

**УДК 625.7/.8**

**Гамеляк І.П.,** д-р техн. наук

### **СИСТЕМНА МОДЕЛЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНИХ ОДЯГІВ**

**Анотація.** У статті використано системний піхід до аналізу надійності конструкцій дорожнього одягу. Наводиться визначення і обґрунтування системної моделі забезпечення надійності конструкцій дорожніх одягів на етапах проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг.

**Ключові слова:** системний підхід, модель, конструкція дорожнього одягу, надійність, етапи життєвого циклу.

**УДК 625.7/.8**

**Гамеляк И.П.,** д-р техн. наук

### **СИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД**

**Аннотация.** В статье использованы системный подход к анализу надежности конструкций дорожной одежды. Приводится определение и обоснование системной модели обеспечения надежности конструкций дорожных одежд на этапах проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог.

**Ключевые слова:** системный подход, модель, конструкция дорожной одежды, надежность, этапы жизненного цикла.

**UDC 625.7/.8**

**Gameliak I.P.,** Dr. Tech. Sci.

### **THE SYSTEM MODEL SUPPORTS OF THE RELIABILITY ROAD STRUCTURES**

**Abstract.** The paper used system approach to analysis reliability of pavement structures. An identification and study system model to ensure reliability of structures pavements during the design, construction and mantanance of highways.

**Keywords:** system approach, model, pavement design, reliability, life cycle stages.

## **Вступ**

Системна модель забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей конструкцій дорожніх одягів (КДО) автомобільних доріг повинна адекватно відтворювати систему процесів, що впливають на якісні показники КДО, а також створювати реальні можливості для постановки сучасних задач оптимізації цих процесів.

Враховуючи, що системні властивості КДО в процесі експлуатації залежать від процесів використання транспортних засобів за призначенням та технічного обслуговування (ТО) і ремонту з урахуванням інтенсивності витрат технічного ресурсу, обмежень на паливні, мастильні, матеріальні, трудові і фінансові ресурси та впливу на навколишнє середовище, які в свою чергу визначаються якістю та надійністю КДО модель повинна бути ієрархічною та системно комбінованою [1 - 3]. Тобто, виробничий процес впливу на системні властивості КДО розбивається на множину цільових (локальних) процесів, для яких визначається відповідна множина задач, методів, технологій, систем (підсистем) які необхідно поставити і вирішити на даному проміжку часу для реалізації визначених локальних цілей.

**Аналіз попередніх досліджень.** Автомобільно – транспортний комплекс містить у собі транспортні засоби й автомобільні дороги (покриття і допоміжні споруди), що забезпечують перевезення вантажів і пасажирів відповідно до запитів економіки країни [5 - 7].

Експлуатація автотранспортного комплексу - це експлуатація автомобілів та автодоріг і є складною взаємозалежною системою, у якій ефективність роботи автомобілів визначається станом доріг, а надійність та довговічність доріг залежить від умов експлуатації автомобілів [5, 7]. Для розробки найбільш ефективних методів експлуатації доріг необхідно комплексне дослідження процесу взаємодії всіх елементів, що складають систему експлуатації автомобільного транспорту. А для забезпечення надійності доріг, крім того, необхідно встановлення основних факторів, що формують цю складну систему на стадії проектування, будівництва, та визначають її довговічність при експлуатації.

Стосовно до транспортного процесу на основі принципів системотехніки структурну схему системи експлуатації автомобільного транспорту з деякими умовностями можна представити з чотирьох блоків, «водій - автомобіль -

зовнішнє середовище - дорога» [5, 7]. Така схема дозволяє аналізувати як систему в цілому, так і окремо підсистеми.

У структурній схемі можна виділити такі основні підсистеми: 1) зовнішнє середовище - водій; 2) водій - автомобіль, 3) автомобіль - дорога; 4) зовнішнє середовище - дорога; 5) дорога - автомобіль; 6) автомобіль - водій; 7) зовнішнє середовище - автомобіль. При необхідності кожен підсистему можна представити окремими елементами. Для автомобіля - це колеса, підвіска, трансмісія, механізм керування, вузли, двигун; для зовнішнього середовища - це озеленення, дорожні знаки, зустрічні транспортні засоби, вологість та температура повітря тощо.

