

**Національний університет біоресурсів і  
природокористування України  
Факультет конструювання та дизайну  
Науково-дослідний інститут техніки і технологій  
Відділення в Любліні Польської академії наук**

**Інженерно-технічний факультет  
Словацького університету наук про життя**

**Естонський університет наук про життя**

**Агроінженерний факультет  
Природничого університету в Любліні**

**Інженерно-технічний факультет  
Празького університету наук про життя**



**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ  
XX МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИХ  
ПРАЦІВНИКІВ, НАУКОВИХ СПІВРОБІТНИКІВ ТА АСПІРАНТІВ  
«ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ ТА  
БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ:  
КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙН»**

**(19-20 березня 2020 року)**

**Київ-2020**

УДК 621.87

**РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИНАМІКИ  
НЕРЕМІЩЕННЯ СТРІЛОВОЇ СИСТЕМИ КРАНА-МАНІПУЛЯТОРА  
ЗА УМОВИ ОДНОЧАСНОГО НЕРЕМІЩЕННЯ РУКОЯТІ ТА  
ТЕЛЕСКОПІЧНОЇ СЕКЦІЇ**

*В.С. Ловеїкін, д.т.н., проф.,  
Ю.О. Ромасевич, д.т.н., доц.,  
О.О. Сподоба, аспірант,  
М.О. Сподоба, аспірант*

***Національний університет біоресурсів і природокористування України***

Метою експериментальних досліджень є отримання фактичних результатів динаміки переміщення стрілової системи крана-маніпулятора із шарнірно закріпленим вантажем за реальним та оптимальним режимами руху та порівняння їх з результатами, отриманими теоретичним шляхом.

Для отримання фактичних результатів динамічного режиму руху стрілової системи крана-маніпулятора з гідроприводом було розроблено його фізичну модель. За основу взято кран-маніпулятор виробництва «Велмаш» моделі ОМТЛ – 70-02. Використовуючи теорію подібності, визначено коефіцієнти пропорційності геометричних, масових та силових параметрів до реального крана-маніпулятора.

Враховуючи вище перелічене, було виготовлено експериментальну установку крана-маніпулятора з гідроприводом, яка дає можливість проводити повноцінні експериментальні дослідження з визначенням кінематичних параметрів ланок та динамічних навантажень при різноманітних режимах руху стрілової системи (рис. 1).



Рис. 1. Експериментальна установка крана-маніпулятора з гідравлічним приводом

Експериментальна установка складається з основи, на якій закріплена стійка. До стійки шарнірно прикріплена підйомна стріла, на кінці якої шарнірно прикріплено рукоять. У внутрішній порожнині рукояті розміщено телескопічну секцію. На кінці телескопічної секції, шарнірно на жорсткому підвісі, закріплено вантаж. При такому кріпленні відхилення вантажу від вертикалі відбувається тільки в площині зміни вильоту стрілової системи.

Привід ланок стрілової системи експериментальної установки крана-маніпулятора здійснюється за допомогою гідравлічних циліндрів. Для приводу стріли та рукояті використано гідравлічні циліндри ГЦ80.40.320, а для переміщення телескопічної секції гідравлічний циліндр ГЦ40.25.500. Для

подачі робочої рідини до гідравлічних циліндрів використано гідравлічний насос UN-16L-R08-D12.

Привід гідравлічного насосу здійснюється через поліклінопасову передачу від електродвигуна А02-31 з номінальною потужністю 3 кВт та номінальною частотою обертання 3000 об/хв. В якості робочої рідини використано гідравлічну оливу МГЕ-46В.

При проведенні експериментальних досліджень динаміки переміщення стрілової системи крана-маніпулятора з вантажем за реального та оптимального режимів руху необхідно створити керуючу дію на механізми приводу. Керування напрямком потоку робочої рідини та відповідно напрямком і режимом руху штоків гідравлічних циліндрів реалізовано за допомогою шестисекційного моноблочного золотникового розподільника OLEODINAMICA O.R.T.A. S.R.L. MB 25/6 з вмонтованим перепускним клапаном (рис. 2).



