

DOI 10.32820/2079-1747-2021-28-5-17

УДК 621.87

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РУХУ КРАНА-МАНІПУЛЯТОРА. ЧАСТИНА 1****©Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Сподоба О.О.***Національний університет біоресурсів і природокористування України***Інформація про авторів:**

**Ловейкін Вячеслав Сергійович:** ORCID: 0000-0003-4259-3900; lovvs@ukr.net; доктор технічних наук; завідувач кафедри конструювання машин і обладнання; Національний університет біоресурсів і природокористування України; навчальний корпус №11, вул. Героїв Оборони, 12, м. Київ, 03041, Україна.

**Ромасевич Юрій Олександрович:** ORCID: 0000-0001-5069-5929; romasevichyuriy@ukr.net; доктор технічних наук; професор кафедри конструювання машин і обладнання; Національний університет біоресурсів і природокористування України; навчальний корпус №11, вул. Героїв Оборони, 12, м. Київ, 03041, Україна.

**Сподоба Олександр Олексійович:** ORCID: 0000-0001-8217-866X; sp1309@ukr.net; Ph.D, доктор філософії, галузь знань «Механічна інженерія», асистент кафедри конструювання машин і обладнання; Національний університет біоресурсів і природокористування України; навчальний корпус №11, вул. Героїв Оборони, 12, м. Київ, 03041, Україна.

З метою підвищення продуктивності та надійності крана-маніпулятора з гідравлічним приводом в роботі розглянута методика проведення експериментальних досліджень в площині зміни вильоту стрілової системи крана-маніпулятора з вантажем за реальними та оптимальними режимами руху. На даному етапі експериментальні дослідження проводились за умови тільки кутового переміщення рукояті.

Для проведення експериментальних досліджень власноруч 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 конструктивно змінений золотник із дросельними щілинами, який поліпшив характеристики режимів руху та дав можливість реалізувати оптимальні режими руху ланок стрілової системи.

В результаті проведено експериментальні дослідження за умови кутового переміщення рукояті з вантажем на кінці стрілової системи, як за реального так і оптимального режимів руху. Отримано пакет даних за реальними та оптимальними режимами руху ланок стрілової системи крана-маніпулятора з гідравлічним приводом. Оброблені дані наведені в графічному вигляді та проведено порівняльний аналіз за реальними та оптимальними режимами руху.

Аналіз проведених експериментальних досліджень дав змогу визначити вплив переміщення рукояті на коливання вантажу, та вплив коливання вантажу на динамічні навантаження, які виникають в стріловій системі та елементах гідравлічного приводу крана-маніпулятора за різними режимами руху.

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

*Loveikin V.S., Romasevich Yu.O., Spodoba O.O.* «Experimental studies of motion modes of the loader crane. Part 1»

In order to increase the productivity and reliability of a hydraulic-driven loader crane, the paper considers a technique for conducting experimental studies in the area of changing the boom system of a loader crane with a load in real and optimal modes of movement. At this stage, experimental studies were carried out under the condition of only the angular movement of the jib.

To carry out experimental research, an experimental installation of a hydraulic-driven loader crane was personally designed and manufactured. The measuring and recording equipment was selected and adjusted.

Within the framework of the experimental studies of the dynamics of movement of the boom system of a loader crane, with a load, a constructively modified spool with throttling slots was developed, which improved the characteristics of the movement modes and made it possible to realize the optimal modes of movement of the links of the boom system.

As a result, the experimental studies were carried out under the condition of angular displacement of the jib with a load at the end of the boom system both in real and in optimal modes of the movement. A data package was received for the real and optimal modes of movement of the links of the boom system of a hydraulic drive loader crane. The processed data were presented graphically and a comparative analysis of the real and optimal modes of movement was carried out.

The analysis of the experimental studies carried out made it possible to calculate the effect of the jib movement on the oscillations of the load, and the actual effect of the load oscillations on the dynamic loads that arise in the boom system and elements of the hydraulic drive of the loader crane under different modes of movement.

**Keywords:** experimental research, change in departure, loader crane, dynamic loads, load vibrations.

### **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 переміщенні штоків гідроциліндрів та відповідно від коливання вантажу на кінці стрілової системи. Динамічні навантаження залежать від кінематичних параметрів крана-маніпулятора та від характеру зміни швидкості переміщення ланок стрілової системи з вантажем. Тому для визначення дійсних динамічних навантажень в елементах конструкції крана-маніпулятора та механізмах приводу при переміщенні ланок стрілової системи необхідно мати адекватні експериментальні дані.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Відомі [3-13] 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 [6-13] 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 навантаженість крана-маніпулятора. В роботі [14] розглянуто методику проведення експериментальних досліджень в площині зміни вильоту стрілової системи із вантажем крана-маніпулятора за умови одночасного кутового переміщення рукояті та зменшення лінійного переміщення телескопічної секції.

