

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНОЇ СТІЛОВОЇ СИСТЕМИ КРАНА ПРИ ЗМІНІ ВІЛЬОТУ ВАНТАЖУ

АНОТАЦІЯ. В статті описано методику проведення експериментальних досліджень руху шарнірно-зчленованої стрілової системи крана при зміні вильоту вантажу, а також вимірювально-реєструюче обладнання, що при цьому використовується.

Ключові слова: дослідження, рух, датчик, кут нахилу, частота обертання, зусилля, крутний момент.

АННОТАЦИЯ. В статье описана методика проведения экспериментальных исследований движения шарнирно-сочлененной стреловой системы крана при изменении вылета груза, а также измерительно-регистрирующее оборудование, которое при этом используется.

Ключевые слова: исследование, движение, датчик, угол наклона, частота вращения, усилие, крутящий момент.

SUMMARY. This article describes a technique for experimental studies of motion Articulated jib crane system when the departure of the goods, as described by measuring-recording equipment that is used in this.

Key words: research, motion, sensor, angle, speed, force, torque.

Вступ

Головна ціль експериментальних досліджень – перевірка вірогідності проведених теоретичних досліджень, а, відповідно, і отриманих даних. Основною задачею на початковій стадії експериментальних досліджень є планування експерименту. Ця задача полягає у виборі мінімально допустимого числа дослідів та умов їх проведення, а також дозволяє визначити кількість дослідів необхідних для отримання аналітичної моделі досліджуваного процесу або явища [1].

Постановка задачі

При проведенні будь-яких експериментальних досліджень використовується обладнання, яке можна поділити на три групи:

1. Вимірювально-реєструючі прилади – сприймають, вимірюють, зчитують, рахують та записують вимірювані параметри або фізичні величини.

2. Випробувальна апаратура, крім вимірювально-реєструючих приладів ще й додатково включає інше допоміжне обладнання, що використовується при експерименті.

3. Машина або модель для проведення досліджень [2].

При проектуванні нової машини дослідження проводяться над прототипом або спеціально створеною моделлю, яка відображує явище, що досліджується.

Для дослідження динаміки руху шарнірно-зчленованої стрілової системи крана створена фізична модель стрілової системи [3], яка у визначеному масштабі відображає явище, що досліджується.

Виклад основного матеріалу

При дослідженні динаміки процесу зміни вильоту шарнірно-зчленованої стрілової системи крана при горизонтальному переміщенні вантажу, важливе значення має зміна інерційних та швидкісних характеристик ланок стрілової системи. Крім того, під час зміни вильоту необхідно дослідити вплив розгойдування вантажу на всі ланки стрілової системи та елементи приводу механізму зміни вильоту.

Враховуючи вищенаведене, постає задача експериментального вимірювання таких параметрів стрілової системи:

- 1) кут відхилення гнучкого підвісу вантажу від вертикалі;
- 2) кут нахилу стріли до горизонту;
- 3) внутрішнє зусилля розтягу у відтяжці;
- 4) внутрішнє зусилля розтягу або стиску в зубчастій рейці;

- 5) частоту обертання ротора електродвигуна;
- 6) крутний момент на валу електродвигуна.

Проаналізуємо вимірювані величини та встановимо їх значення при дослідженні динаміки руху стрілової системи.

Кут відхилення гнучкого підвісу вантажу від вертикалі необхідно вимірювати для встановлення залежності між положенням вантажу (його горизонтальною координатою) і навантаженнями на привід та ланки стрілової системи. А саме, необхідно встановити вплив розгойдування вантажу на збільшення внутрішніх напружень в ланках.

Вимірювання кута нахилу стріли до горизонту зумовлене необхідністю визначення координат центрів мас всіх ланок стрілової системи.

Вимірювання внутрішніх зусиль в зубчастій рейці та відтяжці, пов'язано з найбільшим навантаженням на ці ланки, що веде до найбільш частого їх виходу з ладу, порівняно з іншими ланками стрілової системи [4].

Частота обертання ротора електродвигуна та крутний момент на ньому, необхідні для побудови динамічної характеристики електродвигуна та дослідження зміни цих параметрів під час зміни вильоту вантажу, а також для встановлення можливостей керування електродвигуном за допомогою частотного перетворювача.

