

# МОДЕЛЬ ВИБОРУ ДАТЧИКА НАХИЛУ САУ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ЕКСКАВАТОРА

К.т.н. І.Г. Ільге, к.т.н. Д.О. Маркозов, Т.І. Пархоменко, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Представлена модель вибору датчика нахилу системи автоматичного управління робочими органами екскаватора на основі використання методу аналізу ієрархій.*

*Представлена модель вибору датчика нахилу системи автоматичного управління робочими органами екскаватора на основі використання методу аналізу ієрархій.*

*A model for selecting the tilt sensor of automatic excavator control systems using the hierarchy analysis method is presented.*

**Ключові слова:** система автоматичного управління, датчик нахилу, екскаватор, модель вибору, метод аналізу ієрархій.

## Введення

Підвищення ефективності застосування будівельних машин неможливе без ефективного використання систем автоматичного управління (САУ) робочими органами машини.

Велике значення для раціональної побудови САУ має доцільний вибір її технічних засобів, зокрема датчиків.

Одним з найбільш поширених типів будівельних машин є одноковшові екскаватори. Обґрунтований вибір датчиків нахилу, що контролюють положення ланок робочого органу одноковшового екскаватора, має визначальний вплив на такі характеристики САУ як точність, надійність і продуктивність, тому проблема вибору датчиків САУ робочими органами екскаватора є актуальною.

## Аналіз публікацій

На ринку технічних засобів автоматизації представлена велика кількість пропозицій датчиків різних типів, що характеризуються великою кількістю параметрів.

Докладний аналіз різних типів датчиків положення для САУ робочими органами екскаватора приведений в роботі [1], виявив декілька основних типів цих датчиків:

- датчики положення всередині виконавчих гідроциліндрів [2-3];
- рішення, засновані на визначенні переміщень ланок шляхом швидкої обробки інформації від відеокамер [4];
- випромінюючі датчики, переважно лазерні [5,6];
- датчики-акселерометри [5,6]
- энкодери [7]
- параметричні ємнісні, індуктивні і потенціометричні датчики [8-10].

Приведені вище типи датчиків характеризуються великою кількістю технічних, економічних та експлуатаційних параметрів. Деякі з цих параметрів

можуть бути подані в якісному вигляді, достовірність деяких параметрів, значення яких декларуються організаціями-розробниками, може викликати сумнів, деякі з них можуть бути відсутні, тому для вибору датчиків треба залучати експертні оцінки.

Проблема вибору датчика положення для САУ робочими органами екскаватора розглядалася недостатньо, зокрема в роботі [1] вона розглядається лише для датчиків параметричного типу. В літературі відсутня інформація про загальні моделі вибору датчика, в умовах невизначеності.

Таким чином проблема побудови моделі вибору датчика САУ робочими органами екскаватора з урахуванням досвіду сукупності експертів є актуальною. Методологічною основою для побудови такої моделі може бути метод аналізу ієрархій [11-12].

## Мета і постановка задачі

Метою роботи є створення моделі вибору датчика нахилу системи автоматичного управління робочими органами екскаватора в умовах невизначеності. Одним з найбільш доцільних методів для побудови таких моделей є метод аналізу ієрархій [11].

Першим кроком для застосування методу аналізу ієрархій є побудова узагальненої ієрархії проблеми вибору шляхом її послідовного розділення на окремі складові.

Далі для всіх елементів ієрархії, окрім верхнього, створюються матриці парних порівнянь, що враховують оцінки експертів. Ці оцінки перевіряються на узгодженість за відомими критеріями [11,12]. Вибір найбільш доцільної альтернативи реалізується шляхом обчислення узагальнених вагових коефіцієнтів альтернатив.

## Розробка структурної ієрархічної моделі

Сама проблема вибору датчика нахилу системи автоматичного управління робочими органами екскаватора являє собою вищий рівень ієрархічної моделі.

Основою для вибору є порівняння існуючих зразків датчиків за економічними, технічними і експлуатаційними параметрами, тому ці три групи параметрів знаходяться на наступному рівні ієрархії.

Ще нижче в ієрархії моделі знаходяться конкретні параметри, що входять в зазначені вище групи.

