

УДК 685.1

## МОДЕЛЬ ВИБОРУ САУ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ БУЛЬДОЗЕРА

К.т.н. І.Г. Льге, Р.Ю. Мереха, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

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

*Представлена модель выбора системы автоматического управления рабочими органами бульдозера на основе использования метода анализа иерархий.*

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

**Ключові слова:** система автоматичного управління, бульдозер, модель вибору, метод аналізу ієрархій, структурна модель.

**Введення**

Ефективність застосування будівельних машин має вирішальне значення для успішності виконання проектів будівництва, зокрема проектів будівництва автомобільних доріг.

Значний обсяг робіт в проектах будівництва пов'язаний з профілюванням земляного полотна і виконується бульдозерною технікою. Результативність використання бульдозерів в сучасних умовах будівництва в великій мірі залежить від систем автоматичного управління робочими (САУ) органами машини.

На ринку України представлена велика кількість зразків систем автоматичного управління різних класів, починаючи від найпростіших індикаторних до найсучасніших 3D систем, тому проблема доцільного вибору такої системи, що відповідає конкретному типу бульдозера і виконуваним ним завданням, є актуальною і потребує для свого розв'язання побудови моделі вибору САУ робочими органами бульдозера.

**Аналіз публікацій**

На бульдозерах використовують три основні типи систем автоматичного управління робочими органами.

Перший тип - це прості лазерні системи, які рекомендовані для установки на малі бульдозери. Встановивши приймач (з магнітним кріпленням) на відвал бульдозера, машиніст дістає можливість самостійно контролювати поточний рівень розробки ґрунту. Таким чином, відпадає необхідність постійної присутності на будівельному майданчику геодезиста або майстра. Фактично, приймач виконує роль вимірювального інструменту.

Другий тип - це системи, засновані на використанні датчиків вимірів кутів поворотів (акселерометрів) встановлюваних на відвалі. Така система, на відміну від простих лазерних систем, не

вимагає прямої видимості від лазерного нівеліра і є найбільш універсальною, оскільки може бути використана при таких роботах, коли не видно відвалу, наприклад при днопоглиблювальних роботах.

Третій тип систем - це системи, робота яких заснована на технології 3D. У системі використовується цифрова модель проекту, яка записується в пам'ять панелі управління, встановленої в кабіні. Положення відвалу визначається за допомогою навігаційних датчиків і двох GPS приймачів, що визначають положення відвалу в просторі, а не відносно висотного репера. Таким чином, незалежно від положення машини, машиніст завжди бачить положення відвалу відносно проекційної поверхні заданої в цифровій моделі.

Системи всіх трьох типів представлені на ринку в значні й кількості [1-6], однак дані щодо їх параметрів є неповними. Значення цих параметрів декларуються постачальниками або виробниками САУ і потребують практичного підтвердження або експертної оцінки.

Питання вибору САУ робочими органами будівельних машин в умовах невизначеності розглянуті в літературі недостатньо [7-9], зокрема в роботі [7] автор вирішує тільки проблему вибору САУ екскаватора 3D класу, а представлені в роботах [8-9] узагальнені модель вибору САУ робочими органами машин враховують лише найбільш загальні критерії. В літературі немає інформації про моделі вибору САУ робочими органами бульдозера в умовах невизначеності.

Виходячи з наведеного вище аналізу є актуальною проблема побудови моделі вибору САУ робочими органами бульдозера, що враховує досвід експертів.

**Мета і постановка задачі**

Розробка моделі вибору САУ робочими органами бульдозера в умовах невизначеності є метою даної роботи. Для досягнення цієї мети будемо використовувати метод аналізу ієрархій [10-11].

Реалізація даного методу потребує створення ієрархії проблеми вибору, яка формується за рахунок послідовної декомпозиції проблеми.

Після створення ієрархії проблеми вибору для врахування експертних оцінок будуються матриці парних порівнянь для всіх складових ієрархії, виключаючи саму проблему.

За допомогою матриць парних порівнянь обчислюються узагальнені вагові коефіцієнти альтернатив і на їх підставі обирається доцільна альтернатива [10,11].

**Розробка структурної ієрархічної моделі**

Для розв'язання проблеми вибору САУ бульдозера, що є верхнім рівнем структурної ієрархічної

моделі, необхідно враховувати чотири групи критеріїв, а саме економічні, технічні, експлуатаційні та ергономічні. Ці групи складають наступний рівень ієрархічної моделі.