Всі вказані величини потрібно вимірювати протягом всього часу зміни вильоту стрілової системи. До того ж вимірювання необхідно проводити для двох випадків – під час руху стрілової системи від мінімального значення вильоту до максимального та навпаки. Всі виміри необхідно проводити за реальним часом, з частотою необхідною для знаходження екстремальних значень вимірюваних параметрів.

Для вимірювання кутів повороту, кутів нахилу або кутових переміщень здебільшого користуються потенціометричними або індуктивними датчиками кута повороту [5, 6]. Потенціометричні датчики застосовуються для перетворення кутових або лінійних переміщень механізмів в зміну ви-

хідної напруги датчика. Такий датчик представляє собою резистор, що приєднаний до джерела живлення в режимі потенціометра (рис. 1). За-

стосування датчиків такої конструкції дозволяє реєструвати кут повороту, який змінює своє значення більш, ніж на 1° . Осно-



Рис. 1. Потенціометричний датчик кута повороту

вною вимогою до таких датчиків при проведенні механічних досліджень є те, що він повинен мати лінійну характеристику. Тобто, опір резистора повинен змінюватись прямо-пропорційно до кута повороту рухомого контакту або осердя датчика.

Для більш точного вимірювання кутів повороту застосовуються індуктивні датчики [7], які дозволяють реєструвати та вимірювати кут, навіть в тому випадку, якщо його зміна відбувається в межах 1° . Однак використання таких датчиків при проведенні механічних вимірювань обмежене, тому що вони потребують застосування високочутливої реєструючої апаратури. Тому, при вимірюванні механічних переміщень та кутів повороту, здебільшого користуються потенціометричними датчиками.

Залежно від використання датчика, та від реєструючої апаратури, використовують різні схеми підключення таких датчиків [8]. При використанні, в парі з аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП), датчики приєднують разом із підсилювачем за схемою наведеною на рис. 2.

Така схема підключення дозволяє проводити реєстрацію та вимірювання зміни кута нахилу стріли та кута відхилення каната від положення хобота.

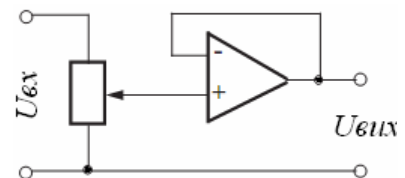


Рис. 2. Слідкуючий підсилювач

Для визначення внутрішніх зусиль в нерозрізних ланках або елементах конструкцій доцільно використовувати провідникові тензорезистори [5]. При застосуванні таких тензорезисторів (рис. 3) не потрібно проводити трудомісткі підготовчі роботи, як цього потребують тензоланки з вбудованими тензорезисторами або S-подібні тензодатчики.

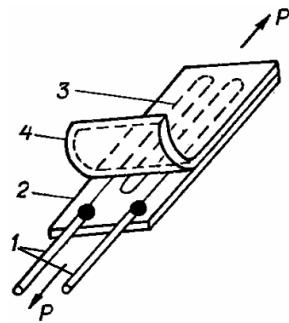


Рис. 3. Конструкція тензорезистора: 1 – провідники; 2 – полімерна плівка; 3 – металеві резистивні провідники (чутливий елемент); 4 – тонкий захисний папір або шар лаку

Недоліком таких тензорезисторів є вимірювання внутрішніх зусиль лише в одному напрямку. Тому зараз, здебільшого, для вимірювання внутрішніх зусиль, одночасно застосовують чотири тензорезистори, які з'єднуються поміж собою за мостовою схемою – міст Уітстона (рис. 4) [8].

Перед проведенням вимірювань внутрішніх зусиль в будь-якій ланці, необхідно провести її тарування – встановити лінійну залежність між силою розтягу, що діє на ланку, та напругою на вихідних кінцях тензомоста $U_{вих}$ (рис. 4).