Основними економічними параметрами є наступні:

- вартість придбання датчика;
  - вартість його експлуатації.
- Технічні параметри наступні:
- вимоги до живлення датчика;
  - діапазон вимірюваних кутів нахилу;
  - габаритні розміри датчика;
  - інтерфейс датчика з системою управління;
  - точність;

- швидкодія, тобто швидкість отримання результату вимірювання.

Експлуатаційні параметри наступні:

- температурний діапазон;
- надійність датчика;
- термін використання датчика;
- вібростійкість;
- чутливість до шумів.

Конкретні зразки датчиків нахилу, що порівнюються, тобто альтернативи, знаходяться на нижньому рівні ієрархії.

Узагальнена ієрархія проблеми вибору датчика нахилу системи автоматичного управління робочими органами екскаватора приведена у вигляді структурної моделі, поданої на рисунку 1.

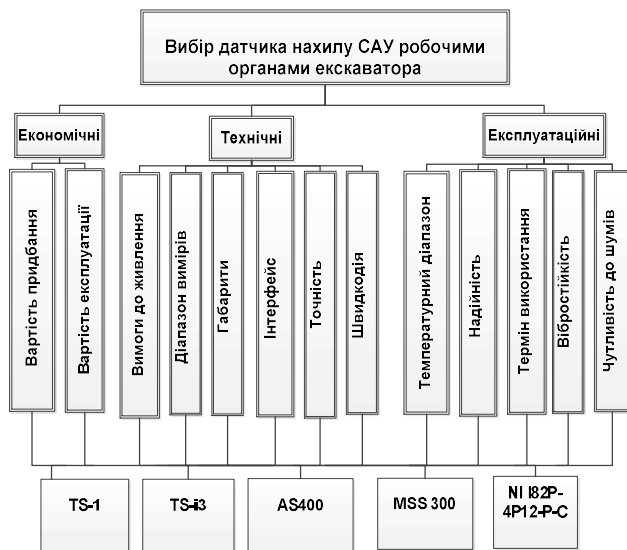


Рис. 1. Структурна модель вибору датчика нахилу системи автоматичного управління робочими органами екскаватора

В якості альтернатив обрано наступні датчики нахилу САУ одноковшового екскаватора [13-17]:

- TS-1 (корпорація Topcon);
- TS-i3 (корпорація Topcon);
- AS400 (корпорація Trimble);
- MSS 300 D GCS-600 (корпорація Leica);
- NI 182P-4P12-P-C (НБК «ТЕКО»).

**Побудова матриць парних порівнянь**

Основою для парних порівнянь є експертні судження, які оцінюються за шкалою Сааті [11]. При операції парного порівняння використовують значення зворотних оцінок переваги. Для сформованої квадратної зворотно-симетричної матриці парних порівнянь визначаються компоненти власного вектора як середні геометричні по рядку, після чого значення компонент власного вектора нормуються за сумою всіх компонент власного вектора и визначаються вагові коефіцієнти  $W$  [6,7].

Для кожного рівня ієрархії елементи цього рівня попарно порівнюються по відношенню до того елемента верхнього рівня, від якого вони залежать.

Першою будується матриця парних порівнянь, що містить порівняння груп параметрів другого рівня ієрархії по відношенню до проблеми вибору датчика нахилу

системи автоматичного управління робочими органами екскаватора. Дану матрицю з обчисленими ваговими коефіцієнтами для груп параметрів подано на рисунку 2.

ВАГА ГРУП	Економічні	Технічні	Експлуатаційні	W
Економічні	1	1/3	1/3	0,14
Технічні	3	1	2	0,53
Експлуатаційні	3	1/2	1	0,33

Рис. 2. Матриця парних порівнянь груп параметрів до критерію вибору датчика

Далі будується матриця парних порівнянь параметрів, що входять в групу технічних параметрів, по відношенню до технічної групи. Цю матрицю з обчисленими ваговими коефіцієнтами наведено на рисунку 3.