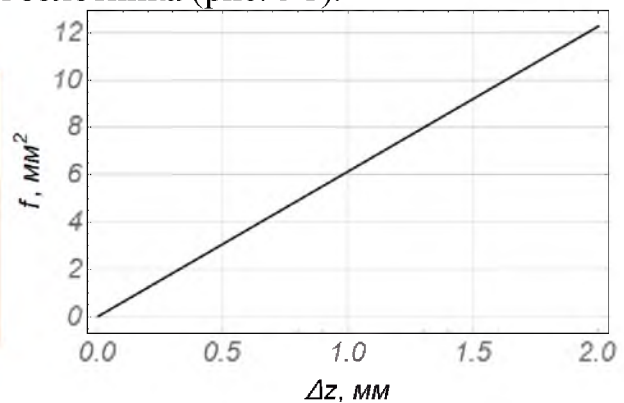
Рис. 2. Гідравлічний золотниковий розподільник

Експериментальні дослідження проводились в два етапи. Для отримання реальних режимів руху стрілової системи крана-маніпулятора з вантажем в перших трьох секціях гідравлічного розподільника встановлено штатні конструктивно не змінні золотники (рис. 3 а) з лінійною характеристикою зміни прохідної площі робочого каналу від переміщення золотника (рис. 3 б). Рукава високого тиску

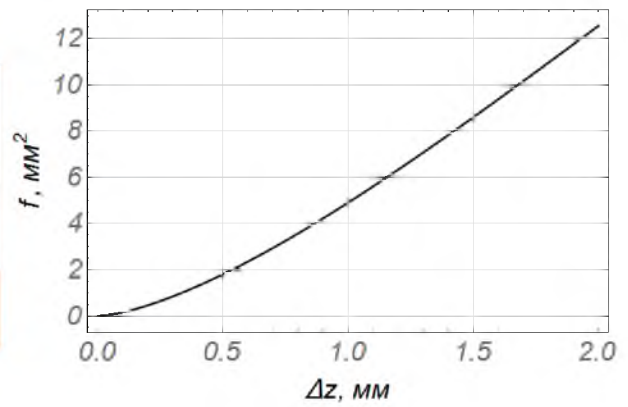
безпосередньо були підключені до перших трьох секцій гідравлічного розподільника. Після отримання експериментальних даних реальних режимів руху стрілової системи, рукава високого тиску встановлювались на наступні три секції, в яких для отримання оптимальних режимів руху встановлено конструктивно змінні золотники (рис. 3 в) з параболічною характеристикою зміни прохідної площі від переміщення золотника (рис. 3 г).



а)



б)



в)

г)

Рис. 3. Гідравлічний золотник: а) штатний конструктивно не змінний золотник; б) характеристика зміни прохідної площі робочого каналу від переміщення золотника; в) конструктивно змінний золотник; г) характеристика зміни прохідної площі робочого каналу від переміщення золотника

При проведенні експериментальних досліджень динаміки переміщення стрілової системи крана-маніпулятора з вантажем за умови одночасного кутового переміщення рукояті та лінійного переміщення телескопічної секції використано наступне реєструюче обладнання.

Для визначення переміщень штоків гідравлічних циліндрів приводу рукояті та телескопічної секції використано аналоговий резистивний датчик лінійного переміщення СП5-39А. Датчики встановлено безпосередньо на шток гідравлічного циліндра приводу рукояті (рис. 4 а) та телескопічну секцію (рис 4 б). Тарування датчиків виконувалось безпосередньо на експериментальній установці при початкових та кінцевих положеннях штоків гідравлічних циліндрів. Тарувальні характеристики датчиків занесені до таблиці 1.



а)

б)

Рис. 4 Розміщення датчиків лінійного переміщення: а) датчик лінійного переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу рукояті; б) датчик лінійного переміщення телескопічної секції



Тиск в гідравлічних циліндрах вимірювався за допомогою аналогових тензOMETричних датчиків тиску BOSCH 0 281 002 522. Датчики тиску через різьбові адаптери встановлені в лінії високого тиску гідравлічних циліндрів (рис. 5). Попередньо датчики тиску відтаровані заводом виробником, проте вони були перевірені за допомогою еталонного аналогового манометра. Тарувальні характеристики датчиків занесені до таблиці 1.