При досить великому обсязі теоретичного розгляду проблеми динамічного аналізу руху ланок стрілової системи, не до кінця розглянуто фактичні динамічні навантаження. Які виникають при виконанні технологічного процесу розвантажувально-завантажувальних операціях.

### **Постановка мети та завдання дослідження**

Метою проведення експериментальних досліджень режимів руху ланок стрілової системи 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.

### **Виклад основного матеріалу**

Експериментальні дослідження динаміки переміщення ланок стрілової системи крана-маніпулятора були проведені в два етапи. На першому етапі проводились дослідження динаміки переміщення ланок стрілової системи за реального режиму руху. На другому етапі проводились дослідження динаміки переміщення ланок стрілової системи за оптимального режиму руху.

Керування рухом штоків гідравлічних циліндрів виконувалось вручну за допомогою шестисекційного гідравлічного золотникового розподільника. Прийнято, що золотники переміщуються ривком одразу на повну величину переміщення.

В перших трьох секціях гідравлічного розподільника було встановлено заводські золотники для реалізації реального режиму руху. В наступних трьох секціях встановлено конструктивно змінені золотники для реалізації оптимального режиму руху. На першому етапі для реалізації реального режиму руху до перших трьох секцій із заводськими золотниками було підключено через рукава високого тиску гідравлічні циліндри приводу стріли, рукояті та телескопічної секції, а на секції з конструктивно зміненими золотниками було встановлено заглушки. На другому етапі для реалізації оптимального режиму руху рукава високого тиску були пере підключені з перших трьох секцій до наступних трьох секцій із встановленими конструктивно зміненими золотниками, а на секції із заводськими золотниками було встановлено заглушки. Перед початком проведення експериментальних досліджень за допомогою окремо встановлених дроселів була відрегульована швидкість переміщення ланок стрілової системи, яка приймалась однаковою, як для реального так і оптимального режимів руху.

Експериментальні дослідження режимів руху ланок стрілової системи проводились на власноруч спроектованій та виготовленій експериментальній установці крана-маніпулятора з гідравлічним приводом (рис. 1).



**Рис. 1** – Розроблена експериментальна установка крана-маніпулятора з гідравлічним приводом

Початок руху починався із положення штоку гідравлічного циліндру приводу стріли  $U_1 = 0,84$  м, що відповідає кутовому положенню стріли  $\alpha = 0,41$  рад, відносно горизонту. При цьому положення штоку гідравлічного циліндру приводу рукояті дорівнювало  $U_2 = 0,89$  м, що відповідає кутовому положенню рукояті координаті  $\beta = -1,17$  рад, відносно горизонту. Виліт телескопічної секції дорівнював  $U_3 = 0,4$  м. (Рис.2)





а)



б)

**Рис. 3** – Золотник гідравлічного розподільника: а) базовий (заводського виконання); б) конструктивно змінений

При проведенні експериментальних досліджень характеристики режимів руху переміщення ланок стрілової системи, виготовленої експериментальної установки крана-маніпулятора з гідравлічним приводом, застосовувалось високоточне електронне обладнання.

Для визначення характеристик тиску та відповідно зусиль, які розвивають гідравлічні циліндри використано тензометричні датчики тиску марки BOSCH 0 281 002 522. Датчики тиску вмонтовані в напірну гідравлічну лінію через виготовлені різьбові адаптери.

Для визначення положення та переміщення штоку гідравлічного циліндру приводу рукояті 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.

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. Тарування датчику переміщення штоку відбувалось також безпосередньо на експериментальній установці. Тарувальні характеристики датчиків наведено в роботі [15]

Розміщення датчиків тиску та переміщення на експериментальній установці зображено на рис. 4.

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.