Технічні	Вимоги до живлення	Діапазон вимірів	Габарити	Інтерфейс	Точність	Швидкодія	Wтех
Вимоги до живлення	1	1/3	2	1	1/4	1/4	0,08
Діапазон вимірів	3	1	3	2	1/2	1	0,21
Габарити	1/2	1/3	1	1/2	1/3	1/4	0,06
Інтерфейс	1	1/2	2	1	1/2	1/2	0,11
Точність	4	2	3	2	1	1	0,27
Швидкодія	4	1	4	2	1	1	0,26

Рис. 3. Матриця парних порівнянь щодо технічних характеристик

Матриці парних порівнянь альтернатив до параметрів, що входять в групу технічних параметрів, наведено на рисунку 4-9.

Точність	TS-1	TS-i3	AS400	MSS 300	NI 182P-4P12-P-C	Wтех5
TS-1	1	1	2	3	4	0,320
TS-i3	1	1	2	3	5	0,335
AS400	1/2	1/2	1	2	2	0,169
MSS 300	1/3	1/3	1/2	1	1	0,095
NI 182P-4P12-P-C	1/4	1/5	1/2	1	1	0,081

Рис. 4. Матриця парних порівнянь щодо точності

Швидкодія	TS-1	TS-i3	AS400	MSS 300	NI 182P-4P12-P-C	Wтех6
TS-1	1	1/2	2	2	3	0,258
TS-i3	2	1	2	2	3	0,340
AS400	1/2	1/2	1	1	2	0,157
MSS 300	1/2	1/2	1	1	2	0,157
NI 182P-4P12-P-C	1/3	1/3	1/2	1/2	1	0,088

Рис. 5. Матриця парних порівнянь щодо швидкодії

Діапазон вимірів	TS-1	TS-i3	AS400	MSS 300	NI 182P-4P12-P-C	Wtex2
TS-1	1	1	4	3	3	0,339
TS-i3	1	1	4	3	3	0,339
AS400	1/4	1/4	1	1/2	1/3	0,066
MSS 300	1/3	1/3	2	1	1	0,123
NI 182P-4P12-P-C	1/3	1/3	3	1	1	0,133

Рис. 6. Матриця парних порівнянь щодо діапазону вимірів

Вимоги до живлення	TS-1	TS-i3	AS400	MSS 300	NI 182P-4P12-P-C	Wtex1
TS-1	1	1	1/2	1	1/2	0,143
TS-i3	1	1	1/2	1	1/2	0,143
AS400	2	2	1	2	1	0,286
MSS 300	1	1	1/2	1	1/2	0,143
NI 182P-4P12-P-C	2	2	1	2	1	0,286

Рис. 7. Матриця парних порівнянь щодо вимог до живлення

Габарити	TS-1	TS-i3	AS400	MSS 300	NI 182P-4P12-P-C	Wtex3
TS-1	1	1	3	1/2	1/3	0,152
TS-i3	1	1	3	1/2	1/3	0,152
AS400	1/3	1/3	1	1/2	1/3	0,079
MSS 300	2	2	2	1	1/2	0,230
NI 182P-4P12-P-C	3	3	3	2	1	0,387

Рис. 8. Матриця парних порівнянь щодо габаритів

Інтерфейс	TS-1	TS-i3	AS400	MSS 300	NI 182P-4P12-P-C	Wtex4
TS-1	1	1	1	3	2	0,262
TS-i3	1	1	1	3	2	0,262
AS400	1	1	1	3	2	0,262
MSS 300	1/3	1/3	1/3	1	2	0,109
NI 182P-4P12-P-C	1/2	1/2	1/2	1/2	1	0,105

Рис. 9. Матриця парних порівнянь щодо інтерфейсу

Для гілки економічних та гілки експлуатаційних параметрів ієрархічної структури проблеми вибору датчика нахилу систем автоматичного управління робочими органами екскаватора матриці парних порівнянь з ваговими коефіцієнтами будуються аналогічно.

Відношення узгодженості для побудованих матриць парних порівнянь не перевищує прийнятний рівень 10% [11-12].

### Вибір доцільної альтернативи

Визначення узагальнених вагових коефіцієнтів здійснюється за рахунок послідовного зважування вагових коефіцієнтів нижніх рівнів ієрархічної моделі компонентами вектора вагових коефіцієнтів верхніх рівнів [11-12].

Узагальнені вагові коефіцієнти за технічним критерієм (стовбчик Wtex) приведено на рисунку 10.