До економічних критеріїв відносять базову вартість САУ та витрати на її експлуатацію.

Основними технічними параметрами САУ робочими органами бульдозера є:

- точність;
- швидкодія;
- реагування на критичні навантаження;
- стійкість до зовнішніх впливів;
- наявність функції утримання нахилу.

Експлуатаційна група критеріїв містить:

- гнучкість монтажу і настроювання;
- віддалений доступ до офісу;
- універсальність застосування;
- сервісна підтримка;
- адаптивна витрата пального;
- багато режимність.

До ергономічних критеріїв відносять:

- зручність інтерфейсу;
- візуальну комфортність.

Перелічені вище критерії складають третій рівень ієрархії моделі.

Нижній рівень ієрархії складають альтернативи, тобто конкретні САУ робочими органами бульдозера.

Таким чином, враховуючи всі перелічені вище рівні, побудовано структурну ієрархічну модель проблеми вибору САУ робочими органами бульдозера. Ця модель представлена на рисунку 1.

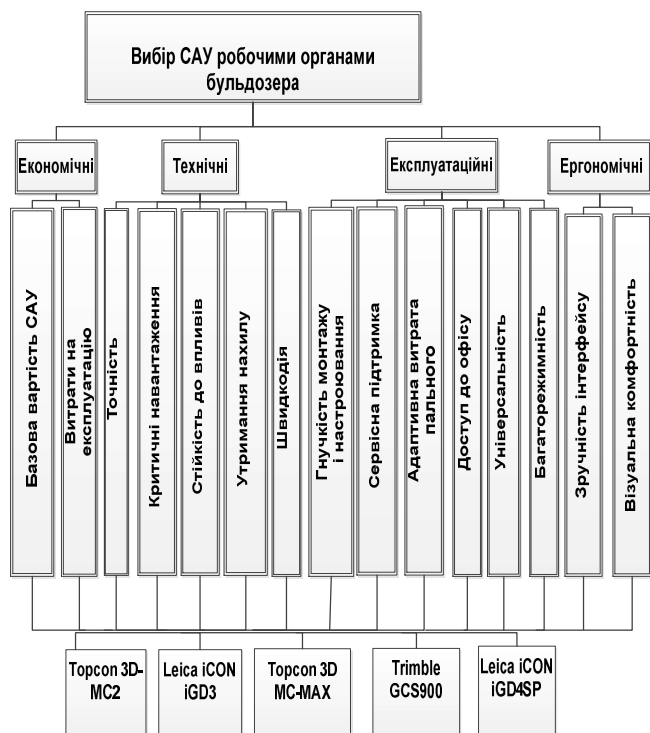


Рис. 1. Структурна ієрархічна модель вибору САУ робочими органами бульдозера

Альтернативами обрано системи провідних розробників САУ робочими органами бульдозера [1-6]:

- Topcon 3D-MC2;
- Leica iCON iGD3;
- Topcon 3D MC-MAX;
- Trimble GCS-900;
- Leica iCON iGD4SP.

**Побудова матриць парних порівнянь**

Матриці парних порівнянь формуються за допомогою оцінок експертів, які перетворюються в числові значення з використанням шкали Сааті [10].

Елементи певного рівня ієрархії попарно порівнюються відносно елемента вищого рівня, від якого вони залежать.

Вагові коефіцієнти для матриць парних порівнянь визначаються нормуванням компонент власного вектора матриці сумою всіх компонент, кожна з яких визначається як середнє геометричне по рядку [10,11]

Порівняння груп критеріїв другого рівня ієрархії по відношенню до проблеми вибору САУ робочими органами бульдозера показано на рисунку 2. На ньому приведена матриця парних порівнянь з ваговими коефіцієнтами груп критеріїв.

| ВАГА ГРУП      | Економічні | Технічні | Експлуатаційні | Ергономічні | W    |
|----------------|------------|----------|----------------|-------------|------|
| Економічні     | 1          | 1/2      | 1/3            | 2           | 0,17 |
| Технічні       | 2          | 1        | 2              | 2           | 0,38 |
| Експлуатаційні | 3          | 1/2      | 1              | 3           | 0,33 |
| Ергономічні    | 1/2        | 1/2      | 1/3            | 1           | 0,12 |

Рис. 2. Матриця порівнянь груп критеріїв до проблеми вибору САУ робочими органами бульдозера

