

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ РУХУ КРАНА-МАНІПУЛЯТОРА З ГІДРОПРИВОДОМ

Ловейкін В.С.

*Національний університет біоресурсів та природокористування, м. Київ,
Горбатюк Є.В., Міщук Д.О.*

Київський національний університет будівництва і архітектури

Розглянута експериментальна установка крана-маніпулятора з гідроприводом для проведення досліджень з визначенням динамічних навантажень на її робочому обладнанні. Представлено результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: маніпулятор, експеримент, динаміка маніпулятора.

Вступ. Гідрофіковані крани-маніпулятори на транспортних засобах широко застосовуються в народному господарстві при виконанні вантажних та монтажних робіт. Використання кранів-маніпуляторів підвищує продуктивність підйомно-транспортних операцій та скорочує кількість автотранспортних засобів. Значний вплив на ефективність виробничого процесу будівництва відіграє надійність кранів-маніпуляторів з гідроприводом, які використовують на транспортних засобах.

При переміщенні вантажів краном-маніпулятором, виникають динамічні навантаження, які призводять до утворення коливань вантажу, що передаються на гідропривід та металоконструкцію крана. Все це знижує продуктивність та ресурс такої машини.

Актуальність дослідження. Серед напрямків, що сприяють підвищенню надійності крана-маніпулятора слід відмітити зниження динамічних навантажень [1]. Однією з причин виникнення динамічних навантажень в кранах-маніпуляторах є несталий характер режимів роботи, обумовлений їх частим вмиканням. Несталий характер роботи крана-маніпулятора характеризується високими амплітудами коливань тиску в гідроприводі та прискореннями привідних механізмів. Це викликає нерівномірний рух вантажу, виникають додаткові навантаження на силові елементи та систему приводу, створюються незручності при експлуатації.

Існують способи зменшення динамічних навантажень в робочому обладнанні кранів-маніпуляторів та усунення коливань вантажу при їх переміщенні [2]. Одним з розповсюджених серед них є застосування слідкуючих систем [3], проте вони є складними динамічними ланками, а тому їх використання пов'язано зі значними витратами на виготовлення. Як пристрої, що дозволяють знижувати динамічні навантаження в ланках та приводі крана-маніпулятора, також застосовують автоматично регульовані гальмівні пристрої [4], які встановлюють в гідромагістралі системи гідроприводу. Проте без чітко визначеного режиму керування такими пристроями можливі розриви потоку робочої рідини в магістралях гідроприводу [5].

В наш час актуальними є задачі зниження динаміки роботи крана-маніпулятора, пов'язані з оптимальним керуванням [6]. На основі оптимізаційних задач визначаються режими руху стрілової системи крана-маніпулятора з мінімальними динамічними навантаженнями та коливаннями вантажу, на підставі яких виконують програмне керування. В роботах [7, 8] розглянуто та визначено оптимальні режими руху стрілової системи, а в дослідженні [8] приведено теоретичне визначення привідних сил за оптимальних режимів руху.

Постає задача експериментального дослідження роботи крана-маніпулятора та визначення ефективності оптимальних режимів руху його стрілової системи.

Постановка задачі. На розробленій експериментальній установці крана-маніпулятора з гідроприводом визначити динамічні навантаження в елементах шарнірно-зчленованої стрілової системи при неоптимальному та оптимальному керування та дослідити ефективність застосування оптимальних режимів руху.

Результати досліджень. Для проведення експериментальних досліджень розроблено фізичну модель крана-маніпулятора та визначені коефіцієнти її пропорційності до натурної установки [9]. На основі фізичної моделі виготовлена експериментальна установка, що складається з бази, на якій встановлена шарнірно-зчленована стріла з привідними гідроциліндрами, гідростанція та механізми системи керування (рис. 1).

При проведенні експериментальних досліджень зі встановлення закономірностей руху крана-маніпулятора на оптимальних та неоптимальних режимах руху, на робочих механізмах стрілової системи відтворено керуючу дію.



Рисунок 1 – Експериментальна установка крана-маніпулятора з гідроприводом

Для створення оптимальних режимів пуску і гальмування експериментальної установки крана-маніпулятора у процесі зміни вильоту вантажу, конструктивно змінено систему гідроприводу. В гідророзподільнику бортової гідросистеми було змінено конструкцію одного із золотників, а саме, на торцях робочих поверхонь циліндричного золотника нарізано дросельні проточки, згідно розрахунку оптимального режиму руху [8] (рис. 2).