а)

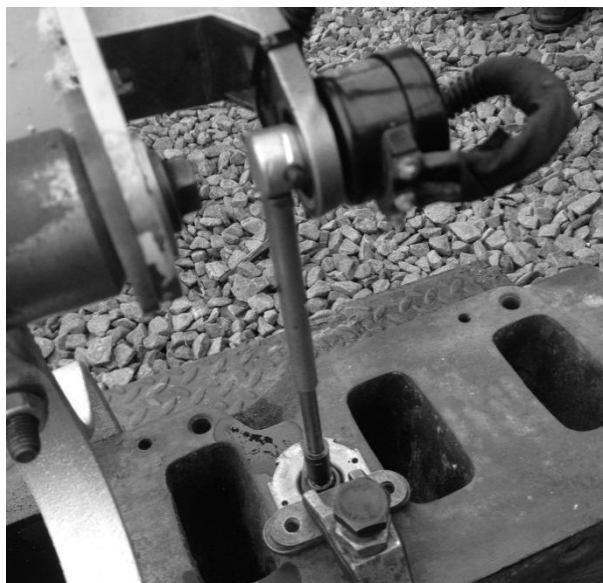


б)

**Рис. 4** – Розміщення датчиків тиску а) та переміщення штоку гідравлічного циліндра б) на експериментальній установці

В процесі переміщення ланок стрілової системи за різними законами руху в результаті 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. Отже, при жорсткому зв'язку ротора датчика та вантажу, при відхиленні останнього, буде провертатись ротор датчика, тим самим змінюючи вихідну напругу. Розміщення датчика вимірювання кутового відхилення вантажу на експериментальній установці зображено на рис. 5. А тарувальна характеристики датчика наведена в роботі [15].

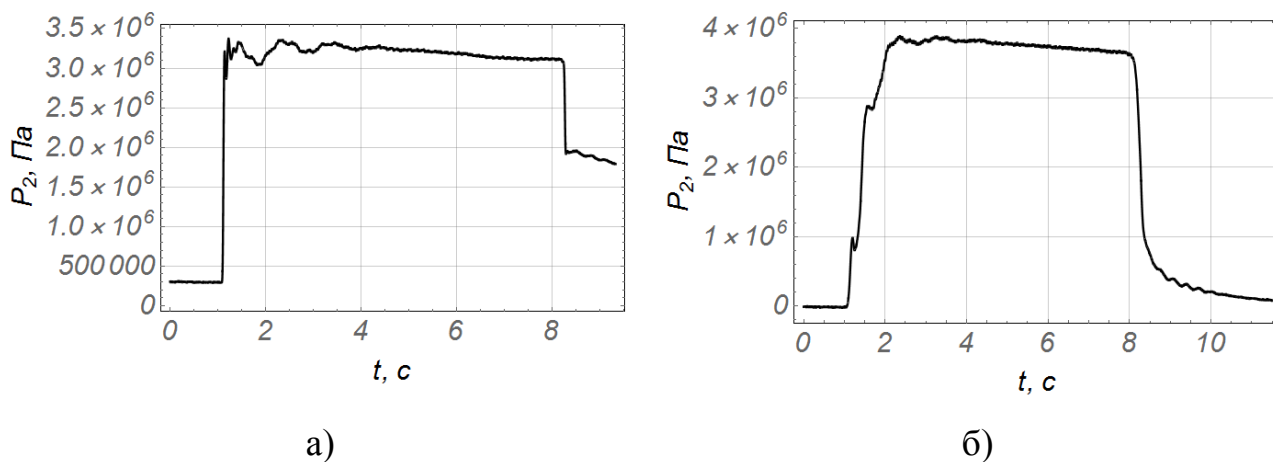


**Рис. 5** – Розміщення датчика вимірювання кутового відхилення вантажу на експериментальній установці крана-маніпулятора

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.

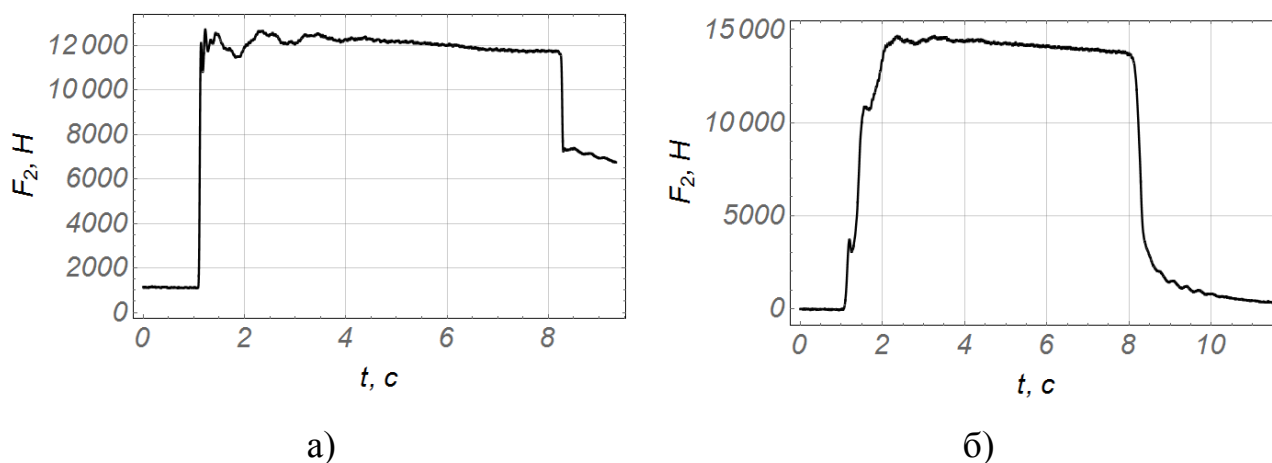
В процесі проведення експериментальних досліджень отримані числові дані вимірювання з датчиків, оброблені мікросхемою збору даних, передавались на персональний комп'ютер та зберігались в ньому у форматі «txt» документа для їх подальшої обробки.