На наступному рівні формуються матриці парних порівнянь критеріїв певної групи по відношенню до групи, в яку ці критерії входять. Зокрема, матриця парних порівнянь з розрахованими ваговими коефіцієнтами для експлуатаційної групи критеріїв показано на рисунку 3.

| Експлуатаційні                   | гнучкість монтажу і настроювання | доступ до офісу | універсальність | сервісна підтримка | адаптивна витрата пального | багато-режимність | Вес  |
|----------------------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|----------------------------|-------------------|------|
| гнучкість монтажу і настроювання | 1                                | 2               | 2               | 1                  | 1/3                        | 1/2               | 0,14 |
| доступ до офісу                  | 1/2                              | 1               | 1/2             | 1/2                | 1/3                        | 1/2               | 0,08 |
| універсальність                  | 1/2                              | 2               | 1               | 1                  | 1/2                        | 1                 | 0,14 |
| сервісна підтримка               | 1                                | 2               | 1               | 1                  | 1/2                        | 1/2               | 0,14 |
| адаптивна витрата пального       | 3                                | 3               | 2               | 2                  | 1                          | 2                 | 0,31 |
| багато-режимність                | 2                                | 2               | 1               | 2                  | 1/2                        | 1                 | 0,19 |

Рис. 3. Матриця порівнянь для експлуатаційної групи критеріїв

Матриці парних порівнянь альтернатив до критеріїв, що входять в групу експлуатаційних критеріїв, наведено на рисунках 4-9.

| Гнучкість монтажу і настроювання | Topcon 3D-MC2 | Leica iCON iGD3 | Topcon 3D MC-MAX | Trimble GCS-900 | Leica iCON iGD4SP | Wekc1 |
|----------------------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|-------|
| Topcon 3D-MC2                    | 1             | 1/3             | 2                | 2               | 1/2               | 0,166 |
| Leica iCON iGD3                  | 3             | 1               | 2                | 3               | 2                 | 0,368 |
| Topcon 3D MC-MAX                 | 1/2           | 1/2             | 1                | 1/2             | 1/2               | 0,103 |
| Trimble GCS-900                  | 1/2           | 1/3             | 2                | 1               | 1/2               | 0,126 |
| Leica iCON iGD4SP                | 2             | 1/2             | 2                | 2               | 1                 | 0,237 |

Рис. 4. Матриця порівнянь САУ за гнучкістю монтажу і настроювання

| доступ до офісу   | Topcon 3D-MC2 | Leica iCON iGD3 | Topcon 3D MC-MAX | Trimble GCS-900 | Leica iCON iGD4SP | Wekc2 |
|-------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|-------|
| Topcon 3D-MC2     | 1             | 1/3             | 1                | 1/2             | 1/3               | 0,101 |
| Leica iCON iGD3   | 3             | 1               | 3                | 1               | 1                 | 0,280 |
| Topcon 3D MC-MAX  | 1             | 1/3             | 1                | 1/2             | 1/3               | 0,101 |
| Trimble GCS-900   | 2             | 1               | 2                | 1               | 1                 | 0,238 |
| Leica iCON iGD4SP | 3             | 1               | 3                | 1               | 1                 | 0,280 |

Рис. 5. Матриця порівнянь САУ за доступом до офісу

| універсальність   | Topcon 3D-MC2 | Leica iCON iGD3 | Topcon 3D MC-MAX | Trimble GCS-900 | Leica iCON iGD4SP | Wekc3 |
|-------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|-------|
| Topcon 3D-MC2     | 1             | 2               | 1                | 3               | 1                 | 0,27  |
| Leica iCON iGD3   | 1/2           | 1               | 1                | 3               | 1                 | 0,20  |
| Topcon 3D MC-MAX  | 1             | 1               | 1                | 2               | 2                 | 0,25  |
| Trimble GCS-900   | 1/3           | 1/3             | 1/2              | 1               | 1/2               | 0,09  |
| Leica iCON iGD4SP | 1             | 1               | 1/2              | 2               | 1                 | 0,19  |

Рис. 6. Матриця порівнянь САУ за універсальністю

| сервісна підтримка | Topcon 3D-MC2 | Leica iCON iGD3 | Topcon 3D MC-MAX | Trimble GCS-900 | Leica iCON iGD4SP | Wekc4 |
|--------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|-------|
| Topcon 3D-MC2      | 1             | 1/2             | 1                | 2               | 1/2               | 0,16  |
| Leica iCON iGD3    | 2             | 1               | 2                | 3               | 1                 | 0,30  |
| Topcon 3D MC-MAX   | 1             | 1/2             | 1                | 2               | 1/2               | 0,16  |
| Trimble GCS-900    | 1/2           | 1/3             | 1/2              | 1               | 1/2               | 0,10  |
| Leica iCON iGD4SP  | 2             | 1               | 2                | 2               | 1                 | 0,28  |