а)

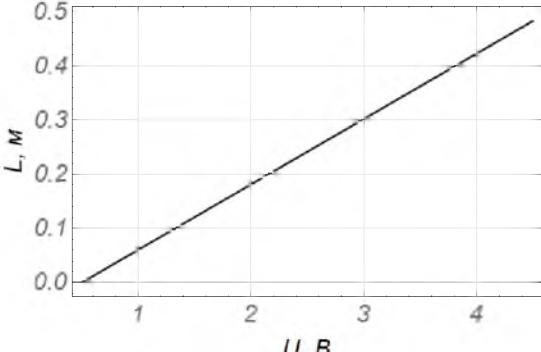
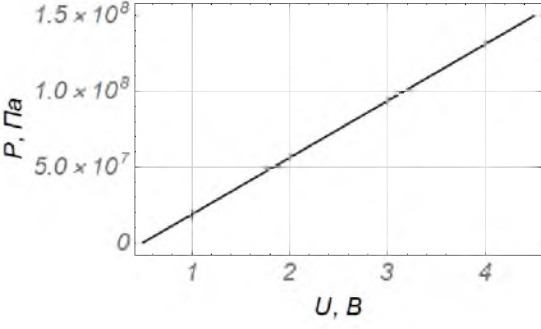

б)

Рис. 5. Розміщення датчиків тиску робочої рідини: а) датчик вимірювання тиску в гідравлічному циліндрі приводу рукояті; б) датчик вимірювання тиску в гідравлічному циліндрі приводу телескопічної секції

Кутове відхилення вантажу від вертикалі визначалось за допомогою аналогового резистивного датчика 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. 6). Тарувальні характеристики датчика занесені до таблиці 1.

Таблиця 1. Тарувальні характеристики датчиків

№	Характеристика датчика	
1	Датчик лінійного переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу рукояті СП5-39А	
	$L = \frac{1,291 \cdot L_n \cdot (U - 0,1 \cdot U_v)}{U_v}$ <p><math>L_n</math> - номінальна довжина вимірювання;  <math>U</math> - напруга вихідного сигналу;  <math>U_v</math> - напруга живлення датчика.</p>	

2	<p>Датчик лінійного переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу телескопічної секції СП5-39А</p> $L = \frac{1,2072 \cdot L_n \cdot (U - 0,1 \cdot U_v)}{U_v}$ <p><math>L_n</math> - номінальна довжина вимірювання;  <math>U</math> - напруга вихідного сигналу;  <math>U_v</math> - напруга живлення датчика</p>	
3	<p>Датчики вимірювання тиску BOSCH 0 281 002 522</p> $P = \frac{1,25 \cdot P_n \cdot (U - 0,1 \cdot U_v)}{U_v}$ <p><math>P_n</math> - номінальний тиск вимірювання;  <math>U</math> - напруга вихідного сигналу;  <math>U_v</math> - напруга живлення датчика</p>	
4	<p>Датчик кутового відхилення вантажу DDR RFT 5KTGL39x28/2,5W</p> $\nu = \frac{1,291 \cdot \nu_n \cdot (U - 0,1 \cdot U_v)}{U_v}$ <p><math>\nu_n</math> - номінальний кут вимірювання;  <math>U</math> - напруга вихідного сигналу;  <math>U_v</math> - напруга живлення датчика</p>	

Живлення встановлених датчиків виконується від джерела постійного струму ємністю 100 Аh та номінальною напругою 12 В. 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.



Рис. 6. Датчик вимірювання кутового відхилення вантажу

При проведені експериментальних досліджень динаміки переміщення стрілової системи крана-маніпулятора з вантажем за умови одночасного кутового переміщення рукояті та лінійного переміщення телескопічної секції за реального та оптимального режимів руху керування золотниковим розподільником виконувалось вручну. Золотники переміщувались ривком одразу на повну величину ходу.

Експериментальні дослідження при обох режимах руху проводились при даних початкових положеннях стрілової системи: положення стріли відповідає куту  $\alpha = 0,55$  рад відносно горизонту; початкове кутове положення рукояті становить  $\beta = -1,57$  рад відносно осі стріли; початкове лінійне положення телескопічної секції  $L = 0,4$  м; довжина підвісу вантажу становить  $l = 0,3$  м; маса вантажу 50 кг.

При проведенні експериментальних досліджень зібрані дані за різними режимами руху оброблено за допомогою прикладної програми Wolfram Mathematica.

