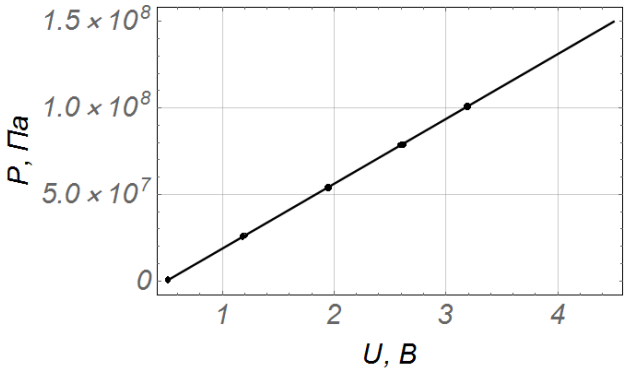


Рис. 8. Тарувальна характеристика датчику тиску.

Fig. 8. Calibration characteristic of the pressure sensor.

Для визначення положень та переміщень штоків гідравлічних циліндрів приводу стріли рукояті та телескопічної секції використано аналоговий резистивний датчик СП5-39А. Датчик СП5-39А має обмежену кількість обертів (10,5 повних обертів). Тому для зняття характеристик переміщення штоків гідравлічних циліндрів приводу стріли та рукояті на ротор датчика було виготовлено колесо діаметром d=11,323 мм, що відповідає переміщенню штока на 320 мм при 9 повних обертах датчика. А для гідравлічного циліндру приводу телескопічної секції d=17,692 мм, що відповідає переміщенню штока на 500 мм при 9 повних обертах датчика. Датчики встановлено безпосередньо на шток гідравлічного циліндру приводу стріли (рис. 9, а) та шток гідравлічного циліндру приводу рукояті (рис. 9, б). Для визначення положення та переміщення штоку гідравлічного циліндру приводу телескопічної секції датчик встановлено безпосередньо на вихідну ланку телескопічної секції (рис. 9, в).

Тарування датчиків виконувалось безпосередньо на експериментальній установці при початкових проміжних та кінцевих положеннях штоків гідравлічних циліндрів. Тарувальні характеристики датчиків зображені на рис. 10.

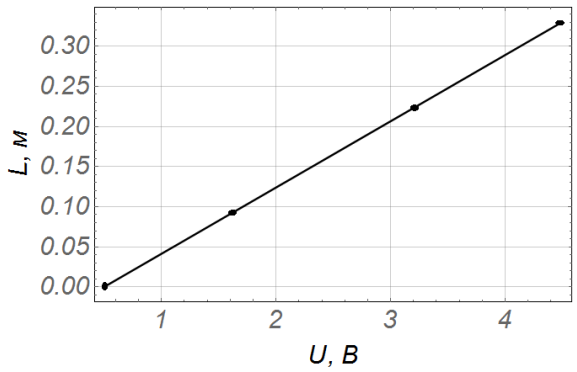
а)

б)

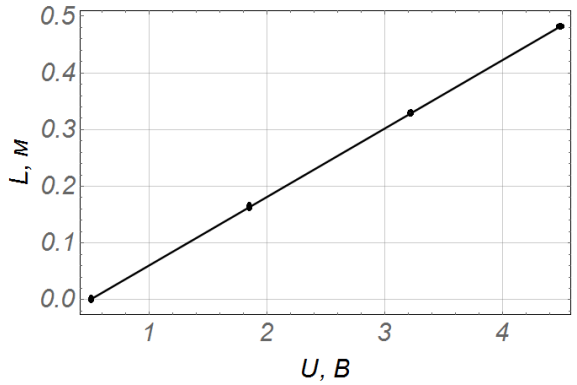
в)

Рис. 9. Розміщення датчиків лінійного переміщення на фізичній моделі: а) датчик переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу стріли; б) датчик переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу рукояті; в) датчик переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу телескопічної секції.

Fig. 9. Placement of linear displacement sensors on the physical model: a) the sensor of movement of a rod of the hydraulic cylinder of the drive of the boom; b) the sensor of movement of a rod of the hydraulic cylinder of the drive of the jib; c) the sensor of movement of a rod of the hydraulic cylinder of the drive of telescopic section.



а)



б)

Рис. 10. Тарувальна характеристика датчика лінійного переміщення: а) гідравлічних циліндрів переміщення стріли та рукояті; б) гідравлічного циліндра переміщення телескопічної секції.

Fig. 10. Calibration characteristics of the linear displacement sensor: a) hydraulic cylinders for boom and jib movement; b) hydraulic cylinder moving the telescopic section.