Рис. 7. Матриця парних порівнянь САУ за сервісною підтримкою

| адаптивна витрата пального | Topcon 3D-MC2 | Leica iCON iGD3 | Topcon 3D MC-MAX | Trimble GCS-900 | Leica iCON iGD4SP | Wekc5 |
|----------------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|-------|
| Topcon 3D-MC2              | 1             | 3               | 1                | 2               | 3                 | 0,33  |
| Leica iCON iGD3            | 1/3           | 1               | 1/2              | 2               | 1                 | 0,15  |
| Topcon 3D MC-MAX           | 1             | 2               | 1                | 2               | 2                 | 0,28  |
| Trimble GCS-900            | 1/2           | 1/2             | 1/2              | 1               | 1/2               | 0,10  |
| Leica iCON iGD4SP          | 1/3           | 1               | 1/2              | 2               | 1                 | 0,15  |

Рис. 8. Матриця порівнянь САУ за адаптивною витратою пального

| багато-режимність | Topcon 3D-MC2 | Leica iCON iGD3 | Topcon 3D MC-MAX | Trimble GCS-900 | Leica iCON iGD4SP | Wekc6 |
|-------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|-------|
| Topcon 3D-MC2     | 1             | 2               | 1/2              | 1/2             | 1                 | 0,15  |
| Leica iCON iGD3   | 1/2           | 1               | 1/4              | 1/3             | 1                 | 0,09  |
| Topcon 3D MC-MAX  | 2             | 4               | 1                | 1               | 3                 | 0,34  |
| Trimble GCS-900   | 2             | 3               | 1                | 1               | 2                 | 0,29  |
| Leica iCON iGD4SP | 1             | 1               | 1/3              | 1/2             | 1                 | 0,12  |

Рис. 9. Матриця порівнянь САУ за багаторежимністю

За аналогічним алгоритмом на основі оцінок експертів будуються матриці парних порівнянь і обчислюються вагові коефіцієнти для оцінки альтернатив САУ робочими органами бульдозера за технічними, економічними і ергономічними групами критеріїв.

Побудовані матриці перевірені за допомогою відомих відношень узгодженості [10], і з'ясовано, що вони відповідають необхідному рівню узгодженості.

#### Визначення доцільної альтернативи

Шляхом послідовного зважування вагових коефіцієнтів нижніх рівнів ієрархічної моделі компонентами вектора вагових коефіцієнтів верхніх рівнів визначаються узагальнені вагові коефіцієнти за кожною з груп критеріїв.

Для експлуатаційної групи критеріїв узагальнені вагові коефіцієнти приведено на рисунку 10 в стовпчику  $W_{a\_екс}$ .

|                      | гнучкість<br>монтажу<br>і<br>настрою | доступ<br>до офісу | універса<br>льність | сервісна<br>підтримка | адаптив<br>на<br>витрата<br>пального | багато-<br>режимність |        |
|----------------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------|
| Експлуатаційні       | 0,143                                | 0,080              | 0,136               | 0,136                 | 0,312                                | 0,193                 | Wa_екс |
| Topcon 3D-<br>MC2    | 0,166                                | 0,101              | 0,269               | 0,160                 | 0,325                                | 0,155                 | 0,222  |
| Leica iCON<br>iGD3   | 0,368                                | 0,280              | 0,204               | 0,303                 | 0,147                                | 0,094                 | 0,208  |
| Topcon 3D MC-<br>MAX | 0,103                                | 0,101              | 0,248               | 0,160                 | 0,277                                | 0,335                 | 0,229  |
| Trimble GCS-<br>900  | 0,126                                | 0,238              | 0,092               | 0,098                 | 0,105                                | 0,292                 | 0,152  |
| Leica iCON<br>iGD4SP | 0,237                                | 0,280              | 0,188               | 0,279                 | 0,147                                | 0,124                 | 0,190  |

Рис. 10. Узагальненні вагові коефіцієнти за експлуатаційною групою критеріїв

Узагальнені вагові коефіцієнти для альтернатив за економічними, технічними, експлуатаційними і ергономічними групами критеріїв показано на рисунку 11. Столпчик Wa містить підсумкові значення для кожної альтернативи.