Проблема забезпечення надійності КДО є комплексною проблемою, окремі задачі якої відносяться до різних наукових областей. Комплексне рішення проблеми може бути здійснено тільки при такій її постановці, що дозволяє повному побачити об'єкт і окреслити реальність, що підлягає дослідженню, тобто реалізувати системний підхід, що є в даний час основним методом дослідження складних явищ і процесів [8 – 11]. Тому метою роботи є - визначення і обґрунтування системної моделі забезпечення надійності конструкцій дорожніх одягів на етапах проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг.

### Основна частина

Розглянемо позиції системного аналізу надійності КДО як складну систему, забезпечення якої залежить від цілого ряду взаємозв'язаних факторів (навколишнього середовища; технології будівництва; взаємодії з основою; внутрішні процеси в матеріалах і конструкціях, які відбуваються на стадії експлуатації; економічні; соціальні), що дозволяє виділити чотири основні аспекти надійності: проектно-конструкторський, матеріалознавчо-технологічний, економіко-організаційний та експлуатаційний (рис. 1).



**Рисунок 1** - Загальна схема системного підходу до аналізу надійності КДО

Складність аналітичного опису всіх цих факторів у сукупності визначила те, що в даний час у дорожньому будівництві ще немає закінчених інженерних методів розрахунку надійності та довговічності КДО, чи рішення зворотної задачі - підбору матеріалів і конструкцій для заданого терміну служби.

Для розрахунку проектної надійності необхідно вирішити дві основні задачі [12]:

- вивчення, збір статистичних даних та узагальнення впливу різних видів навантажень і їхніх сполучень на конструкцію дорожнього одягу;

- розробка методів одержання статистичних законів розподілу міцності конструкцій з урахуванням властивостей матеріалів, зміни умов їхньої експлуатації в часі і виду напруженого стану;

- розробка принципів призначення імовірності допустимих відмов, особливо для конструкцій і споруд з неекономічною відповідальністю та їх нормування (рис. 2).