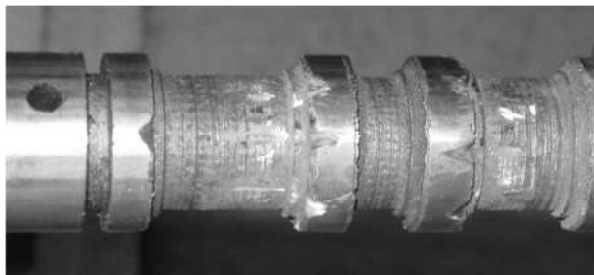


Рисунок 2 – Дросельні щілини на робочих поверхнях золотника

Характеристики руху стрілової системи визначалися з використанням електронного обладнання [9]. Виконувалось вимірювання прискорення штока привідного гідроциліндра підйому стріли та тиску в його напірній порожнині. Вимірювання при експериментальних дослідженнях проводилися за роботи експериментальної установки крана-маніпулятора без навантаження та з навантаженням робочого обладнання на неоптимальних і оптимальних режимах руху.

Експериментальні дослідження зміни вильоту стрілової системи крана-маніпулятора були проведені в два етапи. На першому етапі досліджувались параметри руху за зміни вильоту стрілової системи при русі підйомного гідроциліндра зі швидкістю, яка пропорційна швидкості натурального крана-маніпулятора. На другому етапі досліджувався рух підйомного гідроциліндра на підвищених швидкостях. Розгін стріли фізичної моделі крана-маніпулятора здійснювався з кута підйому 20 градусів, що відповідає положенню підйомного гідроциліндра 534 мм. На кожному з етапів експериментального дослідження проводились досліди по 5 серій кожний.

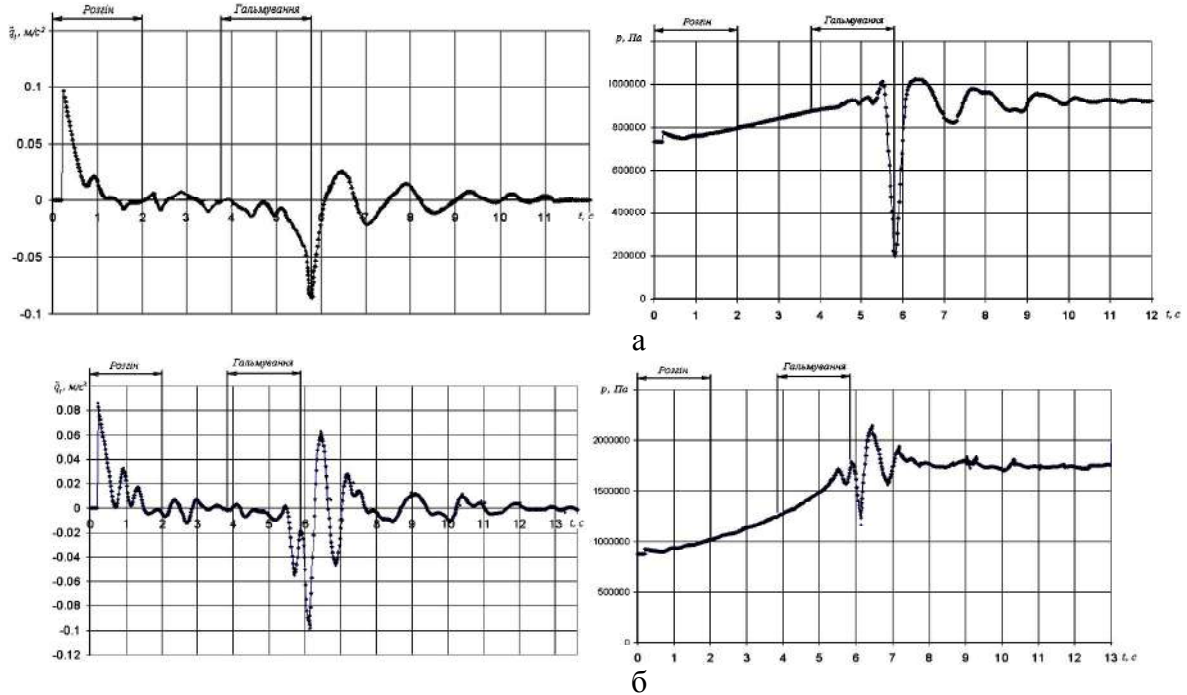


Рисунок 3 – Результати експериментальних досліджень експериментальної установки крана-маніпулятора за неоптимального режиму руху гідроциліндра підйому стріли: а – без вантажу; б – з вантажем 9,2 кг