Отримані результати експериментального дослідження режимів руху стрілової системи з використанням заводського та конструктивно зміненого золотників наведено в графічному вигляді на рис. 6 – рис. 11.



**Рис. 6** – Графік зміни тиску в гідравлічному циліндрі приводу рукояті: а) базовий золотник; б) конструктивно змінений золотник

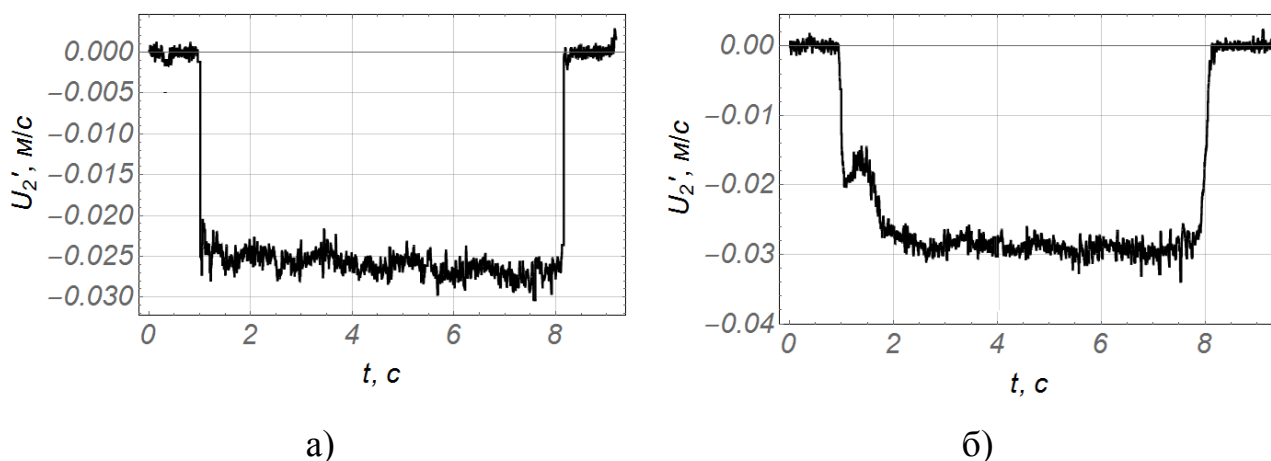




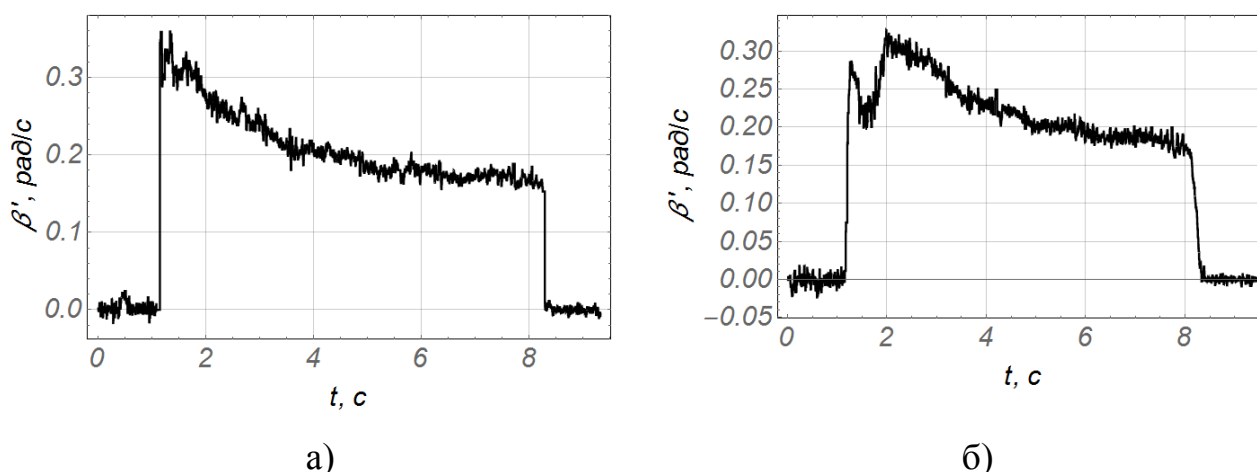
**Рис. 7** – Графік зусилля яке розвиває гідравлічний циліндр приводу рукояті: а) базовий золотник; б) конструктивно змінений золотник

