

УДК 62-932:62.532

## **СТРУКТУРА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ РОБОЧИМ ОБЛАДНАННЯМ ОДНОКІВШЕВОГО ЕКСКАВАТОРА**

*Гурко О.Г.<sup>1</sup>, Кузьменко Д.О.<sup>1</sup>, Амантаев Бакжан<sup>2</sup>*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет,*

*Харків*

*<sup>2</sup>Алматинський технологічний університет, Алмати, Казахстан*

Стрімкий розвиток мікропроцесорної техніки, вимірювальних засобів, систем навігації створив умови для автоматизації машин для земляних робіт (МЗР). Однією з найбільш розповсюджених МЗР у сучасному будівництві є одноківшевий екскаватор (ОЕ), який виконує широкий спектр робіт від риття траншей та котлованів до планування та навантаження матеріалів. Зі зростанням складності виконуваних операцій та підвищенням вимог щодо продуктивності та енергоефективності МЗР, автоматизація є важливим напрямком їх розвитку.

Слід відзначити, що на ринку вже представлені різні рішення щодо автоматизованого керування ОЕ, що ґрунтуються на використанні GNSS/RTK систем, лазерних та ультразвукових датчиків. Серед лідерів у виробництві таких систем є фірми Topcon, Leica та Trimble. Широке використання таких систем підтверджує необхідність розробки власних вітчизняних систем автоматизованого керування ОЕ.

Отже, об'єктом дослідження є процес керування робочим обладнанням ОЕ. Предмет дослідження – система керування робочим обладнанням ОЕ. Мета – підвищення продуктивності та якості виконання робочого процесу ОЕ за рахунок використання системи автоматичного керування рухом його робочого обладнання.

У якості об'єкта керування будемо розглядати ОЕ Борекс-2201, який представляє собою базовий трактор з маніпулятором екскаватора, що розташований позаду трактора [1].

Пропонується наступна структура автоматизованої системи керування робочим обладнанням ОЕ (рис. 1).

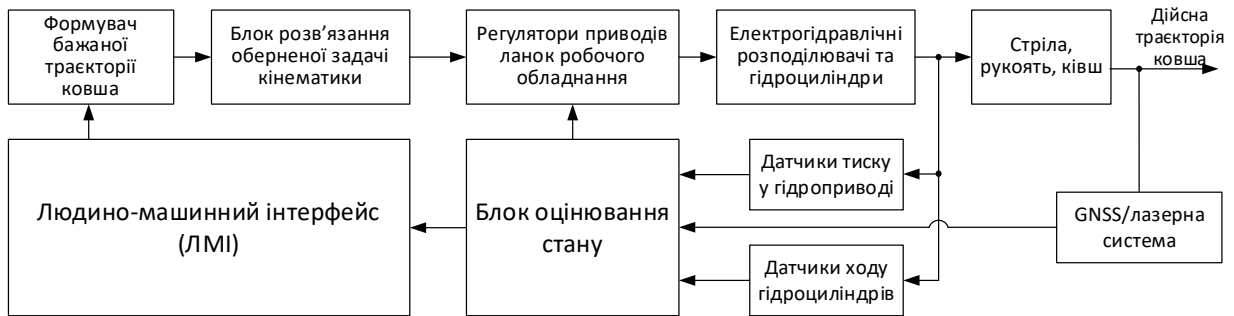


Рисунок 1 – Структура автоматизованої системи керування ОЕ

Система побудована за ієрархічним принципом і поєднує рівень оператора, рівень кінематичного керування маніпулятором та рівень гідроприводу. Верхнім рівнем системи керування є людино-машинний інтерфейс (ЛМІ). Через нього оператор задає режими роботи (ручний, напівавтоматичний або автоматичний), проєктні параметри споруди та, за необхідності, обирає або коригує траєкторію руху ковша. Крім того, за допомогою ЛМІ операторові надається інформація про поточний стан робочого обладнання ОЕ, відхилення від проєктної поверхні, попереджувальні та аварійні повідомлення тощо.

