

# МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ РЕМОНТУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ З УРАХУВАННЯМ ДОЦІЛЬНОГО ВИБОРУ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

К.т.н. І.Г. Ільге, Р. С. Богдан, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Представлена модель побудови плану проекту ремонту автомобільної дороги з урахуванням доцільного вибору систем автоматичного управління будівельними машинами на основі використання методу аналізу ієрархії.*

*Представлена модель построения плана проекта ремонта автомобильной дороги с учетом целесообразного выбора систем автоматического управления строительными машинами на основе использования метода анализа иерархий.*

*A model for constructing a plan for a road repair project is presented, taking into account the appropriate choice of systems for automatic control of construction machines based on the use of the hierarchy analysis method.*

**Ключові слова:** система автоматичного управління, план проекту, ремонт автомобільної дороги, модель вибору, метод аналізу ієрархії.

## Введення

Безпека дорожнього руху і тривалість ефективної експлуатації автомобілів на дорогах залежать від якості здійснення ремонту доріг. Основними рисами проектів ремонту автомобільних доріг є складна структура проекту, варіативність застосування технічних засобів, зокрема, засобів автоматизації, розподілений в просторі характер проекту ремонту, необхідність ретельного планування з урахуванням дотримання обмежень проекту [1-3].

Одним з ключових факторів, що впливають на термін виконання, якість і вартість здійснення ремонтних робіт на автомобільних дорогах є доцільне застосування сучасних засобів автоматизації, зокрема систем автоматичного управління [4]. На ринку ці системи представлені в значній кількості альтернатив, що відрізняються багатьма параметрами. Тому проблема раціонального планування проектів ремонту доріг з урахуванням доцільного вибору засобів автоматизації є актуальною.

## Аналіз публікацій

Математичні моделі, що розглядають планування проектів ремонту дороги проектів та споріднених до них проектів, розроблені в роботах [5-8].

Підхід до проблеми побудови плану проекту ремонту автомобільної дороги, що полягає в використанні накопиченого досвіду виконання ремонтних робіт на автомобільних дорогах на базі теорії прецедентів, розвинутий в роботах [6,7]. План проекту ремонту в цьому випадку будується шляхом модифікації плану-прототипу, знайденому в базі даних проектів. Однак для цього по-перше необхідна наявність бази даних, а по-друге - наявність в ній планів проектів,

виконаних із застосуванням сучасних засобів автоматизації, що не завжди можливо.

Метод аналізу варіантів проекту для проектів ремонту доріг та споріднених проектів по ліквідації надзвичайних подій на магістральних автомобільних дорогах з оцінкою тривалості робіт на підставі прийнятого рівня ризику запропонований в роботах [7,8]. Аналіз варіанту проекту за даним методом проводиться за допомогою імітаційного моделювання і потребує статистичної інформації для оцінки тривалості робіт проекту.

Розв'язання проблеми доцільного вибору системи автоматичного управління будівельними машинами розглянуто в роботах [9,10] з використанням методу аналізу ієрархій, але в запропонованих в них моделях вибору не враховуються особливості ділянки дороги, що ремонтується.

Разом з тим відсутні публікації, в яких враховується вплив вибору засобів автоматизації на базові параметри проектів ремонту автомобільних доріг.

Таким чином проблема розробки моделі побудови плану проекту ремонту автомобільної дороги з урахуванням доцільного вибору засобів автоматизації є актуальною.

## Мета і постановка задачі

Метою дослідження є підвищення ефективності управління проектами ремонту автомобільних доріг за рахунок розробки моделі побудови плану проекту ремонту автомобільної дороги методом аналізу варіантів рішень за багатьма критеріями з доцільним вибором засобів автоматизації в умовах невизначеності.

## Метод дослідження

Завдання планування робіт проекту ремонту автомобільної дороги.