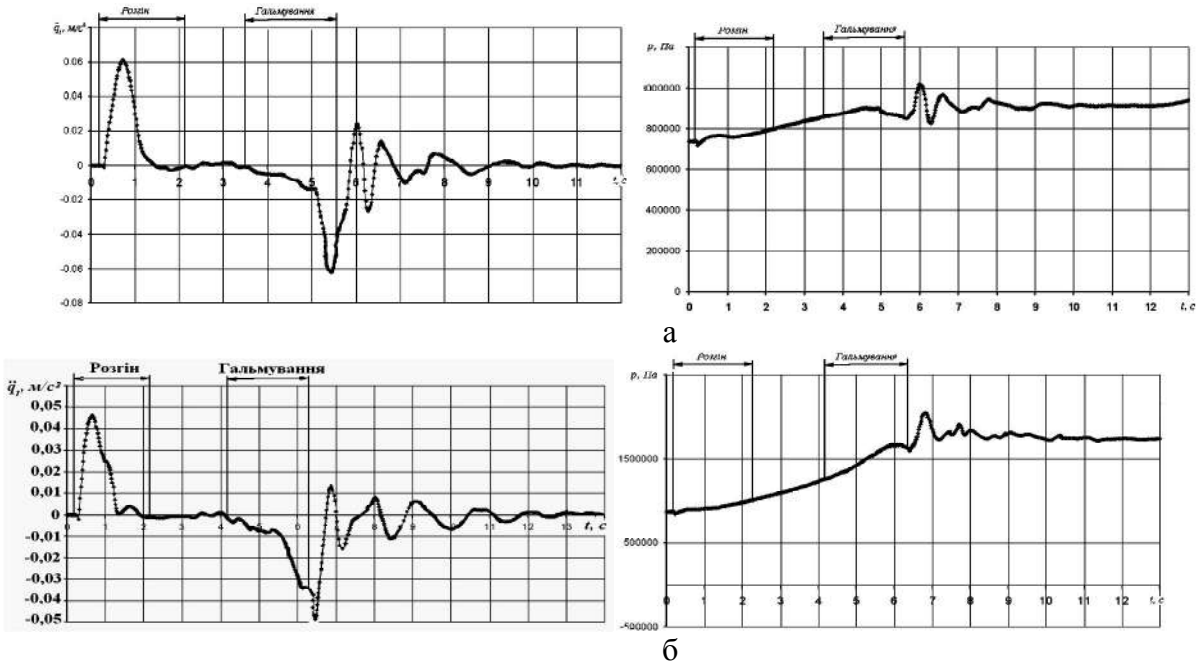


Рисунок 4 – Результати експериментальних досліджень експериментальної установки крана-маніпулятора за оптимального режиму руху гідроциліндра підйому стріли: а – без вантажу; б – з вантажем 9,2кг

На першому етапі досліджень підйом стріли здійснювався з кута 20° до 41° протягом 2,2 с (час пуску), тобто із середньою швидкістю повороту 9,54 град/с. Другий етап експериментальних досліджень полягає в перевірці ефективності роботи золотника з дросельними щілинами на підвищених швидкостях руху стрілової системи. На цьому етапі дослідження періоди пуску та гальмування приймалися однаковими з тривалістю 1с. Щоб збільшити вибіг, рух виконувався з крайніх положень, а середня швидкість повороту при цьому дорівнювала 26,2 град/с.

Зібраний масив експериментальних даних оброблено за допомогою комп'ютерних програм MathCAD та Excel [10]. Для регресійного аналізу використано систему MathCAD, зокрема використано функції *regress* та *loess*, якими виконано поліноміальну регресію за даними прискорення, котра в подальшому інтегрується за часом для отримання функцій швидкості та переміщення і порівняння їх з теоретичними кривими.

На рис. 3 та 4 зображено графічні залежності отриманих даних вимірювання для першого етапу експериментальних досліджень.

За отриманими експериментальними даними прискорення, визначені характеристики зміни швидкості та переміщення привідної ланки стрілової системи (рис. 5 та 6).