Характеристика датчику лінійного переміщення штоку гідравлічного циліндру приводу стріли та рукояті розраховувалась за наступною залежністю:

$$L = \frac{1{,}291 \cdot L_n \cdot (U - 0{,}1 \cdot U_v)}{U_v}, \qquad (2)$$

де L_n – номінальний довжина вимірювання; U – напруга вихідного сигналу; U_v – напруга живлення датчика.

А залежність характеристики датчика лінійного переміщення штоку гідравлічного циліндру приводу телескопічної секції має наступний вигляд:

$$L = \frac{1{,}2072 \cdot L_n \cdot (U - 0{,}1 \cdot U_v)}{U_v}. \qquad (3)$$

При переміщенні ланок стрілової системи виникає коливання вантажу, який закріплений на жорсткому шарнірному підвісі на кінці стрілової системи. Кріплення вантажу виконано таким чином, що вантаж може здійснювати коливання тільки в площині зміни вильоту. Тому для відслідковування величини кута відхилення вантажу від вертикалі використано аналоговий резистивний датчик кутового переміщення DDR RFT 5KTGL39x28/2,5W. Корпус датчика нерухомо закріплений на кінці телескопічної секції співвісно шарнірного кріплення вантажу, а рухомий ротор датчика з'єднано з вантажем через жорстку штангу (рис. 11). Отже, при жорсткому зв'язку ротора датчика та вантажу, при відхиленні останнього, буде провертатись ротор датчика, тим самим змінюючи вихідну напругу.

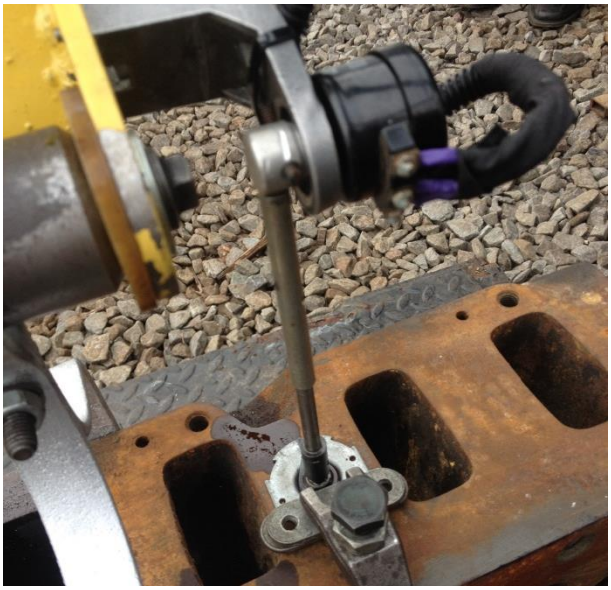


Рис. 11. Розміщення датчика вимірювання кутового відхилення вантажу на фізичній моделі крана-маніпулятора.

Fig. 11. Placement of the sensor for measuring the angular deviation of the load on the physical model of the crane-manipulator.

Тарування датчика виконувалось за допомогою кутоміра УН-127. Характеристика датчику кутового відхилення вантажу від вертикалі визначалась за наступною залежністю

$$\nu = \frac{1{,}291 \cdot \nu_n \cdot (U - 0{,}1 \cdot U_v)}{U_v}, \qquad (4)$$

де ν_n – номінальний кут вимірювання; U – напруга вихідного сигналу; U_v – напруга живлення датчика.

Тарувальна характеристика датчика кутового відхилення представлена на рис. 12.

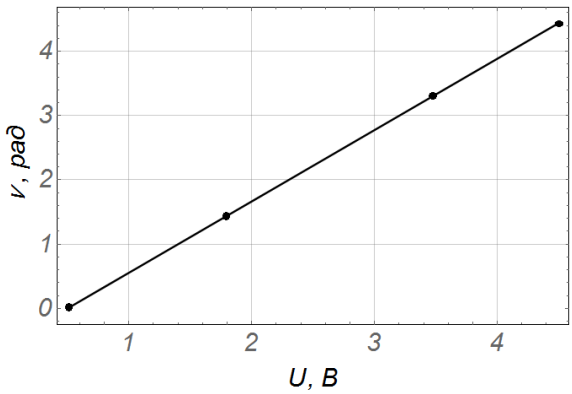


Рис. 12. Тарувальна характеристика датчика кутового відхилення вантажу від вертикалі.

Fig. 12. Calibration characteristic of the sensor of angular deviation of cargo from a vertical.