Відомо:

- множина робіт  $N = \{n\}$ ,  $n = \overline{1, n'}$ , яку треба

виконати і необхідні для них ресурси  $\Gamma_{nm}$  з урахуванням систем автоматичного управління будівельними машинами  $b_n$ ,  $n$  - кількість робіт по проекту,  $m = \overline{1, m^n}$ ;  $m^n$  - кількість ресурсів для  $n$ -ої роботи по даному проекту ремонту автомобільної дороги;

- тривалість виконання  $n$ -ої роботи в нормальному режимі  $\Delta t_n$ ;

- вартість виконання  $n$ -ої роботи в нормальному режимі  $S_n$ ;

- технологічний порядок виконання робіт  $a_{\gamma n}$ ,  $\gamma, n = \overline{1, n'}$ , де

$a_m = 1$ , якщо робота  $\gamma$  повинна передувати роботі  $n$ ,  
 $a_m = 0$  в іншому випадку.

Необхідно визначити послідовність, початок  $t_n$  і закінчення реалізації  $t_n + \Delta t_n$  кожної роботи проекту ремонту автомобільної дороги.

Для вирішення цього завдання використаємо розроблену в роботах [5,8] модель планування реалізації робіт проекту.

Часткові критерії:

1) мінімізувати вартість виконання всіх робіт за проектом ремонту автомобільної дороги

$$S = \min \sum_{j=1}^{j'} \sum_{n=1}^n S_n(t_n, \Delta t_n) \quad (1)$$

2) мінімізувати витрати кожного виду ресурсів за проектом ремонту автомобільної дороги

$$R_m = \min \sum_{n=1}^n r_{nm}(t_n, \Delta t_n); m = \overline{1, m^n}; \quad (2)$$

3) мінімізувати тривалість реалізації проекту із заданою вірогідністю завершення його в строк

$$DT^* = \min [DT(t_m, \Delta t_m)]. \quad (3)$$

Область допустимих рішень задається наступними обмеженнями:

1) всі роботи повинні завершитися до кінця планового періоду  $\Phi_{зад}$

$$t_n + \Delta t_n \leq \Phi_{зад}; n = \overline{1, n'}; \quad (4)$$

2) всі роботи повинні виконуватися в технологічній послідовності

$$t_n \geq \max \{a_{\gamma n}(t_{\gamma} + \Delta t_{\gamma})\}; \gamma, n = \overline{1, n'}; \quad (5)$$

3) сума ресурсів  $m$ -го типу по всіх роботах проекту не повинна перевищувати заданого значення  $R_m^{зад}$

$$\sum_{n=1}^n r_{nm}(t) \leq R_m^{зад}; m = \overline{1, m^n}. \quad (6)$$

Наведена модель (1) - (6) відносяться до класу задач математичного програмування за багатьма критеріями.

**Модель вибору засобів автоматизації**

Для вибору системи автоматизованого управління будівельними машинами пропонується використовувати метод аналізу ієрархій, який реалізується у вигляді кількох послідовних етапів [11,12].

На першому етапі виконується представлення проблеми вибору системи автоматизованого управління у вигляді ієрархії окремих складових.

На другому етапі визначаються пріоритети всіх елементів ієрархії на основі побудови матриць парних порівнянь для кожного з нижніх рівнів ієрархії із використанням експертних оцінок, які перевіряються на узгодженість за відомими критеріями [11,12].

На заключному етапі відбувається вибір конкретного варіанта системи автоматизованого управління за допомогою обчислення узагальнених вагових коефіцієнтів.

Як показано в роботі [10], вибір системи автоматичного управління для будівельних машин (вищий рівень ієрархії) відбувається виходячи з її економічних, технічних і ергономічних характеристик незалежно від конкретного типу машини. Саме ці три групи характеристик складають наступний, другий рівень ієрархії. Їх складові, що відносяться до третього рівня, детально розглянуті в [10].

Однак в умовах використання систем автоматичного управління для будівельних машин для виконання робіт проектів ремонту автомобільних доріг є необхідність додати в ієрархічну модель ще одну групу характеристик, а саме групу вимог проекту, що враховує особливості конкретної ділянки автомобільної дороги, на якій відбуваються роботи.