Аналізуючи графік тиску (рис. 6 а) та графік зусилля (рис. 7 а), видно, що при пуску стріли із використанням базових золотників виникає миттєве зростання тиску та відповідно зусилля, максимальне значення яких становить:  $P_2 = 3,4 \cdot 10^6$  Па та  $F_2 = 12811$  Н. При подальшому переміщенні, на проміжку часу від 1 с до 4,5 с, спостерігаються коливання тиску та зусилля затухаючого характеру. Максимальне значення розмаху яких відповідно становить  $\Delta P_2 = 5,5 \cdot 10^5$  Па та  $\Delta F_2 = 2073$  Н. При гальмуванні значення тиску та зусилля миттєво спадає, що, в свою чергу, призводить до виникнення відхилення вантажу від вертикалі, яке в подальшому супроводжується коливаннями.

Аналізуючи графік тиску (рис. 6 б) та графік зусилля (рис. 7 б), видно, що при пуску механізму приводу із використанням конструктивно змінених золотників зростання тиску та зусилля відбувається плавно, але супроводжується незначними коливаннями під час розгону. Значення тиску при виході на усталений рух дорівнює  $P_2 = 3,9 \cdot 10^6$  Па, при цьому гідравлічний циліндр розвиває зусилля  $F_2 = 14695$  Н. При подальшому переміщенні штоку гідравлічного циліндра при усталеному русі спостерігаються незначні коливання, які викликані коливаннями вантажу закріпленого на кінці стрілової системи (рис. 10 б). При гальмуванні значення тиску та зусилля зменшується плавно, що, в свою чергу, призводить до зменшення значення відхилення вантажу від вертикалі та відповідно, зменшення тривалості його коливань на жорсткому шарнірному підвісі.



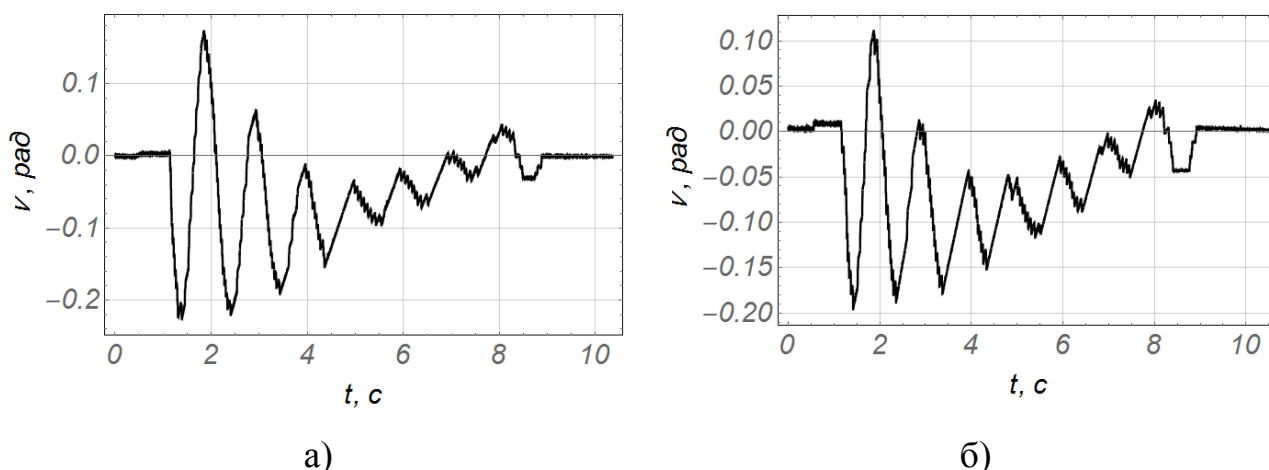
**Рис. 8** – Графік швидкості переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу рукояті: а) базовий золотник; б) конструктивно змінений золотник