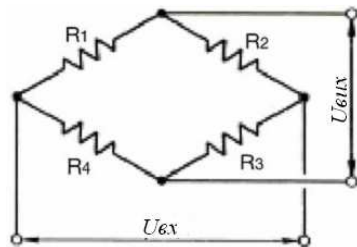


Рис. 4. Схема підключення тензорезисторів за мостовою схемою: R_1, R_2, R_3, R_4 – тензорезистори; $U_{вх}$ – клеми для приєднання джерела живлення; $U_{вих}$ – клеми для приєднання вимірюючих пристроїв

На рис. 5 зображено зубчасту рейку механізму зміни вильоту стрілової системи моделі [3], з наклеєними тензорезисторами, що відтаровані та повністю підготовлені до проведення вимірів. Для захисту тензорези-

сторів від впливу навколишнього середовища вони закриті полімерною стрічкою.

На рис. 6 наведено графіки тарування

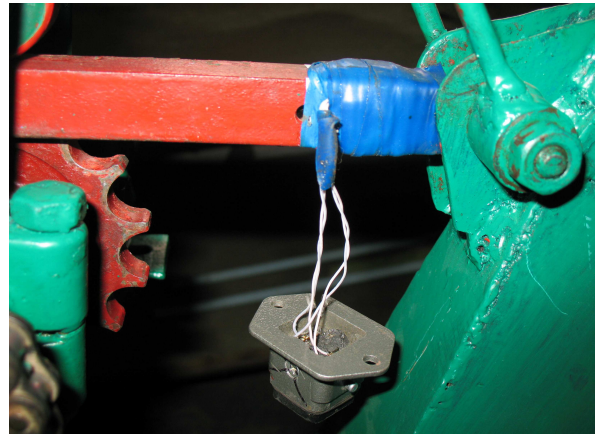


Рис. 5. Зубчаста рейка підготовлена до проведення досліджень

підготовленої зубчастої рейки з встановленими тензорезисторами. Ці дані дають можливість проводити вимірювання внутрішніх зусиль, що діють на рейку, під час роботи стрілової системи.

Для вимірювання внутрішніх зусиль у

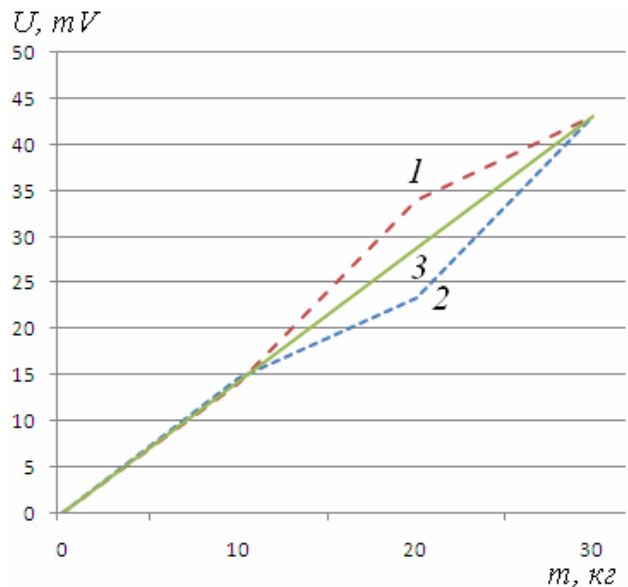


Рис. 6. Результати тарування зубчастої рейки: 1 – при навантаженні; 2 – при розвантаженні; 3 – середні значення

відтяжці стрілової системи використані тензорезистори, що підключені за тією ж схемою. Відтяжка з наклеєними та відтарованими тензорезисторами зображена на рис. 7. Графіки тарування відтяжки наведено на рис. 8.



Рис. 7. Відтяжка підготовлена до проведення досліджень

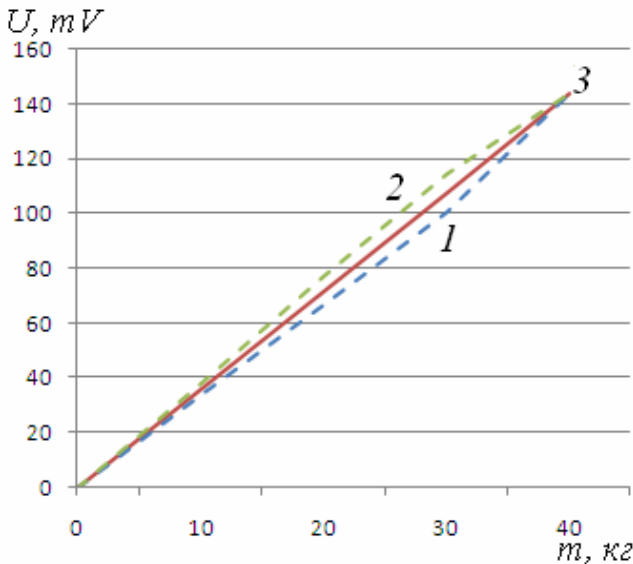


Рис. 8. Результати тарування відтяжки: 1 – при навантаженні; 2 – при розвантаженні; 3 – середні значення

