

УДК 685.1

# МОДЕЛЬ ВИБОРУ 3D СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ЕКСКАВАТОРА

К.т.н. І.Г. Льге, О.В. Рябцев, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Представлена модель вибору 3D системи автоматичного управління робочими органами екскаватора на основі використання методу аналізу ієрархії.*

*Представлена модель вибору 3D системи автоматичного управління робочими органами екскаватора на основі використання методу аналізу ієрархії.*

*The model of choice of 3D automatic control system of the excavator working bodies through the use of the analytic hierarchy process.*

**Ключові слова:** система автоматичного управління, 3D система, виїмка ґрунту, модель вибору, метод аналізу ієрархії.

## Введення

Ефективність виконання робіт в будівництві доріг, залежить від ефективності використання будівельних машин, зокрема, екскаваторів. Серед усього різноманіття будівельної техніки екскаватори займають особливе місце. Екскаватору під силу такі види земляних робіт, з якими не впорається жоден інший тип техніки.

Установка систем автоматичного управління (САУ) для екскаваторів дає змогу швидше і більш якісно вирішувати найскладніші завдання, такі як робота наосліп або профілювання, заощадити матеріали, час і гроші.

Разом з тим на ринку представлено достатньо САУ екскаватором, що відрізняються цілою низкою характеристик. Тому актуальним є вирішення проблеми вибору доцільної САУ екскаватора для дорожніх робіт серед великої кількості альтернатив.

## Аналіз публікацій

На теперішній час фірмами – розробниками пропонується велика кількість пропозицій систем автоматизованого управління екскаватором, що відрізняються вартісними якостями, рівнем сервісу та споживацькими якостями.

Сучасні системи, призначені для керування роботою екскаваторів, можуть бути:

- а) індикаторними;
- б) автоматичними (2D і 3D-системи).

В основу роботи індикаторної системи покладена передача візуальної інформації операторові за допомогою візуальних індикаторів. Виходячи з отриманої інформації, оператор керує положенням робочого органу.

Автоматичні системи підключаються безпосередньо до органів керування. Спеціальні датчики, які розташовуються на стрілі, ковші і рукояті, прочитують інформацію про поточне положення робочого органу і передають її на блок керування,

програмне забезпечення якого порівнює поточні параметри із заданими і коригує положення робочого органу. Завдання оператора у такому разі зводиться до контролю відповідності виконуваних робіт до проектних даних [1-3].

Найбільш відомі марки сучасних систем такого типу TOPCON, Leica, Trimble, TF – Technologies A/S та ін.

3D САУ робочими органами екскаватора є складними системами, що характеризуються сукупністю технічних, економічних та ергономічних параметрів, які подаються в кількісному або якісному вигляді. Разом з тим, в умовах реального вибору дані щодо значень деяких з цих параметрів можуть бути відсутні і треба буде спиратися на оцінки експертів.

Врахувати при виборі САУ всю сукупність фактів не використовуючи методіку, орієнтовану на сучасні технології, неможливо. На даний момент у цій області відсутня інформація про методіку вибору, що є науково обґрунтованою. Наприклад, в роботі [4], вибір проводиться за допомогою методу Дельфі, проте цей метод було використано для вибору лише принципу регулювання, а не конкретної САУ. Також є публікації про методіку рішення багатокритеріальної задачі вибору структури каскадного САУ в умовах невизначеності [5], але вибір САУ в цілому не розглядався.

Таким чином проблема побудови моделі вибору САУ екскаватора є актуальною. В якості методологічної основи для побудови такої моделі з урахуванням досвіду сукупності експертів може служити метод аналізу ієрархії [6-7].

## Мета і постановка задачі

Мета роботи полягає у розробці моделі вибору системи автоматизованого управління робочими органами екскаватора в умовах невизначеності за рахунок застосування методу аналізу ієрархії. Для досягнення цієї мети необхідно послідовно вирішити наступні завдання [6]:

1. Розділити проблему вибору САУ на більш прості складові і представити її в ієрархічній формі.
2. Побудувати матриці парних порівнянь для кожного з нижніх рівнів ієрархії і визначити пріоритети всіх елементів ієрархії.
3. Перевірити експертні оцінки на узгодженість.
4. Обчислити узагальнені вагові коефіцієнти і обрати найбільш доцільну САУ.