**Рис. 9** – Графік кутової швидкості переміщення рукояті: а) заводський золотник; б) конструктивно змінений золотник

Аналізуючи графік лінійної швидкості штоку гідравлічного циліндру (рис. 8 а) та графік кутової швидкості рукояті (рис. 9 а) видно, що при застосуванні базових золотників розгін відбувається миттєво. При подальшому переміщенні виражено відхилення лінійної швидкості штоку гідравлічного циліндру від номінального значення, які зумовлені коливаннями металоконструкції стрілової системи та вантажу. При цьому значення середньої швидкості усталеного руху становить 0,026 м/с. Кутова швидкість рукояті набуває максимального значення 0,25 рад/с в момент часу 1,1 с. При подальшому переміщенні кутова швидкість має спадаючий характер до значення 0,17 рад/с в момент часу 8,2 с. Це явище викликано кінематичними характеристиками стрілової системи за рахунок чого виникає нерівномірне обертання ланок стрілової системи навколо своїх осей при рівномірному переміщенні штоків гідравлічних циліндрів.

При використанні конструктивно змінених золотників (рис. 8. б та рис. 9 б) розгін відбувається плавно, але з невеликим провалом на проміжку від 0,8 до 1,5 с, що зумовлено відхиленням вантажу, яке співпадає з напрямком переміщення рукояті (рис. 10 б). Швидкість усталеного руху штоку гідравлічного циліндру становить 0,029 м/с, а максимальне значення кутової швидкості рукояті дорівнює 0,31 рад/с.



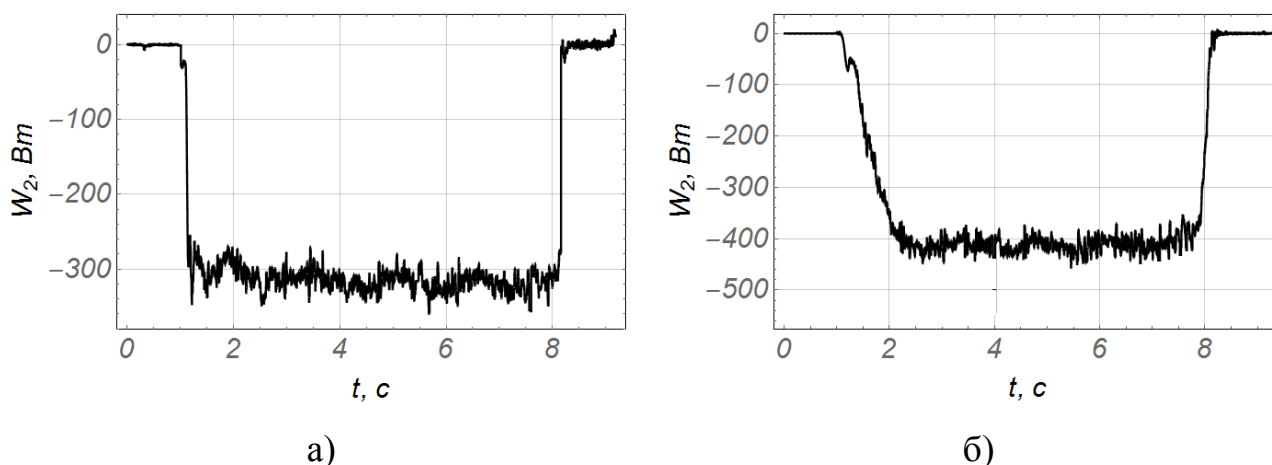
**Рис. 10** – Графік кутового відхилення вантажу: а) базовий золотник; б) конструктивно змінений золотник

Аналізуючи графічні залежності кутового відхилення вантажу (рис. 10) встановлено, що для обох випадків режимів руху під час розгону стрілової системи виникає знакозмінне відхилення вантажу від вертикалі затухаючого характеру. Для режиму руху стріли із застосуванням базового золотника (рис. 10 а) значення розмаху відхилення вантажу на початку руху становить  $\Delta \nu = 0,4$  рад. Під час гальмування спостерігаються коливання знакозмінного характеру протягом 1 с, розмах яких дорівнює  $\Delta \nu = 0,07$  рад.

Для режиму руху стріли із застосуванням конструктивно зміненого золотника (рис. 10 б) значення розмаху відхилення вантажу на початку руху становить  $\Delta \nu = 0,31$  рад. В момент гальмування виникають коливання вантажу закріпленого на жорсткому шарнірному підвісі знакозмінного характеру протягом 1 с, розмах яких дорівнює  $\Delta \nu = 0,07$  рад.