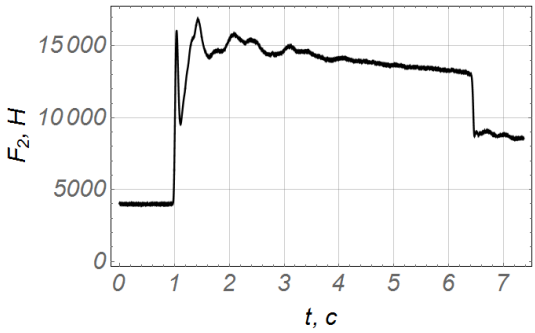
Живлення встановлених датчиків виконується від джерела постійного струму ємністю 100 Ah та

номінальною напругою 12 В. Наступна стабілізація вихідної напруги виконується за допомогою лінійного стабілізатора 142ЕН5А із фіксованою напругою 5 В та похибкою стабілізації напруги 0,05%.

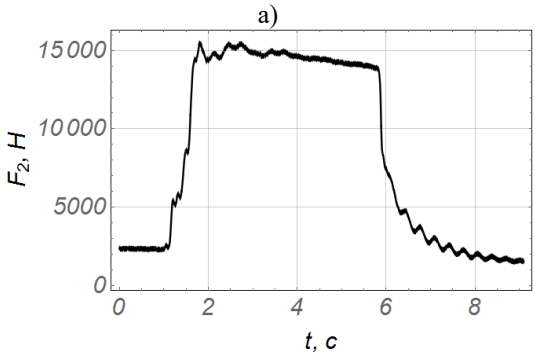
Для отримання аналогових сигналів з датчиків застосовано мікросхему збору даних m-DAQ14, «ХОЛИТ™ Дэйта Системс», яка була під'єднана через USB 2.0 High Speed інтерфейс до персонального комп'ютера HP Elite Book 8440p із встановленим програмним забезпеченням.

В процесі проведення експериментальних досліджень отримані числові дані вимірювання з датчиків, оброблені мікросхемою збору даних, передавались на персональний комп'ютер та зберігались в ньому у форматі «txt» документа для їх подальшої обробки.

Отримані результати експериментального дослідження режимів руху стрілової системи при поєднанні одночасного переміщення рукояті та телескопічної секції з використанням заводського та конструктивно зміненого золотників наведено в графічному вигляді на рис. 13 – рис. 19.



а)



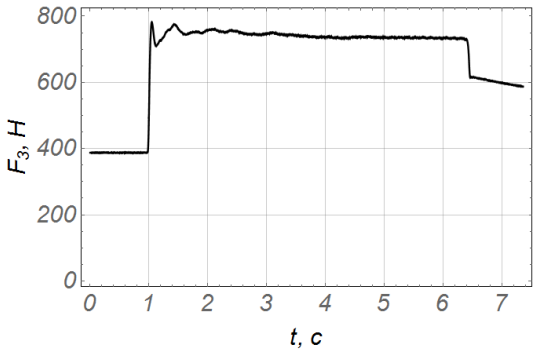
б)

Рис. 13. Графік зусилля яке розвиває гідравлічний циліндр приводу рукояті: а) заводський золотник; б) конструктивно змінений золотник

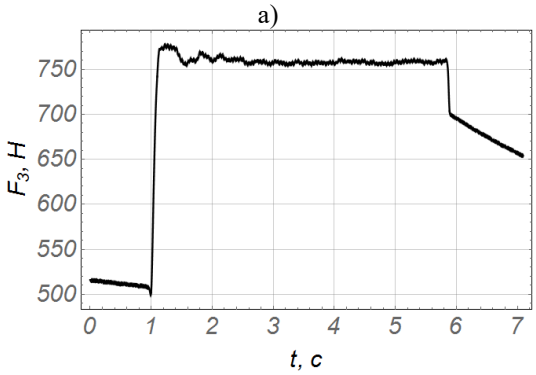
Fig. 13. The schedule of effort which develops the hydraulic cylinder of the drive of the jib: a) a factory spool; b) structurally changed spool.

Аналізуючи графіки зусилля (рис. 13 а), видно, що на початку руху рукояті із використанням заводських золотників виникає миттєве зростання зусилля, значення якого становить: $F_2 = 16202$ Н. В подальшому відбувається значний спад, а потім зростання значення зусилля, розмах якого становить $\Delta F_2 = 7536$ Н. При подальшому переміщенні спостерігається значне зусилля. За умови використання конструктивно змінених золотників з графіку зусилля (рис. 13 б) видно, що розгін відбувається плавно, а по його закінченні, набувають пікові значень зусилля, які дорівнюють $F_2 = 15750$ Н. При подальшому переміщенні спостерігаються коливання затухаючого характеру зусилля, розмах яких становить $\Delta F_2 = 1432$ Н.