|                      | економічні | технічні | експлуатаційні | ергономічні |       |
|----------------------|------------|----------|----------------|-------------|-------|
| Загальна             | 0,171      | 0,379    | 0,328          | 0,121       | Wa    |
| Topcon 3D-MC2        | 0,152      | 0,225    | 0,222          | 0,304       | 0,221 |
| Leica iCON iGD3      | 0,266      | 0,219    | 0,208          | 0,110       | 0,210 |
| Topcon 3D MC-<br>MAX | 0,140      | 0,231    | 0,229          | 0,304       | 0,224 |
| Trimble GCS-900      | 0,256      | 0,130    | 0,152          | 0,178       | 0,164 |
| Leica iCON<br>iGD4SP | 0,186      | 0,194    | 0,190          | 0,104       | 0,180 |

Рис. 11. Узагальнені вагові коефіцієнти за всіма групами критеріїв

З порівняння підсумкових значень узагальнених вагових коефіцієнтів, наведених на рисунку 11, впливає що САУ Topcon 3D MC-MAX є найкращою альтернативою за всією сукупністю критеріїв.

### Висновки

У даній роботі отримав подальший розвиток метод аналізу ієрархій шляхом розповсюдження на нову предметну область – вибір системи автоматичного управління робочими органами бульдозера.

Побудовано структурну ієрархічну модель вибору системи автоматичного управління робочими органами бульдозера, яка дозволяє за рахунок застосування метода аналізу ієрархій зробити цей вибір науково обґрунтованим.

Подано приклад застосування розробленої моделі для вибору конкретної САУ робочими органами бульдозера серед зразків провідних виробників цих систем.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Trimble Earthworks Система Автоматического Управления для бульдозеров. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: - [https:// construction.trimble.com /sites/default/files/2018-06/022482-3923-RU\\_Earthworks-for-Dozers\\_DS\\_A4\\_0118\\_LR.pdf](https://construction.trimble.com/sites/default/files/2018-06/022482-3923-RU_Earthworks-for-Dozers_DS_A4_0118_LR.pdf)
2. Системы автоматического управления: Система автоматики «Комбиплан-ЮЛ» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: - [http:// www.stroj-mash.ru/elementy-gidravlicheskogo-privoda/sistemyi-avtomaticheskogo-upravleniya.html](http://www.stroj-mash.ru/elementy-gidravlicheskogo-privoda/sistemyi-avtomaticheskogo-upravleniya.html)
3. 3D Система управления бульдозером Leica iCON iGD3 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: - [https://ngc.com.ua/p/976-leica-icon\\_igd3.html](https://ngc.com.ua/p/976-leica-icon_igd3.html)
4. 2D Система управления бульдозером Leica iCON iGD2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: - [https://ngc.com.ua/p/975-leica-icon\\_igd2.html](https://ngc.com.ua/p/975-leica-icon_igd2.html)
5. Система Topcon 2D System Five для бульдозеров [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: - [https:// topcon.pro/stroitelstvo/ 2d\\_laser\\_for\\_dozers/](https://topcon.pro/stroitelstvo/2d_laser_for_dozers/)
6. 3D GNSS для бульдозеров [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: - [http:// www.ukrgeo.com.ua /products /sistemy-upravleniya-tehnikoi/dlya-buldozerov/systema-topcon-3d-gnss-dlya-buldozeriv.html](http://www.ukrgeo.com.ua/products/sistemy-upravleniya-tehnikoi/dlya-buldozerov/systema-topcon-3d-gnss-dlya-buldozeriv.html)
7. Ильге И.Г. Модель выбора 3D системы автоматического управления рабочими органами экскаватора / И.Г. Ильге, О.В. Рябцев // Технология приборостроения. - 2015. - . - № 1 – с. 3-5.
8. Ильге И.Г. Узагальнена модель вибору систем автоматичного управління робочими органами машин для земляних робіт / І.Г. Ильге, О.В. Рябцев // Технология приборостроения. - 2016. - . - № 2 – с. 104-106.
9. Ильге И.Г. Модель планирования ремонта автомобильных дорог с учетом выбора доцільного выбора засобів автоматизації/ І.Г. Ильге, Р.С. Богдан// Технология приборостроения. - 2017. - №2. - с. 40-43.
10. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иєрархий [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
11. Saaty T.L. Decision making with Dependence and Feed back / The Analytic Network Process. Pittsburgh: PWS Publications, 2000. – 370 p.