До цієї групи входять наступні характеристики:

- здатність системи працювати в запиленому повітрі;
- здатність системи працювати в умовах складного ландшафту;
- дієздатність системи в умовах наявних перешкод в радіодіапазоні;
- адекватність поведінки системи при пікових навантаженнях на будівельну машину;
- здатність системи оминати приховані комунікації.

Конкретні системи автоматичного управління, що порівнюються, тобто альтернативи, складають найнижчий рівень структурної ієрархічної моделі.

Ієрархія проблеми вибору системи автоматичного управління будівельної машини для виконання ремонтних робіт подана у вигляді структурної моделі, що приведена на рисунку 1.



Рис. 1. Структурна модель вибору системи автоматичного управління будівельної машини

Експертні судження, які оцінюються за шкалою Сааті [11], є основою для побудови матриць парних порівнянь. 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 і визначаються вагові коефіцієнти  $w$  [11,12].

Побудова матриць парних порівнянь починається з матриці груп характеристик, в якій чотири групи характеристик (економічні, технічні, ергономічні та вимог проекту) другого рівня ієрархії попарно порівнюються по відношенню до проблеми вибору системи автоматичного управління будівельної машини. Потім, для кожної з груп, характеристики, що входять в дану групу, порівнюються по відношенню до того елемента верхнього рівня, від якого вони залежать. На останньому рівні ієрархії альтернативи (САУ<sub>1</sub>, САУ<sub>2</sub> ... САУ<sub>N</sub>) порівнюються відносно кожної з характеристик структурної моделі.

Узгодженість експертних оцінок визначають шляхом обчислення індексу узгодженості і відношення узгодженості [11,12].

Узагальнені вагові коефіцієнти визначаються шляхом послідовного зважування вагових коефіцієнтів нижніх рівнів ієрархічної моделі компонентами вектора вагових коефіцієнтів верхніх рівнів.

Вибір альтернативи відбувається на підставі порівняння узагальнених вагових коефіцієнтів, що розраховані за всією сукупністю критеріїв даної моделі.

### Метод аналізу варіантів плану проекту

Для оцінки плану проекту ремонту автомобільної дороги пропонується наступна послідовність дій:

1. Будеться базовий план проекту ремонту автомобільної дороги, що включає всі необхідні роботи і взаємозв'язки між ними, і типові ресурси для даних робіт в програмній системі календарно-сітьового планування.

2. Методом аналізу ієрархій визначаються набір систем автоматичного управління для будівельних машин  $b_n$  за базовими оцінками експертів.

3. Виконується модифікація плану проекту з урахуванням вибраних систем автоматичного управління.

4. Оцінюється загальна вартість  $S$  та загальна тривалість проекту  $DT^*$ . Якщо параметри проекту є незадовільними, відбувається зміна вагових характеристик груп критеріїв і знову визначається новий набір систем автоматичного управління, тобто перехід до пункту 2.

5. Якщо параметри плану проекту є задовільними, план приймається.

Схема аналізу варіантів проекту наведена на рисунку 2.