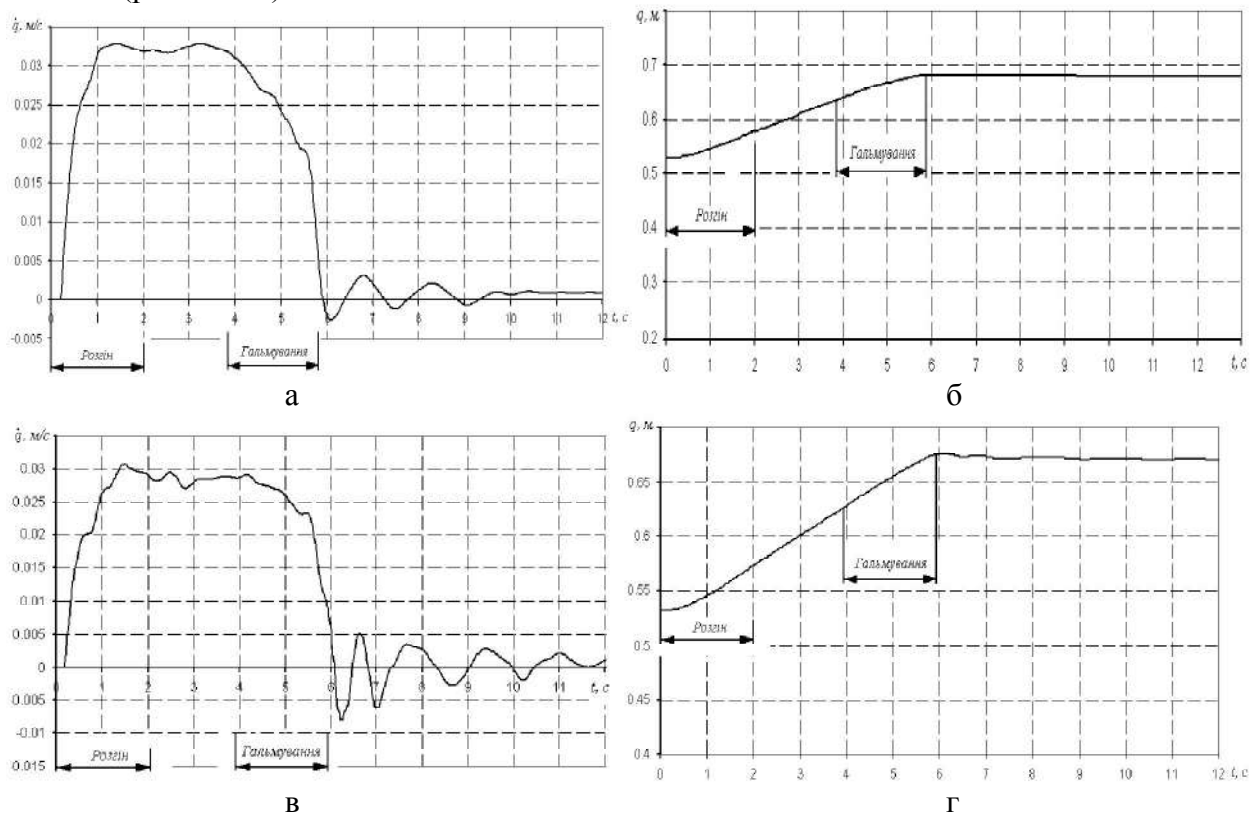


Рисунок 5 – Графіки швидкості штока привідного гідроциліндра (а, в) та його переміщення (б, г) при неоптимальному керуванні для експериментів без вантажу (а, б) та з вантажем (в, г)

Проаналізуємо отримані графіки. Аналізуючи графіки швидкості штока привідного гідроциліндра при неоптимальному режимі руху (рис. 5) відмітимо, що протягом періоду пуску виникає стрімке збільшення швидкості, яке змінюється нерівномірно та призводить до її відхилення від номінального значення в період усталеного руху. Це викликано, насамперед, коливаннями металоконструкції стріли та вантажу, що створює додатковий опір пересуванню поршня привідного гідроциліндра. Аналіз графіків прискорення та тиску в напірній порожнині привідного гідроциліндра за неоптимального режиму руху (рис. 3) показує, що механізм приводу стріли протягом своєї роботи працює у важкому режимі, оскільки привідна ланка має великі пускові та гальмівні прискорення (відповідно $0,08 \dots 0,11 \text{ м/с}^2$ – при пуску та $0,11 \dots 0,15 \text{ м/с}^2$ – при гальмуванні). Відмітимо також те, що

гальмівні прискорення перевищують значення пускових на 50...80%, при цьому відбувається 30% перевантаження тиску