	Wtex1	Wtex2	Wtex3	Wtex4	Wtex5	Wtex6	
Технічні	0,085	0,208	0,063	0,114	0,274	0,256	Wtex
TS-1	0,143	0,339	0,152	0,262	0,320	0,258	0,276
TS-i3	0,143	0,339	0,152	0,262	0,335	0,340	0,301
AS400	0,286	0,066	0,079	0,262	0,169	0,157	0,160
MSS 300	0,143	0,123	0,230	0,109	0,095	0,157	0,131
NI 182P-4P12-P-C	0,286	0,133	0,387	0,105	0,081	0,088	0,133

Рис. 10. Розрахунок узагальнених вагових коефіцієнтів за технічним критерієм

Результати розрахунку узагальнених вагових коефіцієнтів за всією сукупністю критеріїв даної моделі, приведено на рисунку 11 (стовбчик Wa).

	W_екон	W_тех	W_експ	
Загальна	0,140	0,528	0,333	Wa
TS-1	0,263	0,276	0,253	0,266
TS-i3	0,254	0,301	0,281	0,288
AS400	0,178	0,160	0,212	0,179
MSS 300	0,179	0,131	0,146	0,143
NI 182P-4P12-P-C	0,126	0,133	0,108	0,124

Рис. 11. Розрахунок узагальнених вагових коефіцієнтів за всією сукупністю критеріїв

Найбільшим є узагальнений ваговий коефіцієнт датчика TS-i3, тому саме його можна вважати найбільш доцільним серед інших альтернатив.

### Висновки

У даній роботі шляхом розповсюдження на нову предметну область – вибір датчиків нахилу систем автоматичного управління робочими органами екскаваторів отримав подальший розвиток метод аналізу ієрархій.

Розроблена структурна ієрархічна модель вибору датчиків нахилу систем автоматичного управління робочими органами екскаваторів, яка дозволяє за рахунок застосування метода аналізу ієрархій зробити цей вибір науково обґрунтованим.

Наведено приклад використання розробленої моделі для вибору датчиків нахилу САУ робочими органами одноковшового екскаватора.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Выбор датчика положения рабочего оборудования экскаватора / А. Г. Гурко, А. П. Плахтеев, П. А. Плахтеев // Автомобильный транспорт. - 2014. - Вып. 35. - С. 72-79.
2. Peussa P. Using solenoid valves for proportional pilot pressure control in miniexcavators / P.Peussa, D.Chan, S. Bachmann et al // Proc. of the 4th Scandinavian International Conference.- 1995. – P. 1139-1151.
3. Corke P. Sensors and Control for Mining Robotics / P.Corke, J. Roberts, G. Winstanley // Proc. of the 4th International Symposium on Mine Mechanisation and Automation, Brisbane, Australia, 6-9 July 1997. – B1.11-21.

4. Mulligan I.J. A model-based vision system for manipulator position sensing / I.J. Mulligan, A.K. Mackworth, P.D. Lawrence // Proc. of the Workshop on Interpretation of 3D Scenes. – IEEE, 1989. – P. 186-193.

5. Калабин Е. Копать с умом. Системы управления экскаваторами Topcon 3Dxi / Е. Калабин // Строительная техника и технологии. - 2007. - № 2. - С. 106-112.

6. Leica PowerDigger 3D. The future of excavating. [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: <http://www.leicageo-systems.com/downloads123/z/machine/PowerDigger3D/brochures/PowerDigger3DBROen.pdf>

7. Seward D. LUCIE the robot excavator-design for system safety / D. Seward, F. Margrave // Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation. – IEEE, 1996. – Vol. 1. – P. 963-968.

8. Shaban E.M. Development of an automated verticality alignment system for a vibro-lance / E.M. Shaban, S. Ako et al. // Automation in Construction. – 2008. – Vol. 17. – № 5. – P. 645-655.

9. Murakami T. Precision Angle Sensor Unit for Construction Machinery / T. Murakami, M. Kato, M. Ota // SAE Technical Paper. – 1997. – №. 972782.

10. Precision Rotary Potentiometer. [Electronic Resource]. – Mode of access: URL:

<http://www.fernsteuergeraete.de/en/product-range/precision-rotary-potentiometer.html> – Title from screen.

11. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

12. Saaty T.L. Decision making with Dependence and Feed back / The Analytic Network Process. Pittsburgh: PWS Publications, 2000. – 370 p.