При порівнянні між собою обох режимів руху видно, що при використанні конструктивно змінених золотників значення пікових зусиль на початку руху менші на 3%, а розмах зусиль зменшився на 81%.



а)



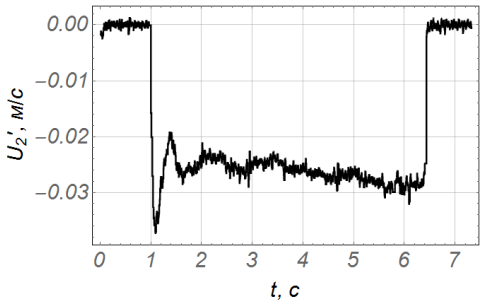
б)

Рис. 14. Графік зусилля, яке розвиває гідравлічний циліндр приводу телескопічної секції: а) заводський золотник; б) конструктивно змінений золотник.

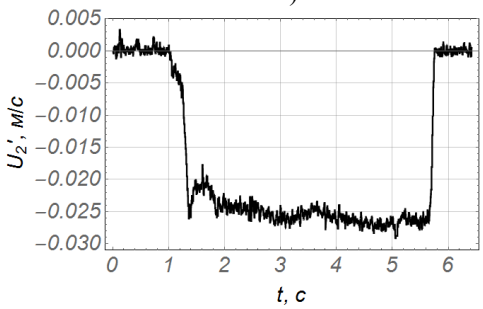
Fig. 14. Graph of the force that develops the hydraulic cylinder of the drive of the telescopic section: a) factory spool; b) structurally changed spool.

В початковий момент зменшення вильоту телескопічної секції при використанні заводських золотників виникає миттєве зростання зусилля (рис. 14 а), яке набуває пікових значень $F_3 = 784$ Н. При цьому номінальне значення зусилля становить $F_3 = 746$ Н, що на 5% менше від пікових значень. При подальшому переміщенні відбувається значний спад, а потім зростання значень зусилля, розмах яких становить $\Delta F_3 = 77$ Н. При використанні конструктивно змінених золотників зусилля (рис. 14 б) зростає плавно та в кінці розгону телескопічної секції набуває пікових значень $F_3 = 778$ Н. При цьому номінальне значення зусилля становить $F_3 = 754$ Н, що на 3% менше від пікового значення. Подальше переміщення супроводжується незначними коливаннями зусилля. Аналізуючи графіки швидкостей переміщення штоків гідравлічних циліндрів приводу рукояті та

телескопічної секції (рис. 15 та рис. 16) видно, що при застосуванні заводських золотників на перехідних режимах руху та виходу на усталений рух виникають пікові значення швидкості, які значно перевищують номінальні значення.



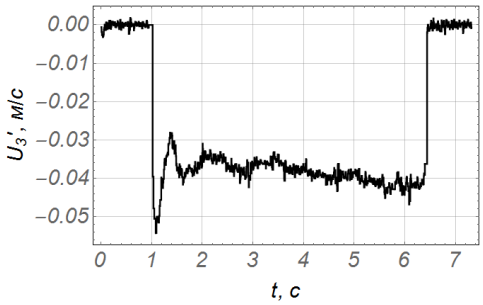
а)



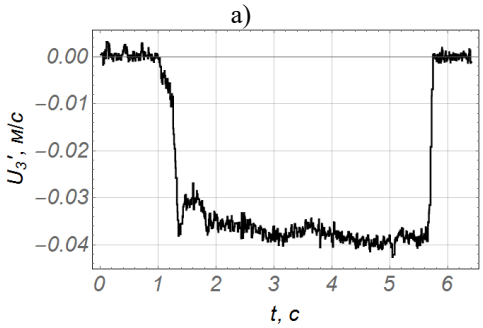
б)

Рис. 15. Графік швидкості переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу рукояті: а) заводський золотник; б) конструктивно змінений золотник.

Fig. 15. Graph of the speed of movement of the rod of the hydraulic cylinder of the jib drive: a) factory spool; b) structurally changed spool.



а)



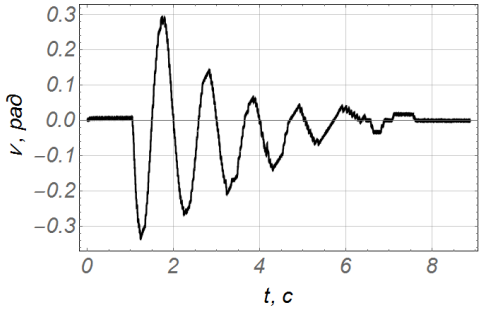
б)

Рис. 16. Графік швидкості переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу телескопічної секції: а) заводський золотник; б) конструктивно змінений золотник.