## Побудова ієрархії проблеми

При представленні вихідної проблеми у вигляді ієрархічної структури мета становить вищий рівень ієрархії. На цьому рівні може перебувати лише один об'єкт. На наступних нижче рівнях знаходяться критерії.

За системою цих критеріїв оцінюються порівнювані об'єкти (звані зазвичай «альтернативами»). Альтернативи розташовуються на самому нижньому рівні.

Вибір САУ екскаватора був здійснений за трьома критеріями:

- економічний;
- технічний;
- ергономічний;

В економічний критерій входять вартість придбання САУ і вартість експлуатації. Технічний критерій містить критерії нижнього рівня, а саме: точність, швидкодюю і надійність. Ергономічний критерій містить такі критерії нижнього рівня як простота інтерфейсу та навантаження на очі.

Розглянемо проблему вибору САУ екскаватора в класі 3D систем.

Альтернативами для визначення доцільної 3D САУ було обрано системи: Topcon X63 3D, 3D Trimble GCS-900, Leica Power Digger 3D, Leica CON excavate 3D.

Декомпозицію проблеми вибору САУ екскаватора в класі 3D систем у вигляді структурної схеми представлено на рисунку 1.

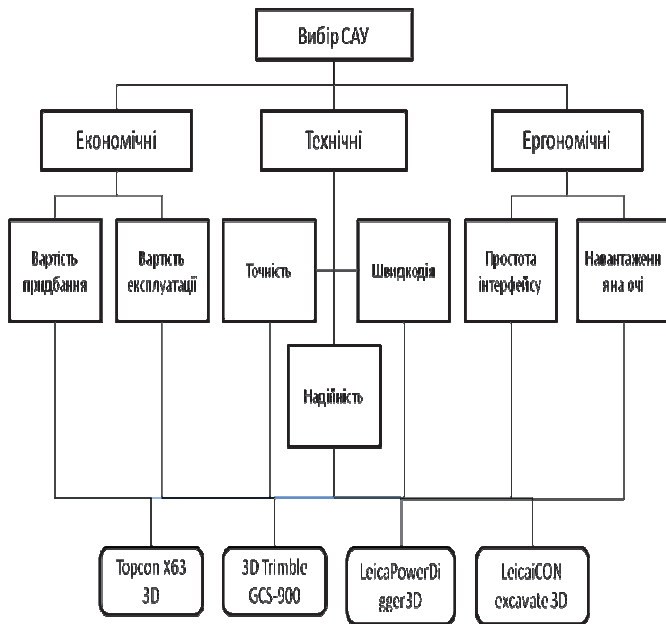


Рис. 1. Структурна схема моделі вибору 3D САУ екскаватора

**Побудова матриць парних порівнянь і визначення вагових коефіцієнтів**

При винесенні експертних суджень на кожному рівні ієрархії по парним порівнянням критерії порівнюються попарно по відношенню до мети; альтернативи – попарно по відношенню до кожного з критеріїв.

Відповідно заповнюються матриці парних порівнянь для кожного з нижчих рівнів. Парні порівняння виконуються з використанням суб'єктивних суджень, що оцінюються за шкалою Сааті [6].

При операції парного порівняння також використовують значення зворотних оцінок переваги:

якщо перевага і-ї альтернативи в порівнянні з j-ю має певне значення за шкалою Сааті, то оцінка уподобання і-ї альтернативи над j-ю буде мати зворотне значення.

Після заповнення квадратної зворотно симетричної матриці парних порівнянь обчислюються компоненти власного вектора як середні геометричні по рядку. Потім значення компонент власного вектора нормуються за сумою всіх компонент власного вектора и отримуємо вагові коефіцієнти W.