Оброблені результати отриманих експериментальних досліджень зображено графічно на рис. 7 – рис. 10.

При реальному режимі руху з використанням штатного конструктивно незміненого золотника в початковий момент пуску в гідравлічних циліндрах приводу рукояті та телескопічної секції відбувається різке зростання тиску (рис. 7 а і рис. 7 в). Відповідно це є наслідком різкого зростання рушійного зусилля, що супроводжується значним збільшенням швидкості вихідних ланок гідравлічних циліндрів та елементів стрілової системи у початковий момент переміщення. Як результат такого руху відбувається значне відхилення вантажу від вертикалі – до 0,4рад (рис. 9 а). Подальше переміщення стрілової системи крана-маніпулятора супроводжується коливальним рухом затухаючого характеру. Максимальне значення відхилення вантажу становить 0,5рад.



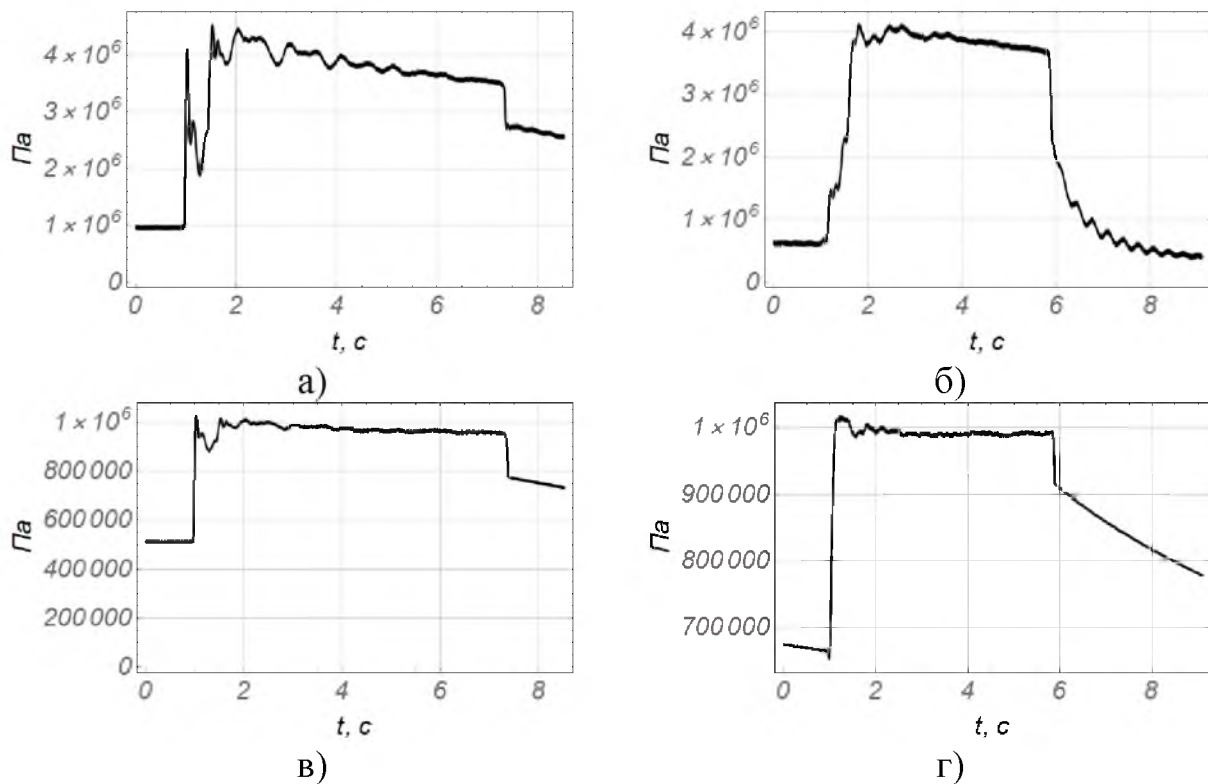
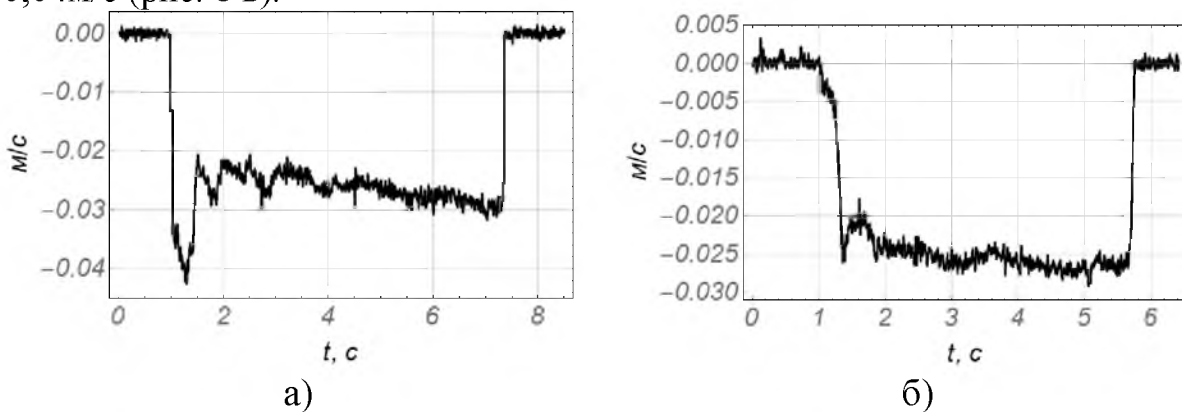