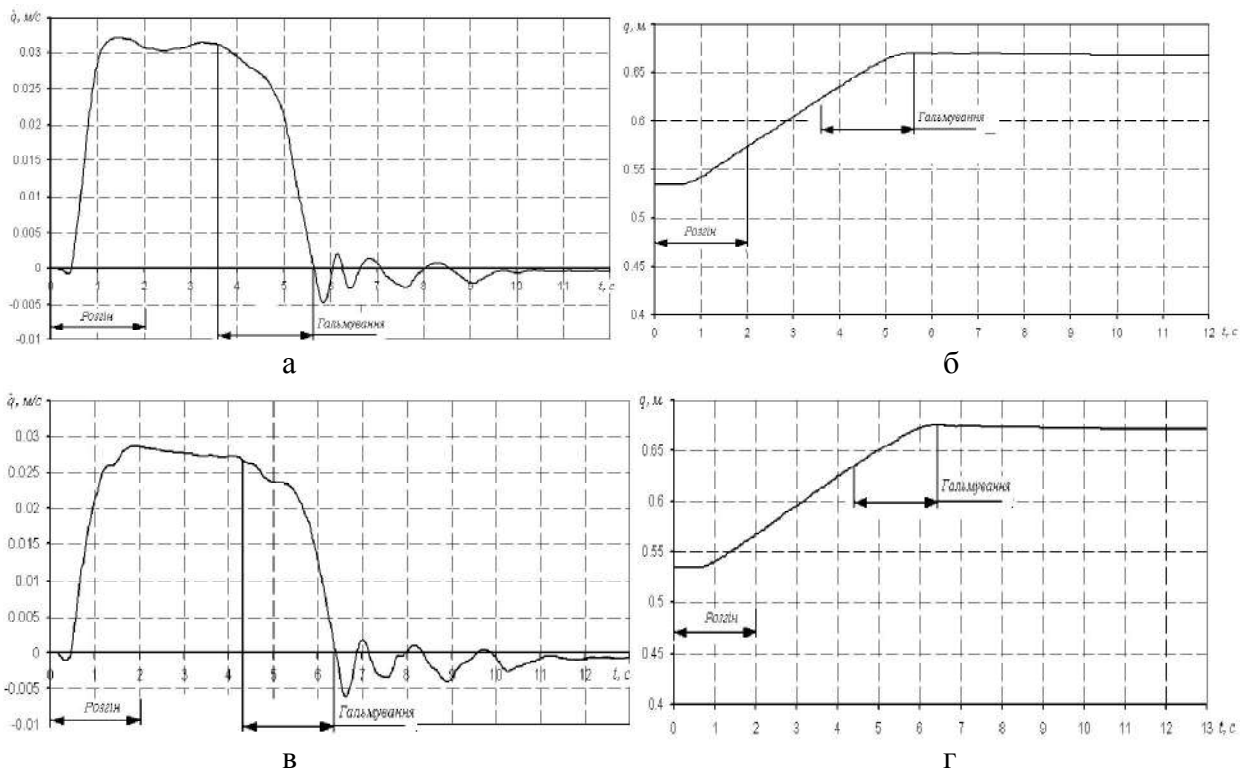


Рисунок 6 – Графіки швидкості штока привідного гідроциліндра (а, в) та його переміщення (б, г) при оптимальному керуванні для експериментів без вантажу (а, б) та з вантажем (в, г)

З отриманих даних характеристик руху штока підйомного привідного гідроциліндра стріли крана-маніпулятора при його русі за оптимальним режимом, відмітимо, що спостерігається більш плавна його робота. В момент пуску за оптимального режиму руху відбувається поступова плавна зміна прискорення штока привідного гідроциліндра.

Дослідження роботи експериментальної установки крана-маніпулятора за оптимальним режимом руху гідроциліндра підйому стріли, показали, що в періоди його пуску та гальмування також виникають динамічні навантаження, проте вони значно менші, так як прискорення привідної ланки змінюється плавно від нульового значення до свого максимуму і від максимуму до мінімуму. З графіків прискорення (рис. 4) видно, що за роботи експериментальної установки крана-маніпулятора на оптимальних режимах руху, мінімізуються та зникають коливання її металоконструкції під час руху та по його завершенню. Модулі максимальних прискорень штока підйомного гідроциліндра за оптимального режиму його руху в період пуску складають $0,045...0,08 \text{ м/с}^2$, а в період гальмування – $0,05...0,053 \text{ м/с}^2$. Отже, окрім того, що прискорення привідної координати стрілової системи крана-маніпулятора за оптимальним режимом руху змінюється плавно, воно ще має менші максимальні значення за модулем. Порівнянням тривалостей перехідних процесів стріли крана-маніпулятора при оптимальному режимі руху та неоптимальному, встановлена можливість скоротити робочий час стрілової системи на 40...49% за один цикл переміщення. Крім цього, дослідженні оптимальні режими руху дали можливість на 20...25% знизити динамічні навантаження в системі гідроприводу.