13. Система 3D X53i для экскаваторов [Электронный ресурс]. – Режим доступу: URL: - [https://topcon.pro/stroitelstvo/Excavator\\_system\\_X53/](https://topcon.pro/stroitelstvo/Excavator_system_X53/)

14. Trimble CCS900 [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: - [http://www.intelligentcompaction.com/downloads/TPF/GAIC\\_OpenHouse\\_Trimble.pdf](http://www.intelligentcompaction.com/downloads/TPF/GAIC_OpenHouse_Trimble.pdf)

15. Система 2D X62 для экскаватора [Электронный ресурс]. – Режим доступу: URL: - [https://topcon.pro/stroitelstvo/2D\\_X62\\_system/](https://topcon.pro/stroitelstvo/2D_X62_system/)

16. Описание системы Leica Geosystems [Электронный ресурс]. – Режим доступу: URL: - [https://ngc.com.ua/info/digg\\_all.html](https://ngc.com.ua/info/digg_all.html)

17. Датчики угла наклона. [Электронный ресурс]. – Режим доступу: URL: - <https://teko-com.ru/katalog/datchiki-ugla-naklona-inklinometr/>

УДК 621.879.3

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВІДУ ЕКСКАВАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ

К.т.н. О.В. Ярижко<sup>1</sup>, Н.П. Пенкіна<sup>2</sup>

1. Харківський національний автомобільно-дорожній університет

2. Харківський державний автомобільно-дорожній коледж

У статті розглядається приклад імітаційного моделювання складних технічних систем, що об'єднують в собі динаміку механічної підсистеми экскаваторного обладнання та об'ємного гідропривіду.

В статті рассматривается пример имитационного моделирования сложных технических систем, которые объединяют в себе динамику механической подсистемы экскаваторного оборудования и объемного гидродвижения.

The article discusses an example of simulation modeling of complex technical systems that combine the dynamics of the mechanical subsystem of excavator equipment and a volumetric hydraulic drive.

**Ключові слова:** імітаційна модель, робоче обладнання экскаватора, механічні системи, SimScare, SimHydraulics, SimMechanics.

### Вступ

Гідравлічний привід сучасних будівельних і дорожніх машин досить складний, і моделювання всього приводу в повному обсязі потребує значних зусиль і витрат часу [1]. Однак підвищення якості проектування при одночасному скороченні термінів і витрат можливо тільки при використанні сучасних технологій, комп'ютерної техніки та програмного забезпечення.

SimHydraulics - це окрема бібліотека пакета Simulink середовища MATLAB, призначена для моделювання гідравлічних систем з використанням компонентів, що враховують вплив реальних фізичних характеристик і величин, що зв'язують всі блоки моделі. При цьому, основний підхід для моделювання заснований

на передачі фізичної енергії від блоку до блоку з урахуванням фізичних розмірностей.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В літературі [2-6] запропоновано кілька моделей динаміки об'ємного гідроприводу. У значній кількості робіт, наприклад [2-3], як правило послідовність моделювання робочих процесів гідравлічних приводів містить в собі складання математичної моделі на основі диференціальних та алгебраїчних рівнянь, яким потім вводяться у комп'ютер, шляхом її набору із стандартизованих блоків модуля Simulink програми MATLAB, з подальшим розв'язанням численними методами.

В роботах [4-6] обґрунтовується моделювання робочих процесів гідравлічних систем в середовищі фізичного моделювання SimHydraulics. Наведені приклади компонування блок-схем зі стандартних елементів бібліотеки (золотниковий розподільник, гідронасос, гідроциліндр, запобіжні та зворотні клапани, гідрозамки і інші). Однак в цих роботах не розглядається вплив перемінних у часі зовнішніх сил, які є реакцією при перехідних процесах в багатоланкових механічних системах.

**Мета і задачі роботи.** Мета роботи - розробка імітаційної моделі об'ємного гідроприводу механічної системи (робочого обладнання экскаватора) в пакеті MATLAB & SimHydraulics для дослідження динаміки перехідних процесів багатоланкових механічних об'єктів.

В роботі вирішуються наступні задачі:

1. Розробити фізичну імітаційну модель об'ємного гідроприводу робочого обладнання экскаватора в пакеті