Рис. 7. Результати експериментальних досліджень тиску в гідравлічних циліндрах: а) і в) приводу рукояті та телескопічної секції за реального режиму руху; б) і г) приводу рукояті та телескопічної секції за оптимального режиму руху

В початковий момент руху швидкість переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу рукояті набуває максимального значення та становить  $0,042\text{м/с}$ , а швидкість усталеного руху штоку гідравлічного циліндра дорівнює  $0,025\text{м/с}$  (рис. 8 а). Відповідно кутова швидкість повороту рукояті в початковий момент руху набуває максимального значення  $0,51\text{рад/с}$ , а її усталене значення становить  $0,2\text{рад/с}$  (рис. 8 д). Швидкість переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу телескопічної секції в початковий момент руху дорівнює  $0,06\text{м/с}$ , а при усталеному русі дорівнює  $0,04\text{м/с}$  (рис. 8 в).



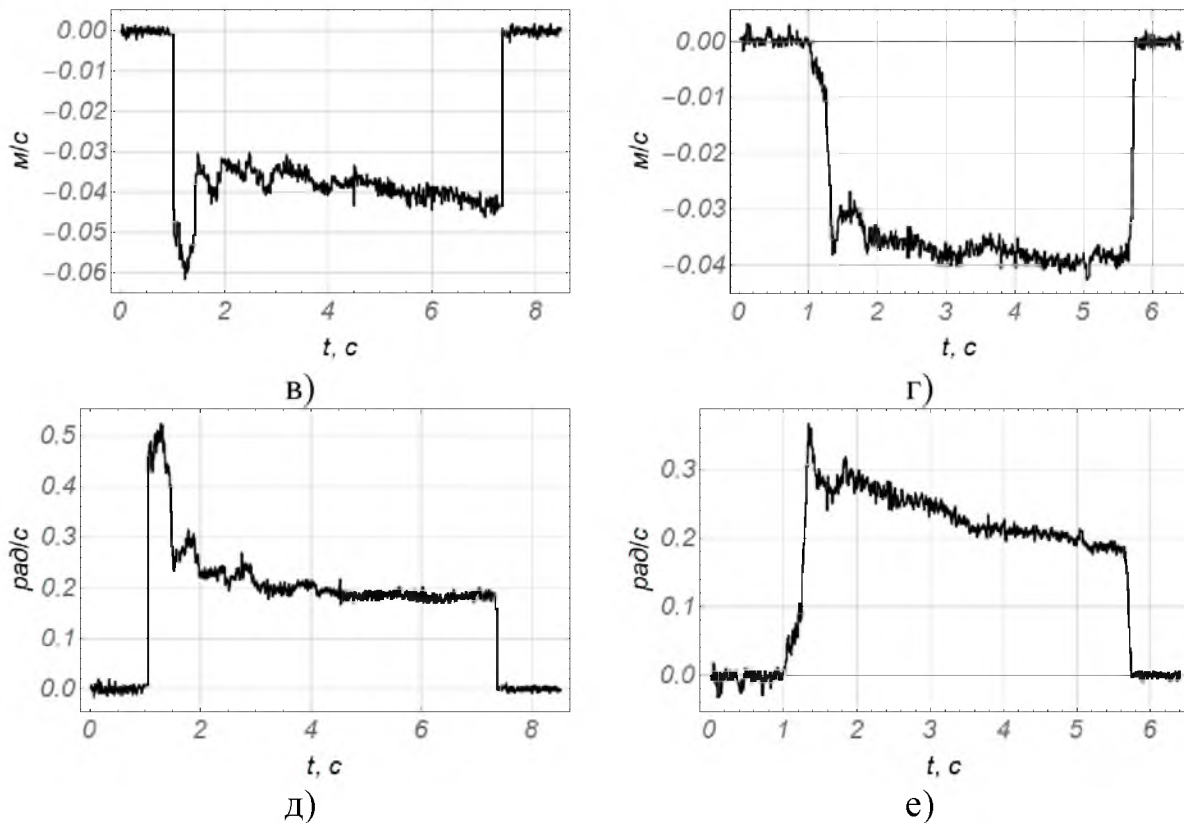


Рис. 8. Результати експериментальних досліджень швидкості переміщення: а) і в) штоків гідравлічних циліндрів приводу рукояті та телескопічної секції за реального режиму руху; б) і г) штоків гідравлічних циліндрів приводу рукояті та телескопічної секції за оптимального режиму руху; д) і е) рукояті за реального та оптимального режимів руху