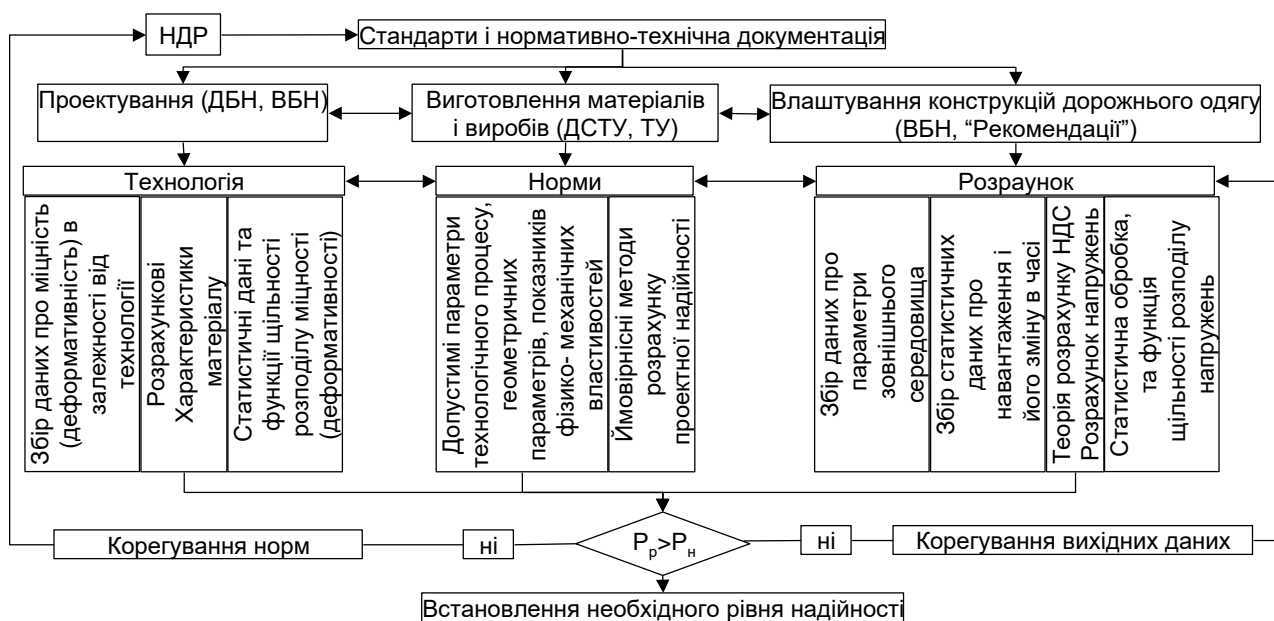


Рисунок 2 - Структурна схема аналізу проектно-конструкторської надійності КДО

На рис. 3 наведено схему аналізу матеріалознавчо-технологічної надійності КДО на прикладі влаштування асфальтобетонного покриття.

Навіть найбільш вдале технічне рішення та достатньо надійне проектне рішення неможливо реалізувати без необхідного рівня фінансування. В умовах соціалістичної економіки основна увага зверталася на економію матеріалів та

ресурсів, часто без достатнього прогнозу таких рішень на перспективу. В результаті товщина асфальтобетонних покриттів в Україні на дорогах вищих категорій недостатня і одна з найменших у порівнянні з країнами Західної Європи. Недостатність коштів на утримання та ремонт автомобільних доріг в останні роки приводить до скорочення термінів служби дорожніх покриттів, передчасного вичерпування їх ресурсу. Обмежене фінансування дорожнього комплексу викликає відтік спеціалістів у суміжні галузі, спричиняє еміграцію у сусідні країни. Зменшення престижу автодорожньої спеціальності приводить до зниження рівня спеціалістів, які випускає вітчизняні вищі навчальні заклади. Таким чином, можна констатувати, що надійність КДО у значній мірі визначається факторами організаційно-економічного характеру, головні з яких наведено на рис. 4.