Проведено порівняння динамічних характеристик руху стрілової системи крана-маніпулятора при неоптимальному та оптимальному режимах руху, які представлено у виді графічних залежностей на рис. 7.

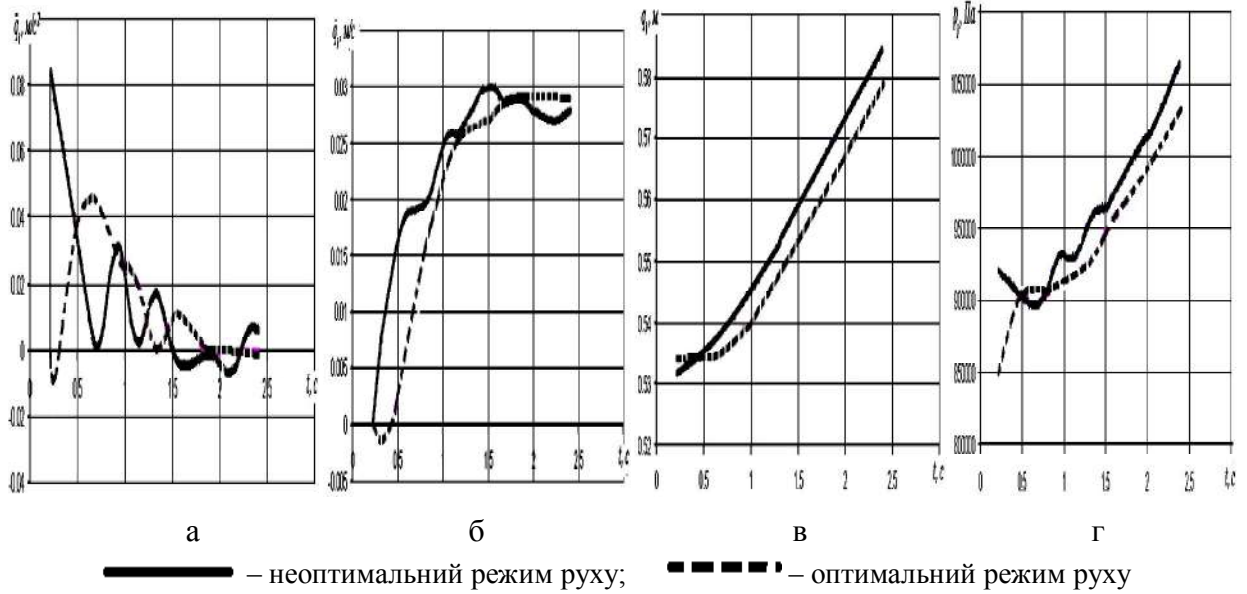


Рисунок 7 – Графіки експериментальних даних зміни прискорення (а), швидкості (б), переміщення (в) привідної ланки та тиску робочої рідини в напірній порожнині привідного гідроциліндра стріли (г)