При оптимальному режимі руху з використанням конструктивно змінених золотників в початковий момент пуску тиск в гідравлічних циліндрах приводу рукояті та телескопічної секції має плавний характер зростання (рис. 7 б і рис. 7 г). Відповідно це є наслідком плавного зростання рушійного зусилля та зменшенням динамічних навантажень в момент розгону елементів приводу та стрілової системи крана-маніпулятора. В результаті такого руху відхилення вантажу від вертикалі в початковий момент набуває максимального значення, яке дорівнює 0,2рад (рис. 9 б). При подальшому переміщенні стрілової системи крана-маніпулятора відбувається коливання вантажу затухаючого характеру.

В початковий момент руху швидкість переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу рукояті зростає плавно до швидкості усталеного руху, без явно виражених динамічних навантажень. При цьому швидкість усталеного руху штоку гідравлічного циліндра приводу рукояті дорівнює 0,025м/с (рис. 8 б). Відповідно кутова швидкість повороту рукояті зростає плавно та набуває максимального значення до 0,36рад/с (рис. 8 е). Швидкість переміщення штоку гідравлічного циліндра приводу телескопічної секції зростає плавно до швидкості усталеного руху 0,04 м/с без явно виражених динамічних навантажень (рис. 8 г).

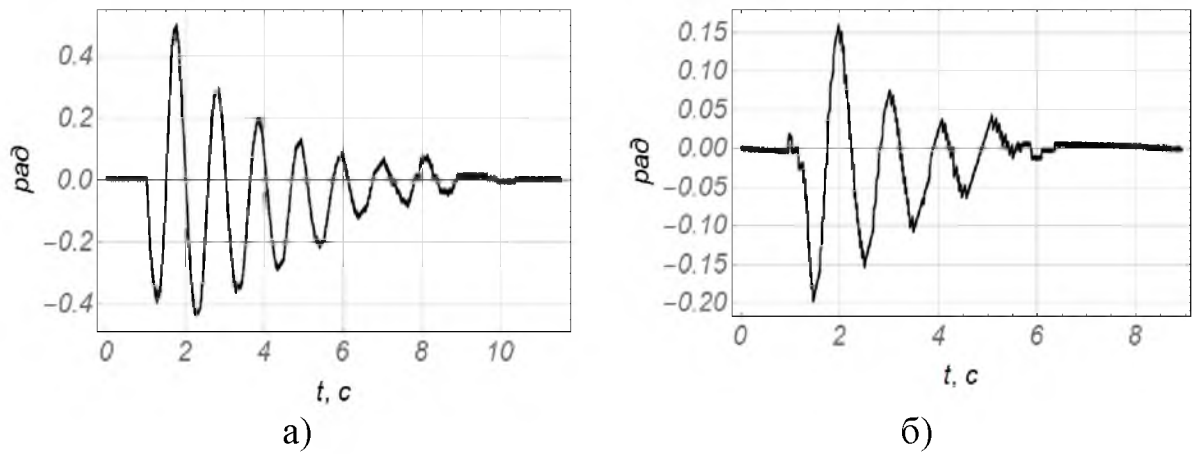


Рис. 9. Результати експериментальних досліджень відхилення вантажу від вертикалі: а) за реального режиму руху; б) за оптимального режиму руху