Вимірювання частоти обертання ротора електродвигуна здійснено за допомогою датчика частоти обертання ДЧВ-1 (рис. 9).

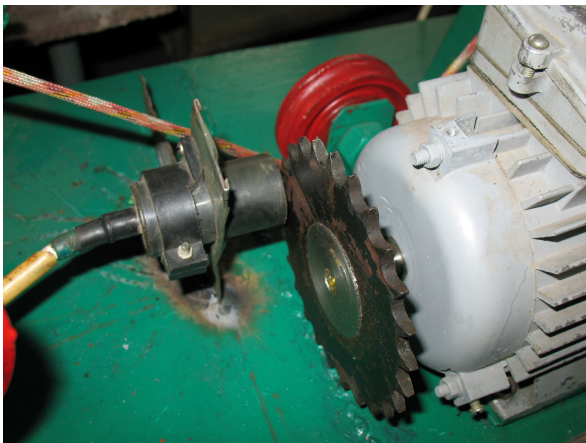
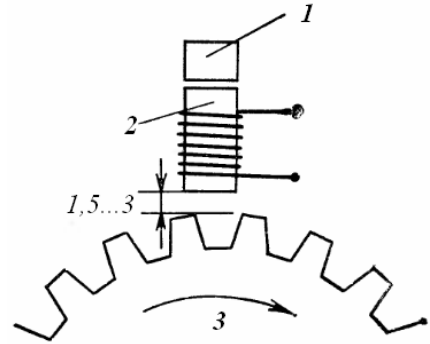


Рис. 9. Електродвигун із зіркою та датчиком ДЧВ-1

Датчик ДЧВ-1 належить до групи датчиків зі змінним магнітним опором [8]. Робота цього датчика ґрунтується на стрибковій зміні опору в магнітному колі котушки, що викликана зміною магнітних характеристик, причиною яких є наближення зубців шестерні або зірочки (рис. 10).

Своєю чутливою стороною датчик ДЧВ-1 можна встановлювати, як паралельно до



площини обертання зірочки (рис. 9), так і перпендикулярно до неї (рис. 10). Для правильної роботи датчика необхідно забезпечити відстань від його чутливої сторони до зубця в межах 1,5...3 мм.

Датчики такої конструкції лише підраховують кількість циклів зміни опору в магнітному полі котушки за одну секунду, тобто визначають частоту проходження зубця повз датчик. Тому, для перетворення отриманої частоти в частоту обертання вала (хв^{-1}), використовується залежність:

$$n = \frac{60\nu}{z}, \quad (1)$$

де ν – частота проходження зубця повз датчик (с^{-1});
 z – кількість зубців зірочки.

Але ця формула не завжди може бути використана для визначення частоти обертання вала, оскільки до неї не входить показник частоти передачі даних від датчика до АЦП. Цей показник може бути різним, і залежить від конструкції датчика та АЦП.

При вимірюванні крутного моменту електродвигуна найчастіше використовують два найбільш поширені методи:

1. метод прямого вимірювання за допомогою датчика крутного моменту;
2. метод непрямого вимірювання, з урахуванням того, що крутний момент елект-

родвигуна пропорційний силі струму, що проходить через нього.

Для вимірювання крутного моменту використано датчик TF-209 [9] (рис. 11).

Цей датчик фланцевого типу з боковим контактом складається із двох частин: рухомої та нерухомої із системою збору даних. Рухома частина встановлюється на вал і приєднується до фланця з'єднувальної муфти (рис. 12).