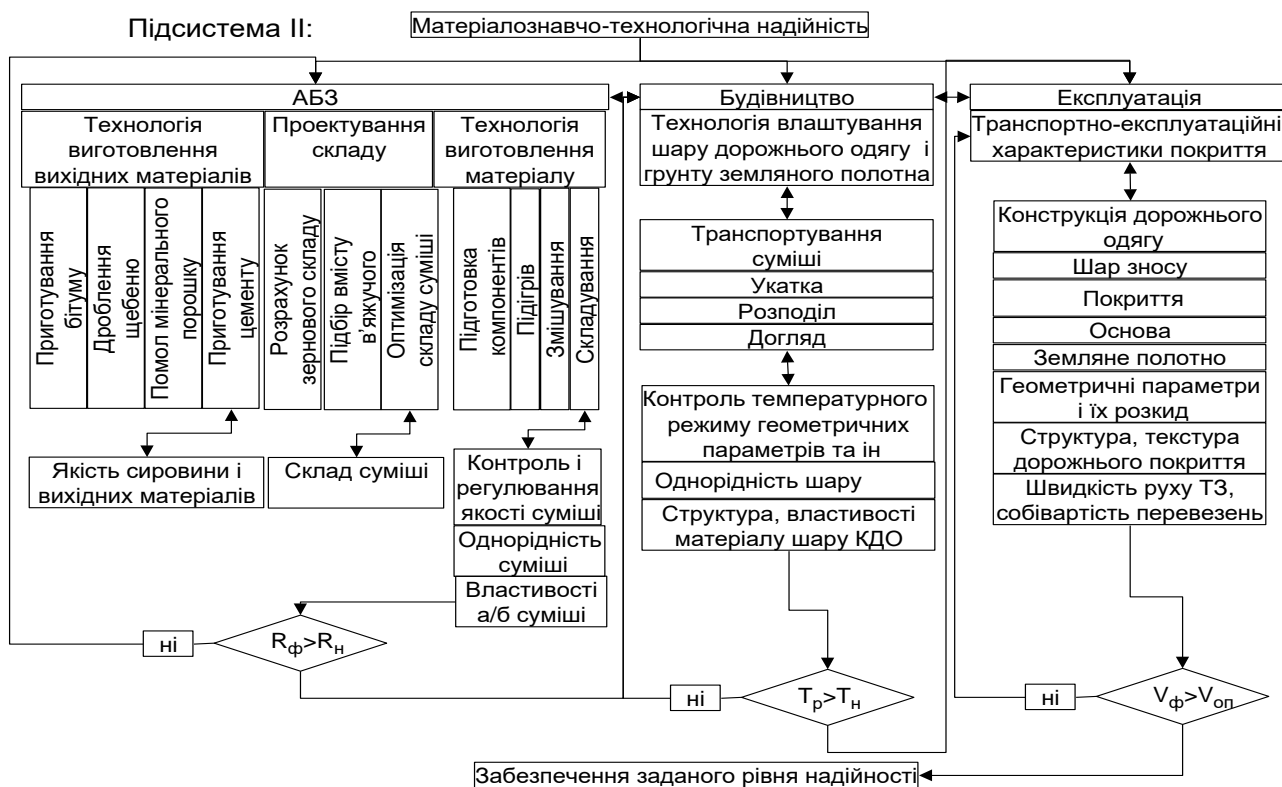


Рисунок 3 - Структурна схема аналізу матеріалознавчо-технологічної надійності КДО

Систематизація умов роботи покриття автомобільних доріг у процесі експлуатації представлена на рис. 5.

Більш детальний опис різних аспектів надійності наведено в роботі [15].