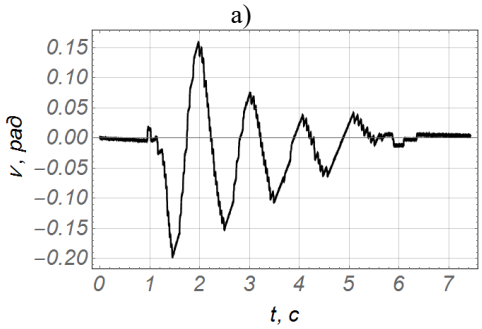
Fig. 16. Graph of the speed of movement of the rod of the hydraulic cylinder of the drive of the telescopic section: a) factory spool; b) structurally changed spool.

Швидкість переміщення штоку гідравлічного циліндру приводу рукояті та телескопічної секції на початку руху стрімко зростає та набуває пікового значення, яке відповідно дорівнює 0,037 м/с та 0,054 м/с. При цьому номінальна швидкість переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу рукояті становить 0,025 м/с, а телескопічної секції 0,036 м/с. Різниця між номінальними та піковими значеннями для швидкості штоку гідравлічного циліндру приводу рукояті становить 32%, а телескопічної секції 33%.

За умови одночасного кутового переміщення рукояті та зменшення вильоту телескопічної секції відбувається знакозмінне відхилення вантажу (рис. 17).



а)



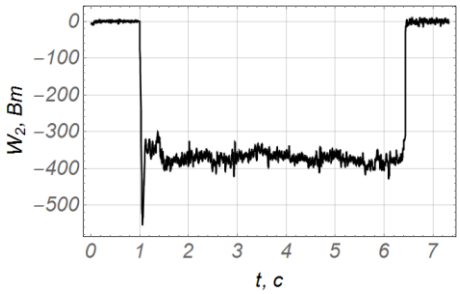
б)

Рис. 17. Графік кутового відхилення вантажу: а) заводський золотник; б) конструктивно змінений золотник.

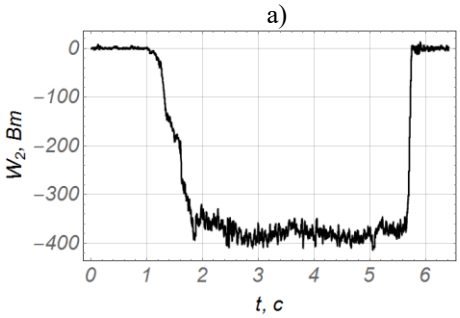
Fig. 17. Graph of angular deviation of cargo: a) factory spool; b) structurally changed spool.

Максимальне відхилення вантажу на початку руху при використанні заводських золотників (рис. 17, а) набуває значення $\nu = -0{,}34$ рад. При цьому розмах відхилення складає $\Delta\nu = 0{,}64$ рад. При гальмуванні розмах коливань становить $\Delta\nu = 0{,}06$ рад, а тривалість затухання коливань становить 1 с. Використовуючи конструктивно змінені золотники максимальне значення відхилення вантажу (рис. 17, б) на початку руху $\nu = -0{,}2$ рад. При цьому розмах відхилення складає $\Delta\nu = 0{,}36$ рад. При гальмуванні розмах коливань становить $\Delta\nu = 0{,}02$ рад, а тривалість затухання коливань дорівнює 0,8 с. Порівнюючи між собою обидва режими , можна відмітити, що за роботи із конструктивно зміненим золотником відхилення вантажу на початку руху зменшилось на 41%, а розмах відхилення вантажу на початку руху зменшився на 44%. Під час гальмування розмах коливань зменшився на 67%, а тривалість затухання коливань на 20%.

Для оцінки енергоефективності переміщення рукояті та телескопічної секції з вантажем за використання заводських та конструктивно змінених золотників на рис. 18 та рис. 19 наведено результати споживаної потужності.