Рис. 11. Датчик крутного моменту TF-209

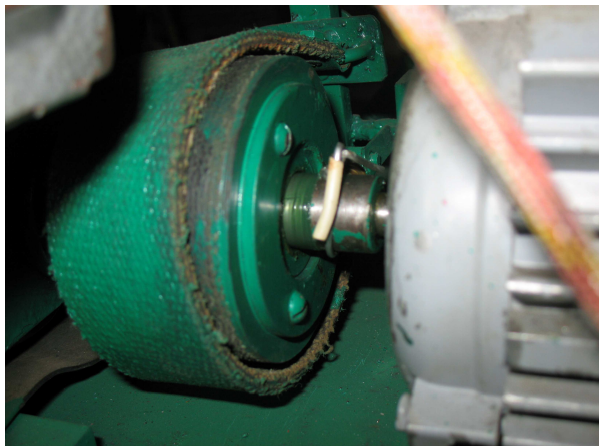


Рис. 12. Гальмівна муфта механізму зміни вильоту з фланцем датчика TF-209

Сигнал крутного моменту створюється тензорезисторами, які з'єднані між собою за мостовою схемою (рис. 4) і встановлені у внутрішній частині датчика [9]. Вихідний кабель системи збору даних датчика приєднується до АЦП.

Для збору даних від усіх наведених датчиків використаний АЦП Spider-8 (рис. 13).



Рис. 13. Аналогово-цифровий перетворювач Spider-8

АЦП Spider-8 є основою створеної системи збору параметрів, що вимірюються при дослідженні динаміки стрілової системи під час її руху (рис. 14).

АЦП Spider-8 призначений для підсилення електричного аналогового сигналу, що поступає від датчиків та перетворення його в цифровий. Вказаний пристрій дає можливість збирати дані одночасно з усіх датчиків і відразу будувати графіки зміни вимірюваних параметрів за часом. Для подальшої обробки та дослідження даних можлива передача пакетів цифрової інформації з АЦП на персональний комп'ютер (рис. 14) та їх експорт до різних програмних систем призначених для проведення інженерних розрахунків.

Висновки

Планування експериментальних досліджень та вимірювання параметрів, що впливають на динаміку руху стрілової системи, є одним із найважливіших етапів при оптимізації руху крана або вдосконаленні його конструкції. Таким чином, потрібно ґрунтовно аналізувати фізичні величини та параметри, які необхідно виміряти. Також потрібно ознайомитися з методами їх вимірювання та датчиками і пристроями, що використовуються при цьому.

Отже, в роботі приведені фізичні величини, що підлягають експериментальному вимірюванню та запропоновані ґрунтовні методи їхніх вимірювань.

Для реєстрації, зчитування та запису аналогових даних датчиків запропонована система збору даних. Ця система також дозволяє перетворювати аналоговий сигнал датчиків у набір цифрової інформації, яку в подальшому можна використати для побудови графічних залежностей. На основі цих графіків робляться висновки про динаміку руху стрілової системи та про можливості оптимального керування механізмом зміни вильоту стрілової системи.