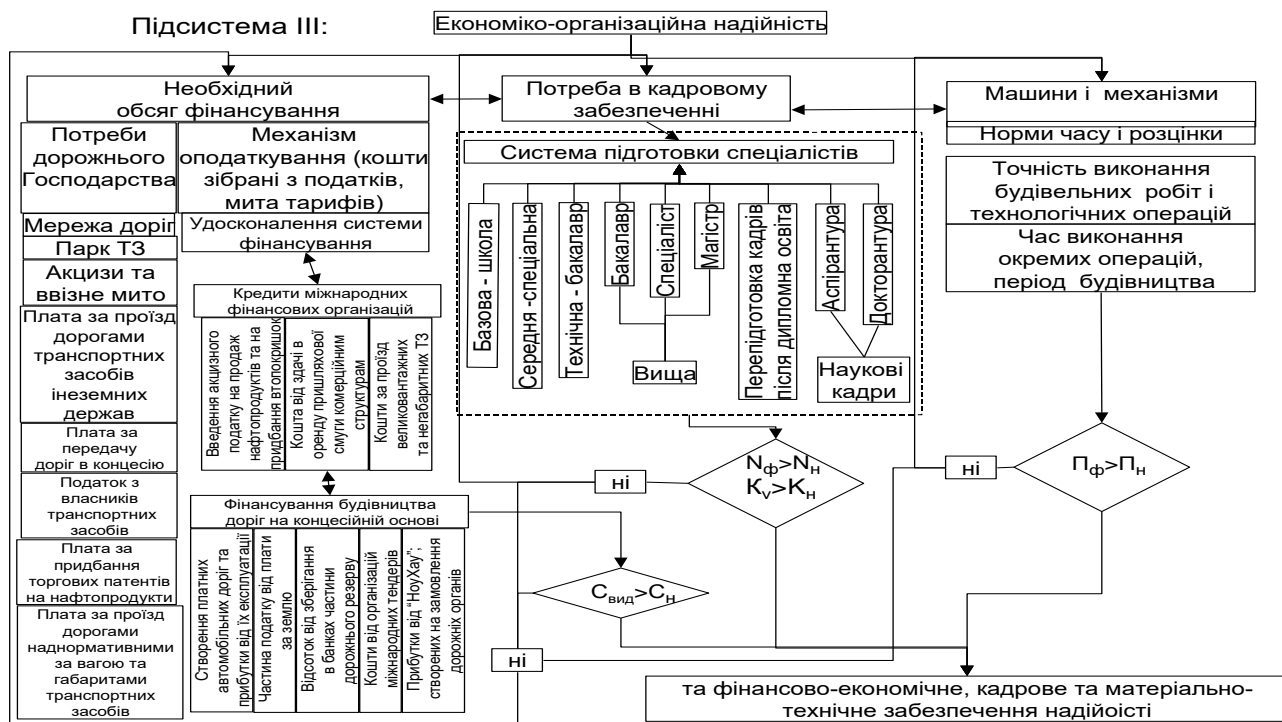


Рисунок 4 - Структурна схема аналізу економіко-організаційної надійності КДО

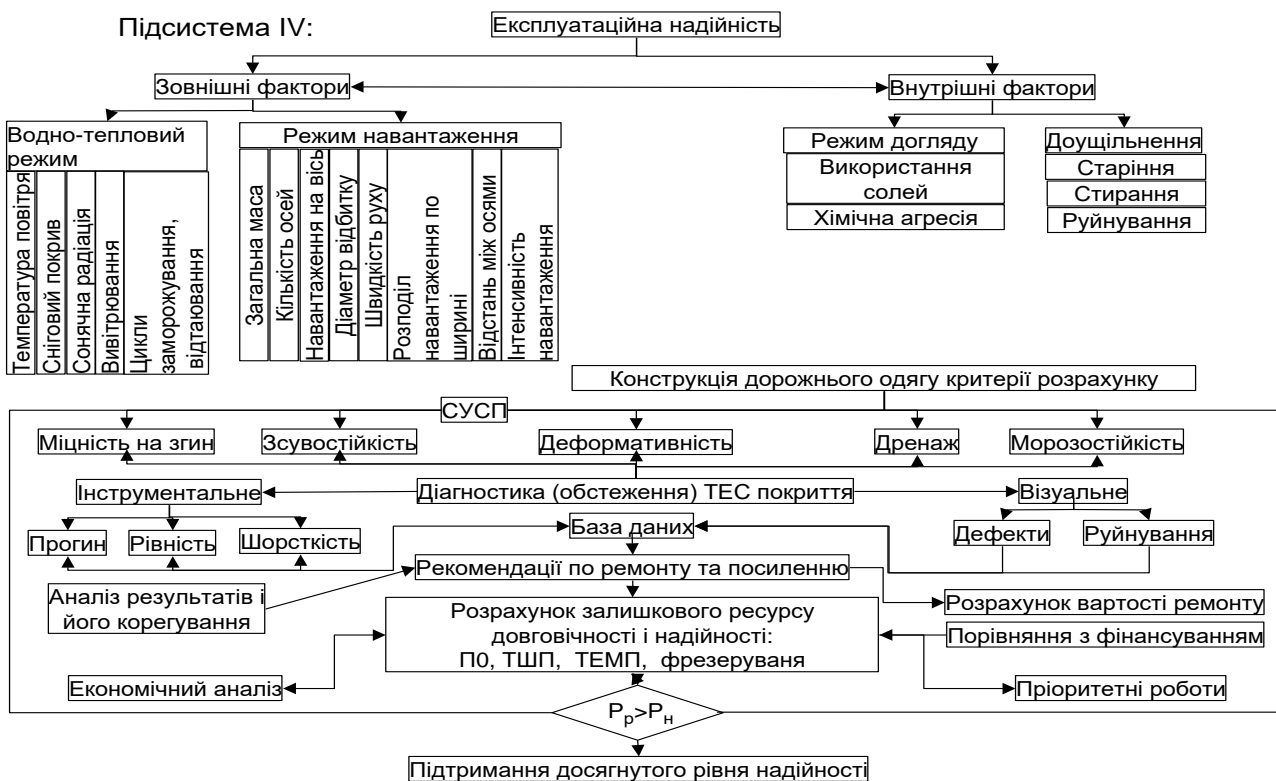


Рисунок 5 - Структурна схема аналізу експлуатаційної надійності конструкцій дорожніх одягів

Відповідно до формули системного аналізу організаційна структура процесу забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей КДО буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} & C_c \rightarrow C_{jk} \rightarrow F_{jk} \rightarrow Z_{jk} \rightarrow M_{jk} \rightarrow T_{jk} \rightarrow \Sigma_{jk} \rightarrow P_{jk}; \\ & j = 1, 2, \dots, J; k = 1, 2, \dots, K, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $C_c$  - системна ціль: забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей КДО автомобільних доріг;