Порівнюючи між собою обидва режими, можна відмітити, що розмах відхилення вантажу на початку руху за роботи із конструктивно зміненим золотником на 25% зменшився.

За результатами експериментальних досліджень переміщення стрілової системи за роботи тільки гідравлічного циліндра приводу стріли визначено енергетичну ефективність за режимами руху із використанням заводського та конструктивно зміненого золотників (рис. 11).



**Рис. 11** – Графік затраченої потужності для переміщення рукояті з вантажем: а) базовий золотник; б) конструктивно змінений золотник

Аналізуючи графік затраченої потужності для переміщення рукояті з вантажем (рис. 11 а), видно, що вихід на номінальну споживану потужність відбувається миттєво та в подальшому супроводжується незначними відхиленнями від номінального значення. Максимальне значення відхилення становить 22 Вт. Аналізуючи графік затраченої потужності для переміщення рукояті з вантажем (рис. 11 б), видно, що вихід на номінальну споживану потужність відбувається плавно на протязі 2,5 с. При подальшому переміщенні стрілової системи з вантажем відхилення потужності від номінального значення є незначними.

### Висновки

В результаті проведених експериментальних досліджень переміщення рукояті, та при порівнянні між собою за обома режимами руху видно, що при використанні конструктивно змінених золотників тиск та зусилля в момент розгону зростають плавно без явно виражених пікових значень. Що є позитивним ефектом. Про це свідчить зменшення кутового відхилення вантажу на 25% та відповідно рівномірне споживання потужності.

### Список використаних джерел:

1. Ковальський В. Ф. Математическое моделирование динамики манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины с учетом упругости звеньев / В. Ф. Ковальский // Известия МАМИ. – 2016. – № 3. – С. 9–15.
2. Мильто А. А. Динамический и прочностной анализ гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин : дис. ... канд. техн. наук / А. А. Мильто. – М. : МАДГТУ (МАДИ), 2016. – 172 с.
3. Бакай Б. Я. Попереднє представлення рівняння динаміки маніпулятора методом Лагранжа-Ейлера / Б. Я. Бакай // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів : Вид-во НЛТУ України, 2011. – Вип. 21.18. – С. 322–327.
4. Ловейкін В. С. Математична модель динаміки зміни вильоту крана маніпулятора з жорсткими ланками / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук // Техніка будівництва. – 2006. – Вип. 19. – С. 26–29.
5. Ловейкін В. С. Математичне моделювання зміни вильоту вантажу маніпулятором з гідроприводом / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини. – 2012. – № 79. – С. 9–15.
6. Лагерев И. А. Моделирование рабочих процессов манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов : монография / И. А. Лагерев. – Брянск : Изд-во РИО БГУ, 2016. – 371 с.
7. Ловейкін В. С. Експериментальне дослідження динаміки руху штока гідроциліндра підйому шарнірнозчленованої стрілової системи крана-маніпулятора з гідроприводом / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2011. – № 78. – С. 28–34.
8. Емтыль З. К. О влиянии податливости рабочей жидкости и элементов гидропривода на динамическую нагруженность гидроманипулятора при совмещении движений звеньев / З. К. Емтыль, Н. М. Бартнев, А. П. Татаренко // Труды ФОРА (Физического Общества Республики Адыгея). – 2000. – № 6. – С. 83–87.

9. Гидроманипуляторы и лесотехническое оборудование: монография / З. К. Емтыль, Н. М. Бартнев, М. В. Драплюк, П. И. Попиков, А. П. Татаренко, Л. Д. Бухтояров. – М. : ФЛИНТА : Наука, 2011. – 408 с.
10. Добрачев А. А. Кинематические схемы, структуры и расчет параметров лесопромышленных манипуляторных машин : монография / А. А. Добрачев, Л. Т. Раевская, А. В. Швец ; Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2014. – 128 с.
11. Мішук Д. О. Дослідження динамічної моделі гідравлічного циліндра об'ємного гідроприводу / Д. О. Мішук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2016. – № 87. – С. 74–81.
12. Dobrachev A. A. Simulating the dynamic reaction of manipulator supports / A. A. Dobrachev, L. T. Raevskaya, A. V. Shvets // Russian Engineering Research. – 2010. – Vol. 30, No.1. – Pp. 11–16.
13. Ловейкин В. С. Синтез оптимального динамического режима движения стрелы манипулятора, установленного на упругом основании / В. С. Ловейкин, Д. О. Мішук // Наука и техника. – 2019. – Т. 18, № 1. – С. 55–61.
14. Ловейкин В. С. Экспериментальні дослідження режимів руху крана-манипулятора з вантажем при суміщенні рухів / В. С. Ловейкин, О. О. Сподоба // Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. – 2020. – Vol. 11, No 3. – Pp. 5–15.
15. Сподоба О. О. Оптимізація режимів руху крана-манипулятора з гідроприводом : дис. д-ра філософії / О. О. Сподоба. – Київ : НУБіП, 2020. – 245 с.