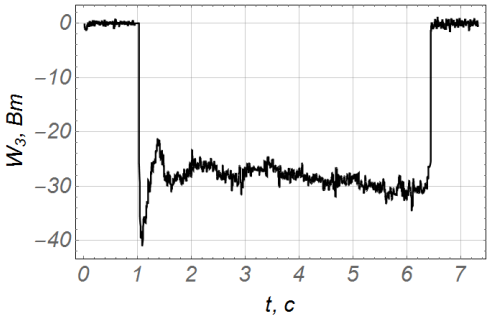
а)



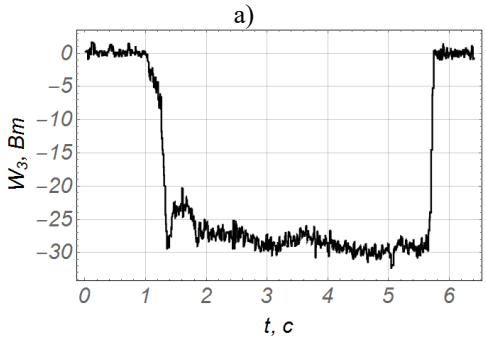
б)

Рис. 18. Графік затраченої потужності для переміщення рукояті з вантажем: а) заводський золотник; б) конструктивно змінений золотник.

Fig. 18. The schedule of the spent power for the movement of the jib with cargo: a) a factory spool; b) structurally changed spool.



а)



б)

Рис. 19. Графік затраченої потужності для переміщення телескопічної секції з вантажем: а) заводський золотник; б) конструктивно змінений золотник.

Fig. 19. Graph of power consumption for moving the telescopic section with cargo: a) factory spool; b) structurally changed spool.

При використанні заводських золотників спостерігається миттєве зростання споживаної потужності, яке перевищує номінальні значення для переміщення рукояті на 35% та телескопічної секції на 33%. При подальшому переміщенні спостерігаються значні відхилення споживаної потужності від номінального значення. Це викликано коливаннями тиску робочої рідини, металоконструкції стрілової системи та вантажу. Використовуючи конструктивно зміненні золотники, дало можливість забезпечити плавне зростання споживаної потужності до номінального значення та в подальшому рівномірне її споживання з незначними відхиленнями від номінального значення.

Висновки

1. В результаті проведених експериментальних досліджень за одночасного кутового переміщення рукояті та зменшення вильоту телескопічної секції, та при порівнянні між собою обома режимами руху видно, що при використанні конструктивно змінених золотників пікові значення зусиль для переміщення рукояті на початку руху зменшились на 3%, а розмах зусиль – на 81%.

2. Відхилення вантажу на початку руху зменшилось на 41%, розмах відхилення вантажу - на 44%, а підчас гальмування на 67%. При цьому тривалість затухання коливань зменшилась на 20%.

Список літератури

1. Руководство по эксплуатации крана манипулятора ОМТЛ-70.00.000РЭ и его модификаций: веб-сайт URL: http://service-palfinger.ru/images/OMTL-70.pdf (Дата звернення 09.06.2019).

2. ПБ-10-257-98 Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов-манипуляторов.[Утвержден 31.12.98]. Гостехнадзор. Москва,1998. 172 с. (Информация и документация).

3. *Ковальский В. Ф.* Математическое моделирование динамики манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины с учетом упругости звеньев. Известия МАМИ. 2016. №3. С. 9-15.

4. *Мильто А. А.* Динамический и прочностной анализ гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин: дисс. … канд. техн. наук: Москва. МАДГТУ (МАДИ), 2016. 172 с.

5. *Бакай Б. Я.* Попереднє представлення рівняння динаміки маніпулятора методом Лагранжа-Ейлера. Науковий вісник НЛТУ України: Львів. Видавництво НЛТУ України, 2011. Вип. 21.18. С. 322-327.

6. *Ловейкін В. С., Міщук Д. О.* Математична модель динаміки зміни вильоту крана маніпулятора з жорсткими ланками. Техніка будівництва. КНУБА, 2006. Вип. №19. С. 26-29.

7. *Ловейкін В. С., Міщук Д. О.* Математичне моделювання зміни вильоту вантажу маніпулятором з

гідроприводом. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини. Київ. 2012. С. 9-15.

8. *Лагерев И. А.* Моделирование рабочих процессов манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов: монография. Брянск изд. РИО БГУ. 2016. 371 с.

9. *Ловейкін В. С., Мищук Д. О.* Експериментальне дослідження динаміки руху штока гідроциліндра підйому шарнірнозчленованої стрілової системи крана-маніпулятора з гідроприводом Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2011. № 78. С. 28-34.

10. *Емтыль З. К. Бартенев Н. М., Татаренко А. П.* О влияние податливости рабочей жидкости и элементов гидропривода на динамическую нагруженность гидроманипулятора при совмещении движений звеньев. Труды ФОРА (Физического Общества Республики Адыгея) Майкоп: Изд-во АГУ, 2000. № 6. С. 83-87.