Матриця парних порівнянь з ваговими коефіцієнтами для критеріїв верхнього рівня ієрархії приведена на рисунку 2.

|              |             |           |              |      |
|--------------|-------------|-----------|--------------|------|
|              | Економічний | Технічний | Ергономічний | W    |
| Економічний  | 1           | 1/3       | 3            | 0,26 |
| Технічний    | 3           | 1         | 5            | 0,64 |
| Ергономічний | 1/3         | 1/5       | 1            | 0,10 |

Рис. 2. Оцінки експертів щодо визначального критерію

Матриці парних порівнянь з ваговими коефіцієнтами для гілки ієрархічної структури проблеми, що відноситься до технічного критерію, наведено на рисунках 3-6.

|            |          |           |            |      |
|------------|----------|-----------|------------|------|
|            | Точність | Швидкодюю | Надійність | Wtex |
| Точність   | 1        | 3         | 3          | 0,60 |
| Швидкодюю  | 1/3      | 1         | 1          | 0,20 |
| Надійність | 1/3      | 1         | 1          | 0,20 |

Рис. 3. Оцінки експертів щодо технічного критерію

|                        |                |                        |                    |                     |       |
|------------------------|----------------|------------------------|--------------------|---------------------|-------|
| Точність               | Trimble GCS900 | LEICA iCON excavate 3D | Topcon X63 3D ГНСС | LeicaPowerDigger 3D | Wtex1 |
| Trimble GCS900         | 1              | 1/2                    | 1/4                | 2                   | 0,16  |
| LEICA iCON excavate 3D | 2              | 1                      | 1/2                | 3                   | 0,27  |
| Topcon X63 3D ГНСС     | 4              | 2                      | 1                  | 5                   | 0,46  |
| LeicaPowerDigger 3D    | 1/2            | 1/3                    | 1/5                | 1                   | 0,11  |

Рис. 4. Оцінки експертів щодо точності

|                        |                |                        |                    |                     |       |
|------------------------|----------------|------------------------|--------------------|---------------------|-------|
| Швидкодюю              | Trimble GCS900 | LEICA iCON excavate 3D | Topcon X63 3D ГНСС | LeicaPowerDigger 3D | Wtex2 |
| Trimble GCS900         | 1              | 1/3                    | 1/3                | 1                   | 0,13  |
| LEICA iCON excavate 3D | 3              | 1                      | 1                  | 3                   | 0,36  |
| Topcon X63 3D ГНСС     | 3              | 1                      | 1                  | 3                   | 0,36  |
| LeicaPowerDigger 3D    | 1              | 1/3                    | 1/3                | 1                   | 0,15  |

Рис. 5. Оцінки експертів щодо швидкодії

| Надійність             | Trimble GCS900 | LEICA iCON excavate 3D | Topcon X63 3D ГНСС | LeicaPowerDigger 3D | Wtex3 |
|------------------------|----------------|------------------------|--------------------|---------------------|-------|
| Trimble GCS900         | 1              | 2                      | 3                  | 1                   | 0,35  |
| LEICA iCON excavate 3D | 1/2            | 1                      | 2                  | 1/2                 | 0,20  |
| Topcon X63 3D ГНСС     | 1/3            | 1/2                    | 1                  | 1/3                 | 0,13  |
| LeicaPowerDigger 3D    | 1              | 2                      | 3                  | 1                   | 0,32  |

Рис. 6. Оцінки експертів щодо надійності

Матриці парних порівнянь з ваговими коефіцієнтами для інших гілок ієрархічної структури проблеми вибору 3D САУ екскаватора формуються аналогічно.

#### Перевірка експертних оцінок на узгодженість

Після формування всіх матриць парних порівнянь з ваговими коефіцієнтами визначають узгодженість експертних оцінок шляхом обчислення індексу узгодженості і відношення узгодженості [6-7].

Для отриманих матриць парних порівнянь відношення узгодженості не перевищує прийнятний рівень 10%.