### References

1. Kovalskij, V 2016, 'Matematicheskoe modelirovanie dinamiki manipulyacionnoj sistemy mobil'noj transportno-tekhnologicheskoy mashiny s uchetom uprugosti zvenev', *Izvestiya MAMI*, no. 3, pp. 9-15.
2. Milto, A 2016 'Dinamicheskij i prochnostnoj analiz gidravlicheskih krano-manipulyatornyh ustanovok mobil'nyh transportno-tekhnologicheskij mashin', Kand.tekhn.n. thesis, Moskovskiy avtomobilno-dorozhnyiy gosudarstvennyiy tehniceskij universitet, Moskva.
3. Bakaj, B 2011, 'Poperedne predstavleniya rivnyannya dinamiki manipulyatora metodom Lagranzha-Ejlera', *Naukovij visnik Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy*, iss. 21.18, pp. 322-327.
4. Lovejkin, V & Mishchuk, D 2006, 'Matematichna model dinamiki zmini vilotu krana manipulyatora z zhorstkimi lankami', *Tekhnika budivnictv*, iss.19, pp. 26-29.
5. Lovejkin, V & Mishchuk, D 2012, 'Matematicheskie modelyuvannya zmini vilotu vantazhu manipulyatorom z gidroprivodom', *Girnichy, budivelni, dorozhni i meliorativni mashini*, no. 79, pp. 9-15.
6. Lagerev, I 2016, *Modelirovanie rabochih processov manipulyacionnyh sistem mobilnyh mnogocelevykh transportno-tekhnologicheskij mashin i kompleksov*, Izdatelstvo Redakcionno-izdatelskogo otdela Brjanskogo gosudarstvennogo universiteta, Bryansk.
7. Lovejkin, V & Mishchuk, D 2011, 'Eksperimentalne doslidzhennya dinamiki ruhu shtoka gidrocilindra pidjomu sharnirnozchlenovanoi strilovoi sistemi krana-manipulyatora z gidroprivodom', *Girnichy, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini*, no. 78, pp. 28-34.
8. Emtyl, Z, Bartenev, I & Tatarenko, A 2000, 'O vliyanie podatlivosti rabochej zhidkosti i elementov gidroprivoda na dinamicheskuyu nagruzhennost gidromanipulyatora pri sovmeshchenii dvizhenij zvenev', *Trudy Fizicheskogo Obshchestva Respubliki Adygeya*, Majkop, no. 6, pp. 83-87.
9. Emtyl, Z, Bartenev, I, Draplyuk, M, Popikov, P, Buhtoyarov, A & Tatarenko, L 2011, *Gidromanipulyatory i lesotekhnicheskoe oborudovanie*, FLINTA, Nauka, Moskva.
10. Dobrachev, A, Raevskaya, L & Shvets, A 2014 *Kinematicheskie skhemy, struktury i raschet parametrov lesopromyshlennykh manipulyatornykh mashin*, Uralskij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet, Ekaterinburg.
11. Mishchuk, D 2016, 'Doslidzhennya dinamichnoi modeli gidravlichnogo cilindra obemnogo gidroprivodu', *Girnichy, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini*, no. 87, pp. 74-81.
12. Dobrachev, A, Raevskaya, L & Shvets, A 2010, 'Simulating the dynamic reaction of manipulator supports', *Russian Engineering Research*, vol. 30, no. 1, pp. 11-16.
13. Lovejkin, V & Mishchuk, D 2019, 'Sintez optimalnogo dinamicheskogo rezhima dvizheniya strely manipulyatora, ustanovlennogo na uprugom osnovanii', *Nauka i tekhnika*, vol. 18, no. 1, pp. 55-61.
14. Lovejkin, V & Spodoba, O 2020, 'Eksperimentalni doslidzhennya rezhimiv ruhu krana-manipulyatora z vantazhem pri sumishcheni ruhiv', *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*, Kyiv, vol. 11, no. 3, pp. 5-15.
15. Spodoba, O 2020, 'Optimizaciya rezhimiv ruhu krana-manipulyatora z gidroprivodom', Doct.filos.n. thesis, Natsionalnyi universytet bioresursiv i pryrodokorystuvann, Kyiv.

Стаття надійшла до редакції 04 червня 2021 року