11. *Емтыль З. К., Бартенев И. М, Драплюк М. В., Попиков П. И., Татаренко А. П., Бухтояров Л. Д.* Гидроманипулятори и лесотехническое оборудование: монография. Москва.ФЛИНТА: Наука, 2011. 408 с.

12. *Добрачев А. А., Раевская Л. Т., Швец А. В.* Кинематические схемы, структуры и расчет параметров лесопромышленных манипуляторных машин: монография. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 128 с.

13. *Міщук Д. О.* Дослідження динамічної моделі гідравлічного циліндра об'ємного гідроприводу Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2016. № 87. С. 74-81.

14. *Тертычный-Даури В. Ю.* Динамика робототехнических систем. Санкт-Петербург. НИУ ИТМО, 2012. 128 с.

15. *Заболотный К. С. Сирченко А. А. Жупиев А. Л.* Использование прямой задачи динамики для расчета манипулятора тоннельного укладчика. Вібрації в техніці та технологіях. Національний гірничий університет. 2016. №2 (82). С. 22-27.

16. *Dobrachev A. A., Raevskaya L. T., Shvets A. V.* Simulating the dynamic reaction of manipulator supports. Russian Engineering Research. 2010. Vol. 30. No. 1. P. 11-16.

17. *Ловейкин В. С., Мищук Д. А.* Синтез оптимального динамического режима движения стрелы манипулятора, установленного на упругом основании. Наука и Техника. 2019. Том 18. №1. С. 55-61.

18. *Loveikin V., Romasevych Y., Shymko L., Ohiienko M., Duczmal W., Potwora W., Titova L., Rogovskii I.* Agrotronics and optimal control of cranes and hoisting machines: monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 2020. 164 p.

References

1. Operation manual of the crane of the OMTL-70.00.000RE manipulator and its modifications: website http://service-palfinger.ru/images/OMTL-70.pdf (Date beast 09.06.2019).

2. PB-10-257-98 (1998). Rules for the Construction and Safe Operation of loader crane [Approved 12.31.98]. Gostekhnadzor. (Information and documentation). Moscow.

3. *Kovalsky V. F.* (2016). Mathematical modeling of the dynamics of the handling system of a mobile transport-technological machine, taking into account the elasticity of the links. MAMI. 3. 9-15.

4. *Milto A. A.* (2016). Dynamic and strength analysis of hydraulic crane-manipulators of mobile transport-technological machines (Unpublished candidate thesis). Moscow.

5. *Bakai B. Ya.* (2011). The previous presentation of the dynamic of the manipulator by the Lagrange-Euler method. Vidavnitstvo NLTU Ukraine. 322-327.

6. *Loveykin V. S., Mishchuk D. O.* (2006). Mathematical model of dynamics of change of departure of a crane of a manipulator with rigid links, Journal of Construction Engineering. KNUBA. 19. 26-29.

7. *Loveykin V. S., Mischuk D. O.* (2012). Mathematical modeling of changes in cargo departure with a hydraulic drive. Girnichi, budivelni, dorozhni i meliorativni mashini. 9-15.

8. *Lagerev I. A.* (2016). Simulation of workflows of handling systems of mobile multi-purpose transport and technological machines and complexes. Monograph. RIO BGU, Bryansk.

9. *Loveykin V. S., Mishchuk D. O.* (2011). Experimental study of dynamics of the stock of a hydraulic cylinder for lifting a hinged articulated boom system of a crane-manipulator with a hydraulic drive. Girnichi, budivelni, dorozhni i meliorativni mashini. 78. 28-34.

10. *Emtyl Z. K., Bartenev N. M., Tatarenko A. P.* (2000). About the influence of the flexibility of the working fluid and the elements of the hydraulic drive on the dynamic loading of the hydraulic manipulator when combining the movements of the links. Physical Society of the Republic of Adygea. 6. 83-87.

11. *Emtyl Z. K., Bartenev I. M, Draplyuk M. V., Popikov P. I., Tatarenko A. P., Bukhtoyarov L. D. (*2011). Hydraulic manipulator and forestry equipment: monograph, FLINTA, Nauka, Moscow.

12. *Dobrachev A. A., Raevskaya L. T., Shvets A. V.* (2014). Kinematic schemes, structures and calculation of parameters of timber processing manipulator machines: monograph, Ural state forestry University Yekaterinburg.

13. *Mishuk D. O.* (2016). Research of a dynamic model of a hydraulic cylinder of a volumetric hydraulic drive. Girnichi, budivelni, dorozhni i meliorativni mashini. 87. 74-81.