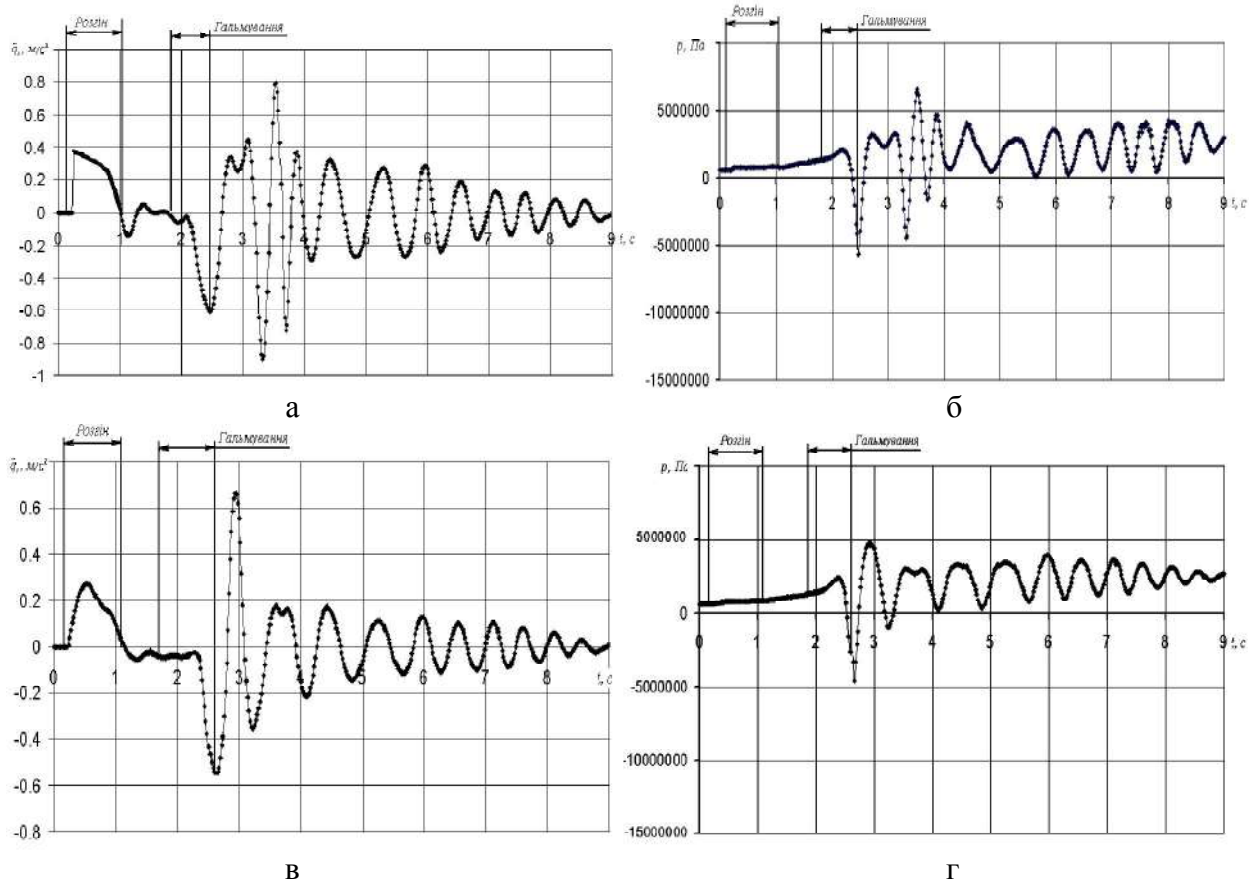


Рисунок 8 – Графіки зміни прискорення (а, в) штока привідного гідроциліндра та тиску (б, г) в його напірній магістралі за неоптимального (а, б) та оптимального (в, г) керування (рух відбувається з крайнього положення підйомного гідроциліндра з наступною конфігурацією приводних координат $q_{1n} = 0,445\text{м}$, $q_2 = 0,461\text{м}$, $q_3 = 0\text{м}$)

За приведеними графіками встановлено, що коефіцієнт динамічності неоптимального режиму пуску під час зміни вильоту стріли знаходиться в межах

7,73...8,07, а оптимального – 4,95...5,58 (крайні значення відповідають руху з вантажем і без вантажу відповідно).

За оптимального режиму руху стрілової системи по завершенню одного циклу переміщення зменшується на 23...46% час затухання залишкових коливань, за рахунок чого на одному циклі переміщення економиться близько 2...3 с часу, що компенсує збільшення циклу переміщення на 0,7 с при оптимальному режимі руху. Усе це в цілому підвищує продуктивність крана-маніпулятора.

Для порівняння ефективності роботи золотників із дросельними проточками, досліджено роботу шарнірно-зчленованої стрілової системи крана-маніпулятора на підвищених швидкостях руху. На рис. 8 зображені графіки зміни прискорення штока привідного гідроциліндра підйому стріли та тиску в його напірній магістралі при зміні вильоту вантажу масою 9,2 кг за роботи лише даного гідроциліндра на підвищеній швидкості руху.