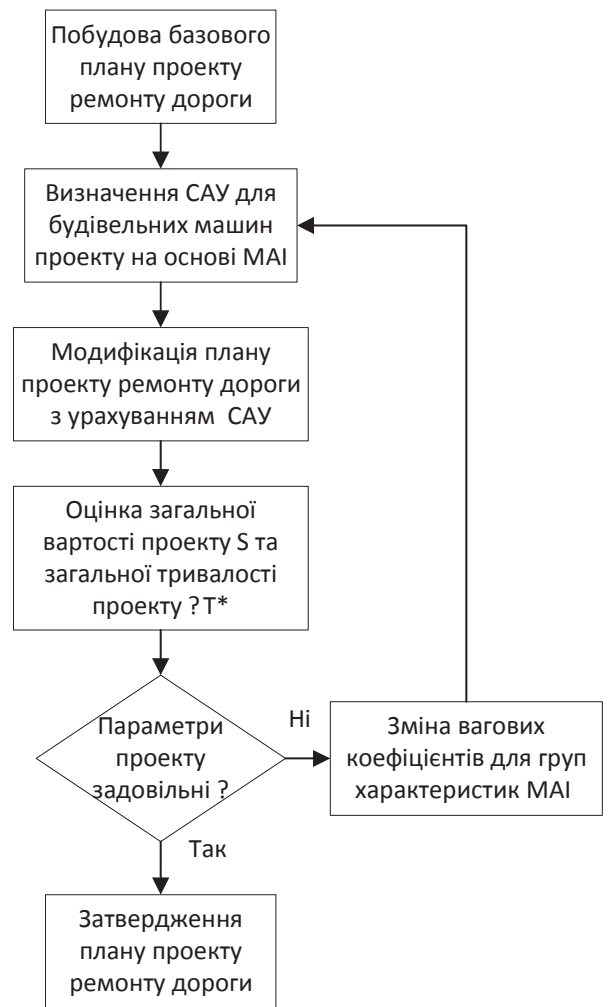


Рис 2. Схема аналізу варіантів проекту ремонту автомобільної дороги

### Висновки

Таким чином, у даній роботі розроблена модель побудови плану проекту ремонту автомобільної дороги з урахуванням доцільного вибору засобів автоматизації, яка базується на аналізі варіантів плану проекту з вибором систем автоматичного управління будівельних машин за методом аналізу ієрархій.

Побудована структурна ієрархічна модель вибору системи автоматичного управління будівельної машини, що враховує особливості конкретної ділянки автомобільної дороги, на якій відбуваються ремонтні роботи.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Реконструкция автомобильных дорог. Технология и организация работ / А.П. Васильев, Ю.М. Яковлев, М.С. Коганзон и др.: Учебное пособие / МАДИ (ТУ). – М., 1998. – 125с.
2. ГБН Г.1-218-182:2011 «Ремонт автомобильных дорог общего пользования. Виды работ и перечень работ».
3. Справочная энциклопедия дорожника том II. Ремонт и содержание автомобильных дорог / [Под ред. проф. А.П. Васильева], – МОСКВА; 2004. – 1279 с.
4. Машины для земляных работ: Навчальний посібник / Хмара Л.А., Кравець С.В., Нічке В.В., Назаров Л.В., Скоблюк М.П., Нікітін В.Г. Під загальною редакцією проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. Рівне – Дніпропетровськ – Харків. – 2010
5. Нефедов Л.И. Математическая модель планирования работ при управлении проектами ликвидации

последствий чрезвычайных природных ситуаций на магистральных автомобильных дорогах / Л.И. Нефёдов, Е.П. Бабенко, Н.Ю. Филь, Ю.Л. Губин // Информатика и моделирование: сб. науч. тр. Нац. техн. ун-та «ХПИ». – Вып. 43.–Х., 2009. – С. 115-120.

6. Нефёдов Л. Н. Модель выбора проекта ремонта автомагистрали на основе прецедентов / Л. Н. Нефёдов, И. Г. Ильге, Д. А. Маркозов, Р. Н. Миськевич // Вестн. ХНАДУ. - 2013. - Вып. 61/62. - С. 223-227.

7. Нефёдов, Л.И. Выбор проекта ремонта автомобильной магистрали на основе прецедентов с учетом рисков / Л.И. Нефёдов, И.Г. Ильге // Технология приборостроения. - 2014. – Специальный выпуск – с. 3-6. – Библиограф. – с.6.

8. Нефёдов, Л.И. Имитационное моделирование реализации проекта ликвидации чрезвычайной природной ситуации на магистральной автомобильной дороге / Л.И.

Нефёдов, В.Е. Овчаренко, И.Г. Ильге, Ю.Л. Губин // Технологии приборостроения. - 2009. – . - № 1 – с. 17-19.

