

**УДК 621.87**

**Вячеслав Ловейкін, д.т.н., проф., Олександр Шевчук**

Національний університет біоресурсів і природокористування України

## **АНАЛІЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МЕХАНІЗМАМИ БАШТОВИХ КРАНІВ ДЛЯ УСУНЕННЯ КОЛИВАНЬ ВАНТАЖУ**

**Vyacheslav Loveykin, Dr., Prof., Oleksandr Shevchuk**

### **ANALYSIS OF ANTI-SWING CONTROL SYSTEMS FOR TOWER CRANES**

Баштові крани широко використовуються на будівельних майданчиках промислового і цивільного будівництва. Ефективна робота баштових кранів полягає в переміщенні вантажу з одного положення в інше за найкоротший час без коливань вантажу в кінці руху. Для такої роботи використовується різні системи керування приводними двигунами. Серед усіх систем керування можна виділити три основних: з програмним режимом руху, зі зворотним зв'язком та оптимальних траєкторій. Останнім часом проведено багато вітчизняних та закордонних наукових досліджень, що відносяться до керування механізмами вантажопідйомних машин в цілому та баштових кранів зокрема. Це вказує на те, що проблема керування в даний час є досить актуальною.

Багато праць присвячено проблемі керування рухом вантажопідйомних машин [1-14]. Зокрема деякі з задач цієї теми були вирішені у роботі [1] разом з детальним оглядом літературних досліджень. У роботах [2-8] керування механізмами вантажопідйомних машин відбувається таким чином щоб забезпечити оптимальну траєкторію руху вантажу та усунути коливання в кінці періоду руху. Ще один підхід до усунення коливань вантажу закладається в керуванні зі зворотним зв'язком [9-14] з використанням чіткої та нечіткої логіки та регуляторів.

Метод оптимальних траєкторій вимагає наперед обрахувати траєкторію руху вантажу. Така задача зазвичай формується як оптимальна, яка мінімізує період руху вантажу. Початкові та кінцеві умови руху вибираються таким чином, щоб усунути коливання вантажу в кінці періоду руху. Така задача розглядається як крайова. Auenig, J.W. та Troger, H. [1] пропонують саме такий підхід розв'язку оптимальних траєкторій для мостових кранів на суднобудівних заводах. Ali R. Golafshani [2] використовує подібний підхід для визначення оптимальних траєкторій баштового крана. Він отримав розв'язок шляхом дискретизації рівнянь за допомогою послідовного квадратичного програмування.

Вплив ваги вантажу на динаміку руху, як правило, ігнорується. Тим не менш, Omar H.M. і Nayfeh A.H. [3] та Lee, H-H. [4] враховують його при керуванні порталними і баштовими кранами. З цих досліджень видно, що для дуже важких вантажів в порівнянні з вагою візка, характеристика системи погіршується, якщо вага вантажу не враховується при розробці системи керування.

Деякі з дослідників зосередились на створенні траєкторій, які дозволяють мінімізувати час переміщення вантажу, а також звести до мінімуму його коливання. Ці траєкторії визначають, як правило, використовуючи методи оптимізації [3]. Цільова функція може бути або час руху [5], або керуючий вплив [6], або кут відхилення вантажу від вертикалі [7].

Ще один важливий метод реалізації траєкторій руху вантажу заключається в послідовності імпульсів прискорення і гальмування. Ці послідовності формуються таким чином, щоб уникнути залишкових коливань вантажу в кінці руху [8]. Отриманий спосіб керування без зворотного зв'язку, що робить його чутливим до зовнішніх

збурень та зміни параметрів системи. Крім того, таке керування вимагає нульовий кут відхилення вантажу від вертикалі та нульову початкову швидкість, які важко реалізувати на практиці. Moustafa, K.A.F. та Ebeid, A.M. [9] використовували датчик положення для зворотного зв'язку і лінеризовану просторову модель в системі керування. Al-Garni та ін. [10] також використовували зворотній зв'язок положення, але оптимальне керування було вибрано з чисельної оптимізації. Butler, та ін. [11] застосували еталонну адаптовану модель керування для налаштування коефіцієнта підсилення регулятора враховуючи періодичність вхідного сигналу. Alli, H. та Singh, T. [12] розробили схему пасивного керування, в якій параметри керування були знайдені розв'язком оптимізаційних задач.

Tzu-Sung Wu та ін. [13] запропонували адаптивну схему нечіткого керування баштовим краном на основі стійкості руху за Ляпуновим, щоб подавити вплив зовнішніх збурень і гарантувати зміну кута відхилення вантажу від вертикалі в околі нуля. Проведено динамічне моделювання роботи такої системи. А експериментальне дослідження в даний час у стадії реалізації.

#### **Перелік посилань**

1. Auernig, J. W. and Troger, H., 1987, "Time optimal control of overhead cranes with hoisting of the load," *Automatica* 23(4), 437–447.

2. Ali R. Golafshani "Modeling and Optimal Control of Tower Crane Motions" Thesis Ontario Canada 1999

3. Omar, H. M. and Nayfeh, A. H., 2001, "A simple adaptive feedback controller for tower cranes," in ASME 2001 Design Engineering Technical Conference and Computers and Information in Engineering Conference, Pittsburgh, PA, September 9-12, DETC2001/VIB-21606.

4. Lee, H.-H., 1998, "Modelling and control of a three-dimensional overhead crane," *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control* 120, 471–476.

5. Manson G. A. "Time-optimal control of an overhead crane model" *J. Optimal Control Applications and Methods* <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/oca.v3:2/issuetoc> pages 115–120, April/June 1982

6. Karihaloo, B. L.; Parbery, R. D. "Optimal control of a dynamical system representing a gantry crane" *Journal of optimization theory and applications* 36 (1982), S. 409-417

7. Sakaw, Y. and Shindo, Y., 1981, Optimal control of container cranes, in Proceedings of the 8th IFAC Triennial World Congress on Control Science and Technology, Kyoto, Japan, pp. 257–265.

8. E Teo, C.L., Ong, C.J., and Xu, M., 1998, "Pulse input sequences for residual vibration reduction," *Journal of Sound and Vibration* 211(2), 157–177

9. Moustafa, K.A.F. and Ebeid, A.M., "Nonlinear modeling and control of overhead crane load sway," *J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 110, pp. 266–271, 1988.

10. Al-Garni, A. Z., Moustafa, K.A.F., and Nizami, S.S.A.K.J., "Optimal control of overhead cranes," *Control Engineering Practice*, vol. 3, no. 9, pp. 1277–1284, 1995.

11. Butler, H., Honderd, G., and Amerongen, J. V., "Model reference adaptive control of a gantry crane scale model," *IEEE Control Systems*, vol. 11, no. January, pp. 57–62, 1991.

12. Alli, H. and Singh, T., "Passive control of overhead cranes," *J. of Vibration and Control*, vol. 5, pp. 443–459, 1999.

13. Tzu-Sung Wu, Mansour Karkoub, Wen-Shyong Yu, Chien-Ting Chen, Ming-Guo Her, Kuan-Wei Wu., 2015, "Anti-sway tracking control of tower cranes with delayed uncertainty using a robust adaptive fuzzy control" *J. Fuzzy Sets and Systems*