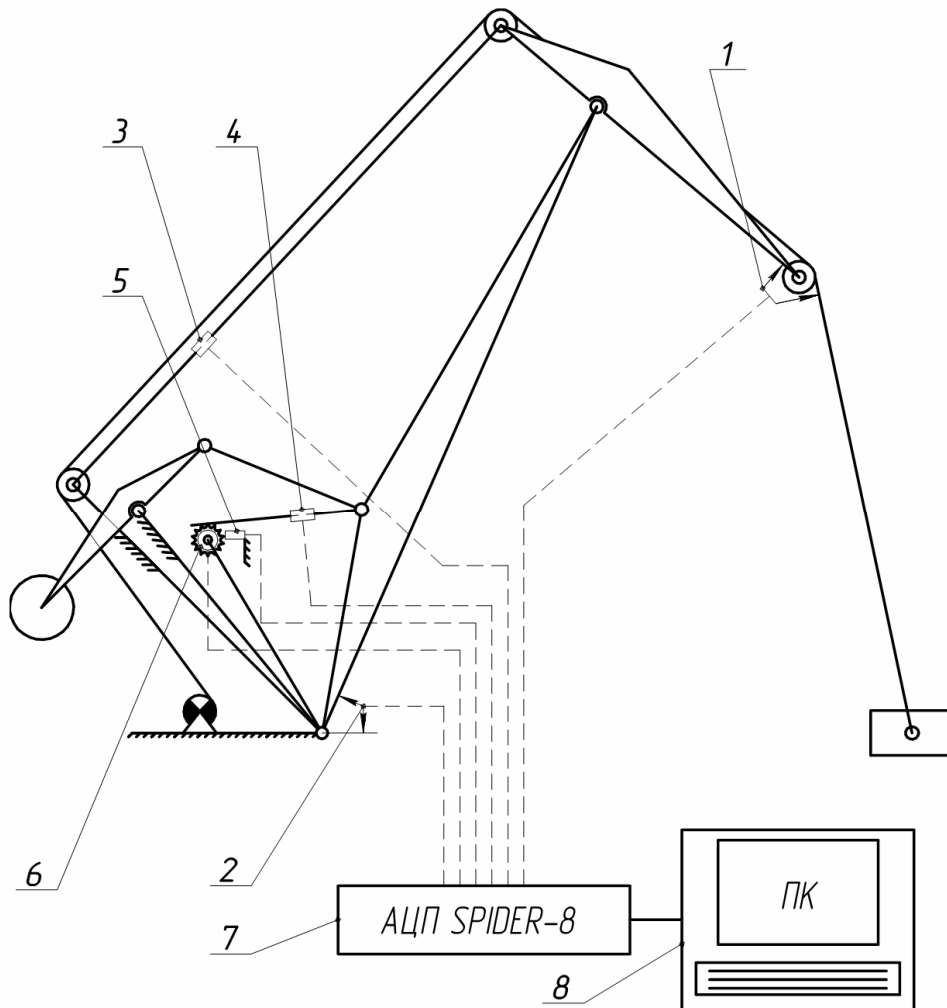


Рис. 14. Функціональна схема системи збору даних: 1 – потенціометричний датчик кута відхилення вантажного каната; 2 – потенціометричний датчик кута нахилу стріли; 3 – тензорезисторний датчик відтяжки; 4 – тензорезисторний датчик рейки; 5 – датчик частоти обертання ротора двигуна ДЧВ-1; 6 – датчик крутного моменту ротора електродвигуна TF-209; 7 – АЦП Spider-8; 8 – персональний комп'ютер

Література

1. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А.Спиридонов. – М : Машиностроение, 1981. – 184 с.

2. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Х.Шенк. ; пер. с англ. Е.Г.Коваленко. – М. : Мир, 1972. – 382 с.

3. Ловейкін В.С. Створення фізичної моделі шарнірно-зчленованої стрілової системи крана / В.С.Ловейкін, Д.А.Паламарчук, І.А.Паламарчук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2010. – №75. С. 25...32.

4. Ланг А.Г. Портальные краны / А.Г.Ланг, И.С.Мазовер, В.С.Майзель. – Москва, Ленинград : Машгиз, 1962. – 284с.

5. Датчики : [справочник] / [З.Ю.Готра, Л.Я.Ильницкий, Е.С.Полищук и др.] ; под ред. З.Ю.Готры и О.И.Чайковского. – Л. : Каменяр, 1995. – 312 с.

6. Виглеб Г. Датчики / Г.Виглеб. ; пер. с нем. М.А.Хацернова. – М. : Мир, 1989. – 196 с.

7. Сысоева С. Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы. Часть 1. Потенциометры и датчики Холла – лидеры современного рынка / С.Сысоева // Компоненты и технологии. – 2005. – №2. С. 16...23.

8. Датчики измерительных систем: в 2-х книгах. [Кн. 1] / [Ж.Аш, П.Андре, Ж.Бюфрон и др.] ; пер. с франц. Н.В.Васильченко, С.Л.Вишневецкий, А.Н.Вишняков и др. – М. : Мир, 1992. – 480 с.

9. Датчики крутящего момента фланцевого типа. Серия TF: [руководство по эксплуатации] / Magtrol. Switzerland – Fribourg, 2008. – 48с.

Рецензент: В.П.Ковбаса, д.т.н., профессор (НУБіПУ, Київ)

Отримано: 28.02.2011р.