14. *Tertychny-Dauri V. Yu.* (2012). The dynamics of robotic systems. NRU ITMO.

15. *Zabolotny K. S. Sirchenko A. A. Zhupiev A. L.* (2016). Use of the direct problem of dynamics for calculating the manipulator of a tunnel stacker. Vibration in technology and technology. National Mining University. 2 (82) 22-27.

16. *Dobrachev A. A., Raevskaya L. T., Shvets A. V.* (2010). Simulating the dynamic reaction of manipulator supports. Russian Engineering Research. 1. 11-16.

17. *Loveykin V. S., Mishchuk D. A.* (2019). Synthesis of the optimal dynamic mode of movement of the boom of

the manipulator mounted on an elastic base. Science and Technology. 18(1). 55-61.

18. *Loveikin V., Romasevych Y., Shymko L., Ohiienko M., Duczmal W., Potwora W., Titova L., Rogovskii I.* (2020). Agrotronics and optimal control of cranes and hoisting machines: monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 164.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ КРАНА-МАНИПУЛЯТОРА С ГРУЗОМ ПРИ СОВМЕЩЕННОМ ДВИЖЕНИЙ

В. С. Ловейкин, А. А. Сподоба

Анотация. С целью повышения производительности и надежности крана-манипулятора с гидроприводом согласно нормативно-технической документацией, регламентирующей безопасную эксплуатацию многозвенных кранов-манипуляторов, допускается совмещение движений с одновременным перемещением нескольких звеньев стреловой системы. В результате в работе рассмотрена методика проведения экспериментальных исследований в плоскости изменения вылета стреловой системы крана-манипулятора с грузом. Экспериментальные исследования проводились при условии одновременного углового перемещения рукояти и уменьшения линейного перемещения телескопической секции.

Для проведения экспериментальных исследований спроектировано и изготовлено экспериментальную установку крана-манипулятора с гидравлическим приводом. Подобрано и настроено измерительно-регистрирующее оборудование.

В рамках проведения экспериментальных исследований динамики перемещения стреловой системы крана-манипулятора с грузом разработана система управления механизмами привода, которая дает возможность реализовать оптимальные режимы движения звеньев стреловой системы.

В результате проведены экспериментальные исследования при условии одновременного перемещения рукояти и телескопической секции с грузом на конце стреловой системы. Получено пакет данных по реальным и оптимальным режимам движения звеньев стреловой системы крана-манипулятора. Обработанные данные приведены в графическом виде и проведен сравнительный анализ с реальными и оптимальными режимами движения.

Разработана методика проведения экспериментальных исследований, позволила определить влияние одновременного перемещения стрелы и рукояти на колебания груза, и влияние колебания груза на динамические нагрузки, возникающие в стреловой системе и механизмах привода крана-манипулятора.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, изменение вылета, совмещение движений, кран-манипулятор, динамические нагрузки, колебания груза.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF MODES OF MOVEMENT OF MANIPULATOR CRANE WITH LOAD AT COMBINATION OF MOVEMENTS

V. S. Loveikin, O. O. Spodoba

Abstract. In order to increase the productivity and reliability of a hydraulic-powered loader crane, according to the normative-technical documentation regulating the safe operation of multi-link cranes, it is allowed to combine movements with the simultaneous movement of several links of the boom system. As a result, the paper considers a technique for conducting experimental studies in the plane of changing the boom system of a loader crane with a load. Experimental studies were carried out under the condition of simultaneous angular movement of the jib and a decrease in the linear movement of the telescopic section.

To carry out experimental studies, an experimental installation of a hydraulic-driven loader crane was designed and manufactured. Measuring and recording equipment has been selected and adjusted.

In the framework of experimental studies of the dynamics of movement of the boom system of a loader crane with a load, a control system for drive mechanisms has been developed, which makes it possible to realize the optimal modes of movement of the links of the boom system.

As a result, experimental studies were carried out under the condition of the simultaneous movement of the jib and the telescopic section with a load at the end of the boom system. A package of data on real and optimal modes of movement of the links of the boom system of the loader crane was received. The processed data are presented in graphical form and a comparative analysis with real and optimal modes of movement is carried out.

The developed method of experimental research has made it possible to determine the effect of the simultaneous movement of the boom and jib on the oscillations of the load, and the effect of the oscillations of the load on the dynamic loads arising in the boom system and the drive mechanisms of the loader crane.

Key words: experimental research, change in departure, the combination of movements, loader crane, dynamic loads, load vibrations.

В. С. Ловейкін ORCID 0000-0003-4259-3900.
О. О. Сподоба ORCID 0000-0001-8217-866X.