Завдання, сформульоване оператором, надходить до формувача бажаної траєкторії ковша. Цей блок перетворює дискретні вхідні параметри (кінцеві точки, глибину, ухил, допустимі обмеження) у безперервну або кусково-лінійну траєкторію руху зубів ковша у робочій площині. На виході формується послідовність бажаних положень та орієнтацій ковша у часі  $[x_d(t), y_d(t), \varphi_d(t)]$ , які відповідають раціональному способу копання.

Бажані координати ковша надходять до блоку розв'язання оберненої задачі кінематики. У цьому блоці на основі геометричних параметрів ОЕ та заданих значень  $[x_d(t), y_d(t), \varphi_d(t)]$  обчислюються бажані кутові координати стріли, рукояті та ковша  $[q_{cd}, q_{pd}, q_{kd}]$  які забезпечують проходження ковша по

заданій траєкторії. Таким чином, система переходить від завдання в декартовому просторі до координат у просторі робочого обладнання.

Отримані значення  $q_{id}$  передаються до регуляторів приводів ланок робочого обладнання. На цьому рівні здійснюється порівняння бажаних кутів  $q_{id}$  з поточними значеннями  $q_i$ , отриманими з датчиків положення гідроциліндрів, та формуються коригуючі сигнали керування, наприклад, за допомогою ПД закону керування з урахуванням обмежень на швидкості та прискорення робочого обладнання [2].

Сигнали від регуляторів надходять до електрогідравлічних розподільників, а від них – на гідроциліндри, які безпосередньо керують рухом стріли, рукояті та ковша. Зміна витрати робочої рідини у відповідних порожнинах гідроциліндрів призводить до переміщення штоків і, відповідно, до повороту робочого обладнання в потрібному напрямку на потрібний кут. Таким чином реалізується реальний рух механізму «стріла – рукоять – ківш» та формується дійсна траєкторія ковша.

Під час роботи система отримує інформацію від кількох типів датчиків. Датчики ходу гідроциліндрів (або датчики кутів повороту) вимірюють фактичні положення ланок робочого обладнання. Датчики тиску у гідроприводі дозволяють оцінити навантаження на ківш і силу опору ґрунту. Додатково використовується GNSS або лазерна скануюча система, яка забезпечує вимірювання просторового положення ковша відносно проєктної поверхні та реперних точок будівельного майданчика [3].

Вся виміряна інформація надходить до блоку оцінювання стану, де виконується фільтрація сигналів, компенсація шумів датчиків, оцінювання реального положення та швидкості руху ланок, а також визначення відхилення ковша від заданої траєкторії та проєктних відміток. На основі цих даних блок оцінювання стану формує коригуючі впливи для регуляторів приводів (наприклад, зміну коефіцієнтів регуляторів, обмеження швидкості при зростанні навантаження тощо) та передає узагальнену інформацію до регуляторів приводів ланок та ЛМІ для відображення оператору.

Таким чином, система утворює замкнений контур керування: оператор задає параметри роботи через людино-машинний інтерфейс, формувач траєкторії та блок оберненої кінематики перетворюють це завдання в координати ланок, регулятори та гідропривід реалізують рух маніпулятора, а датчики разом із GNSS та лазерною системою забезпечують зворотні зв'язки, які використовуються для корекції роботи системи та інформування оператора.

Запропонована структура дозволяє підвищити якість виконання земляних робіт, а також продуктивність машини та її енергоефективність.

### **Література:**

1. Yaryzhko A. Modeling a fluid power drive of the excavator equipment. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2021. Т. 1. №. 92. С. 178-178.
2. Gurko A., Kyrychenko I., Yaryzhko A. Trajectories Planning and Simulation of a Backhoe Manipulator Movement. Proceedings of the Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019). 2019. – P. 771-785. Access mode: <http://ceur-ws.org/Vol-2353/paper61.pdf>
3. Єфименко О. В., Пługіна, Т. В., Єфименко А. О., Кулай В. П. Застосування GNSS-систем для автоматизованого керування робочими процесами грейдерів із штучним інтелектом. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2023. Вип. 101. Т. 2. С. 129-136.