9. Ильге, І.Г. Модель вибору 3D системи автоматичного управління робочими органами екскаватора / І.Г. Ильге, О.В. Рябцев // Технология приборостроения. - 2015. – . - № 1 – с. 3-5.

10. Ильге, І.Г. Узагальнена модель вибору системи автоматичного управління робочими органами машин для земляних робіт / І.Г. Ильге, О.В. Рябцев // Технология приборостроения. - 2016. – . - № 2 – с. 104-106.

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.

УДК 681.2.088

## АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ПОБУДОВИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОВІТРЯНИХ БУЛЬБАШОК У ГІДРОСИСТЕМАХ ДОРОЖНІХ МАШИН

Д.т.н. В. Д. Сахацький, Д. Є. Лихачов, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Експериментально підтверджено, що наявність повітряних бульбашок в маслопровідній системі гідравлічної станції МІ- 245 викликає значну пульсацію тиску. Показано, що розміщення в вимірвальній системі узгодженого фільтра розширює її функціональні можливості і дозволяє вимірювати не лише тиск і витрату масла в маслопровідній системі, але і на ранній стадії визначати в ній наявність повітряних бульбашок.*

*Експериментально підтверджено, що наличие воздушных пузырьков в маслопроводной системе гидравлической станции МІ-245 вызывает значительную пульсацию давления. Показано, что размещение в измерительной системе согласованного фильтра расширяет ее функциональные возможности и позволяет измерять не только давление и расход масла в маслопроводной системе, но и на ранней стадии определять в ней наличие воздушных пузырьков.*

*It is experimentally confirmed that the presence of air phials in the hydraulic system of the hydraulic station of МІ- 245 causes the considerable pulsation of pressure. It is shown that placing in the measuring system of the concerted filter extends her functional possibilities and allows to measure not only pressure and expense of oil in the hydraulic system but also on the early stage to determine the presence of air phials in her.*

**Ключові слова:** робоча рідина, кульки повітря, інформаційний сигнал, ударна хвиля, узгоджена фільтрація.

### Постановка проблеми

Гідроциліндри дорожніх машин та інші гідравлічні агрегати, не дивлячись на всі заходи по усуненню повітря з робочої рідини (мінерального масла), мають остаткові кульки, наповнені повітрям або іншим газом. Вивчення

властивостей рідини із кульками повітря почалося давно та активно продовжується у наші дні [1].

Наявність кульок в робочій рідині приводить до появи ударних хвиль, через які поршень гідроциліндра починає коливатись та вібрувати, що є причиною його швидшого руйнування.

При збільшенні концентрації кульок виникає небезпека виникнення схлопувань, які супроводжуються зворотніми ударними хвилями і руйнують внутрішню частину циліндра та шар змазки між поршнем і стінками циліндра. Кульки повітря та інших газів потрапляють в робочу рідину на певному етапі її руху через відповідні механізми і впливають на роботу робочих органів та вузлів.

При взаємодії з твердою перешкодою ударна хвиля трансформується – утворюється відображена ударна хвиля. Цей момент є принциповим для маслопровідної системи, оскільки поршень гідроциліндра починає коливатись та вібрувати, що є причиною його швидшого руйнування. В результаті взаємодії поршневої системи з ударними хвилями є можливість виникнення необхідних для детонації умов.

Тому постало питання про важливість визначення наявності повітряних кульок в робочій рідині маслопровідної системи дорожніх машин на ранніх стадіях їх утворення для запобігання їх руйнівній дії.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Рідина з бульбашками газу має властивості, які кардинально відрізняються від чистої рідини. В таких середовищах можуть формуватися відокремлені хвилі, а також можуть з'являтися аномально високі сплески тиску при поширенні хвиль стиснення в парорідинних сумішах. В експериментах [2] візуально зафіксована потужна вторинна ударна хвиля, що виникає при схлопуванні