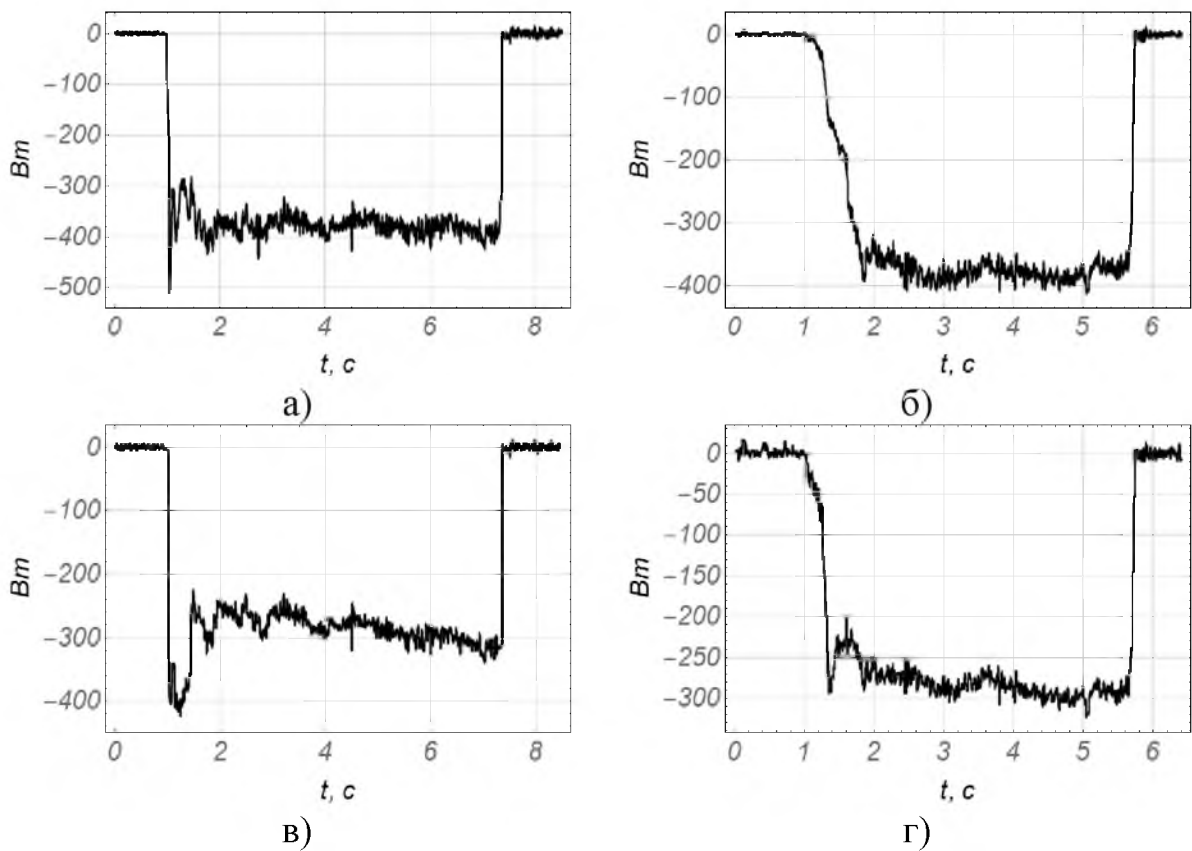


Рис. 10. Результати експериментальних досліджень затраченої потужності переміщення: а) і б) рукояті та телескопічної секції за реального режиму руху; в) і г) рукояті та телескопічної секції за оптимального режиму руху

Для оцінки енергоефективності використання режимів руху на рис. 10 наведено результати затраченої потужності для переміщення ланок стрілової системи крана-маніпулятора з вантажем при оптимальному та реальному режимах руху, звідки видно переваги оптимального режиму.