Приведені графіки показують, що за оптимального керування на підвищених швидкостях руху, при пуску системи відбувається плавна зміна прискорення від нульового значення до максимального ($0,28 \text{ м/с}^2$), на відміну від неоптимального режиму – де така зміна відсутня і прискорення набуває миттєво максимальне пускове значення ($0,398 \text{ м/с}^2$). Відмітимо також те, що за оптимального режиму пуску максимальне пускове прискорення на 29% менше від прискорення при неоптимальному режимі пуску. При гальмуванні стрілової системи мають місце коливання металоконструкції та вантажу, які гасяться гідросистемою крана-маніпулятора протягом тривалого періоду. Такі коливання присутні як при неоптимальному, так і при оптимальному режимах руху, проте за оптимального режиму гальмування величина амплітуди зміни прискорення в середньому на 30...33% нижча (амплітуди залишкових коливань прискорення становлять $0,19...0,2 \text{ м/с}^2$ при оптимальному режимі руху та $0,28...0,3 \text{ м/с}^2$ при неоптимальному). З отриманого аналізу можна зробити висновок, що на підвищених швидкостях роботи стрілової системи крана-маніпулятора є позитивний ефект від впровадження золотникового розподільника, що дозволяє виконувати керування привідними гідроциліндрами за оптимальними режимами руху.

Висновки. Представлені результати експериментальних досліджень оптимізації режимів руху крана-маніпулятора, показали виникнення під час його роботи значних прискорень та сил на привідній ланці. За неоптимальних режимів роботи стрілової системи експериментальної установки крана-маніпулятора такі динамічні характеристики руху набувають значних величин та створюють коливання в робочому обладнанні. Виконуючи керування потоком робочої рідини за допомогою золотникового розподільника, створюються оптимальні режими руху стрілової системи крана-маніпулятора. За оптимальних режимів руху крана-маніпулятора зменшуються динамічні навантаження та коливання в його стріловій системі й гідроприводі.

Проведені дослідження показали, що використовуючи дросельні проточки на робочих поверхнях золотника розподільника керування крана-маніпулятора за його роботи, можна зменшити величини динамічних прискорень на 20...51% та скоротити час залишкових коливань металоконструкції стріли та вантажу на 50%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Волков Д. П. Надежность строительных машин и оборудования / Д. П. Волков, С. Н. Николаев. – М. : Высшая школа, 1979. – 400 с.
2. Алексеева Т. В. Гидропривод и гидроавтоматика землеройно-транспортных машин / Т. В. Алексеева. – М. : Машиностроение, 1966. – 148 с.
3. Попов Д. А. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем / Д. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 423 с.

4. Блюмин С. В. Гидропривод в механизмах подъема-опускания строительных и дорожных машин / С. В. Блюмин // Строительные и дорожные машины. – 1974. – № 1. – С. 15-16.
5. Смирнов О. А. Определение времени полного перемещения золотников распределителей с сервоуправлением / О. А. Смирнов, В. П. Савельев // Строительные и дорожные машины. – 1984. – № 7. – С. 20-21.
6. Григоров О. В. Оптимальне керування рухом механізмів вантажопідійомних машин / О. В. Григоров, В. С. Ловейкін. – К., 1997. – 262 с.
7. Ловейкін В. С. Визначення оптимальних режимів руху маніпулятора за процес пуску (гальмування) під час роботи за однієї з узагальнених координат / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2009. – № 73. – С. 35-42.
8. Ловейкін В. С. Оптимізація режиму пуску висувної рукояті крана-маніпулятора під час горизонтального переміщення вантажу з урахуванням його коливань / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2010. – № 73. – С. 3-8.
9. Ловейкін В. С. Синтез фізичної моделі крана-маніпулятора з гідроприводом на транспортному засобі / В. С. Ловейкін, Є. В. Горбатюк, Д. О. Міщук // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Херсон, 23-25 травня 2011 р.). – Херсон: Видавництво ХДМІ, 2011. – С. 147-154.
10. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в MathCad / Е. Г. Макаров. – СПб. : Питер, 2005. – 445 с.

Ловейкин В.С., Горбатюк Е.В., Мищук Д.О. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ КРАНА-МАНИПУЛЯТОРА С ГИДРОПРИВОДОМ

Рассмотрена экспериментальная установка крана-манипулятора с гидроприводом для исследований с определением динамических нагрузок на ее рабочем оборудовании. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: манипулятор, эксперимент, динамика манипулятора.

Loveykin V.S., Gorbatyuk E.V., Mishchuk D.O. RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATION OPTIMIZATION OF MOVEMENT CRANE WITH HYDRAULIC

The experimental setting of faucet-manipulator is considered fluid-operated for bringing researches over from determination of the dynamic loadings on its working equipment. The results of experimental researches are presented.

Keywords: manipulator, experiment, dynamics of manipulator.