#### Вибір доцільного варіанта 3D САУ екскаватора

Обчислення узагальнених вагових коефіцієнтів відбувається за рахунок послідовного зважування вагових коефіцієнтів нижніх рівнів ієрархічної моделі компонентами вектора вагових коефіцієнтів верхніх рівнів.

Так, зокрема, на рисунку 7 подано розрахунок узагальнених вагових коефіцієнтів за технічним критерієм.

| Технічний              | 0,60 | 0,20 | 0,2  | Wtex |
|------------------------|------|------|------|------|
| Trimble GCS900         | 0,16 | 0,13 | 0,35 | 0,19 |
| LEICA iCON excavate 3D | 0,27 | 0,36 | 0,20 | 0,28 |
| Topcon X63 3D ГНСС     | 0,46 | 0,36 | 0,13 | 0,37 |
| LeicaPowerDigger 3D    | 0,11 | 0,15 | 0,32 | 0,16 |

Рис. 7. Розрахунок узагальнених вагових коефіцієнтів за технічним критерієм

Результати розрахунку узагальнених вагових коефіцієнтів за всією сукупністю критеріїв приведено на рисунку 8.

На підставі виконаних обчислень визначаємо альтернативу, що задовольняє всім критеріям - система Topcon X63 3D ГНСС є найбільш доцільною серед інших 3D систем.

| Загальний              | 0,26 | 0,64 | 0,1  | Wa   |
|------------------------|------|------|------|------|
| Trimble GCS900         | 0,22 | 0,19 | 0,27 | 0,21 |
| LEICA iCON excavate 3D | 0,22 | 0,28 | 0,26 | 0,26 |
| Topcon X63 3D ГНСС     | 0,10 | 0,37 | 0,20 | 0,29 |
| LeicaPowerDigger 3D    | 0,45 | 0,16 | 0,26 | 0,25 |

Рис. 8. Розрахунок узагальнених вагових коефіцієнтів за всією сукупністю критеріїв

#### Висновки

Таким чином, у даній роботі отримав подальший розвиток метод аналізу ієрархій шляхом розповсюдження його на нову предметну область – вибір 3D системи автоматичного управління екскаватора.

Розроблена структурна модель вибору 3D системи автоматичного управління екскаватора, яка дозволяє за рахунок застосування метод аналізу ієрархій зробити цей вибір науково обґрунтованим.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. 3D-система управління екскаватором. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL: [http://www.topcon-positioning.eu/UserFiles/files/3.%20Leaflets%20Machine%20Control/Leaflet%203DXi/Leaflet%203DXi\\_A4%20Russian-PRIN-low.pdf](http://www.topcon-positioning.eu/UserFiles/files/3.%20Leaflets%20Machine%20Control/Leaflet%203DXi/Leaflet%203DXi_A4%20Russian-PRIN-low.pdf)
2. Leica PowerDigger 3D. The future of excavating. [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: [http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/machine/PowerDigger%203D/brochures/PowerDigger3D\\_BRO\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/machine/PowerDigger%203D/brochures/PowerDigger3D_BRO_en.pdf)
3. Trimble GCS600 Grade Control System For Excavators. [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: [http://www.sitech-wc.ca/products\\_and\\_solutions/Machine\\_Control\\_Systems/Trimble\\_GCS600\\_Excavators.aspx](http://www.sitech-wc.ca/products_and_solutions/Machine_Control_Systems/Trimble_GCS600_Excavators.aspx) – Title from the screen.
4. Выбор принципа построения сложной системы автоматического управления на основе экспертных оценок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mathnet.ru/links/97a7d557bc333d5863d4480525358c7e/at-9114.pdf>
5. Методика решения многокритериальной задачи выбора структуры каскадной САУ в условиях неопределенности [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rae.ru/fs/279-r17443>
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
7. Saaty T.L. Decision making with Dependence and Feedback / The Analytic Network Process. Pittsburgh: PWS Publications, 2000. – 370 p.