$C_{jk}$  - множина локальних цілей, що впливають із  $C_c$ ;

$F_{jk}$  - множина функцій, які необхідно реалізувати для досягнення  $C_{jk}$ ;

$Z_{jk}$  - множина задач, які необхідно поставити і вирішити для реалізації  $F_{jk}$ ;

$M_{jk}$  - множина методів вирішення  $Z_{jk}$ ;

$T_{jk}$  - множина технологій (способів) вирішення  $Z_{jk}$ ;

$\Sigma_{jk}$  - множина систем (підсистем), що реалізує  $Z_{jk}$ ;

$P_{jk}$  - результати функціонування систем (підсистем)  $\Sigma_{jk}$ .

Процеси, що забезпечують оптимальні експлуатаційні властивості КДО визначаються складом та структурою цілей які формуються з врахуванням технологічних та організаційних зв'язків з зовнішнім середовищем. Цільовий рівень  $C_c$ , що підлягає розгляду, можна представити у вигляді [4, 5]:

$$C_c = C_{jk}(E_{jk}, H_{jk}, G_{jk}); j = 1, 2, \dots, J; k = 1, 2, \dots, K, \quad (2)$$

де  $C_{jk}$  - локальні цілі, що забезпечують економічність КДО;

$H_{jk}$  - локальні цілі, що пов'язані із забезпеченням надійності КДО;

$G_{jk}$  - локальні цілі, що визначають вплив на навколишнє середовище.

Системну модель, що визначає множину функцій, які необхідно реалізувати для забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей КДО у загальному вигляді можна записати [6, 7]:

$$F_{jk} = F_{jk}(F_{1k} + F_{2k} + \dots + F_{jk}); j = 1, 2, \dots, J; k = 1, 2, \dots, K, \quad (3)$$

де  $F_{jk}$  - математичні моделі вдосконалення окремих процесів, що впливають на експлуатаційні властивості КДО.

Моделі вдосконалення окремих параметрів, що впливають на економічність, надійність і екологічність можуть бути задані на множині задач  $Z_{jk}$ , розв'язання яких у системній єдності на основі застосування сучасних інформаційних технологій забезпечують досягнення оптимальних кінцевих результатів і можуть бути представлені у вигляді:

$$F_{jk} = f(Z_{jk}); j = 1, 2, \dots, J; k = 1, 2, \dots, K, \quad (4)$$

де  $Z_{jk}$  - множина задач, які необхідно розв'язати для вдосконалення окремих функцій даного цільового рівня.

Логічна структура множини задач  $Z_{jk}$  формується окремо для кожного цільового рівня з врахуванням його специфіки. Тобто, локальні цільові рівні  $C_{jk}$  вдосконалення окремих процесів, що впливають на системні властивості КДО, описуються множиною задач, які необхідно розв'язати на даному рівні:

$$C_{jk} \rightarrow Z_{jk} \{z_{jk} : z_{jk} \in Z_{jk}; j = 1, 2, \dots, J; k = 1, 2, \dots, K\}, \quad (5)$$

В табл. 1 наведені показники, що впливають на цільові рівні, які визначають структуру задач оптимізації експлуатаційних властивостей КДО.

Логічна структура задач, що входять до складу системної моделі забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей КДО будується поетапно, з врахуванням локальних цілей  $C_{jk}$  та кінцевих результатів  $P_{jk}$ , діяльності дорожніх організацій  $\Sigma_{jk}$ , що реалізує їх (табл. 1).

При цьому для кожного цільового рівня визначаються оптимальні системні критерії, методи (способи) розв'язання задач та технічні засоби їх реалізації.

Системний критерій  $S_c$  забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей КДО формується на основі мінімізації експлуатаційних витрат  $E_{jk} \rightarrow \min$ , максимізації рівня надійності КДО  $H_{jk} \rightarrow \max$  та мінімізації шкідливого впливу на навколишнє середовище  $G_{jk} \rightarrow \min$  і може бути представлений за допомогою виразу:

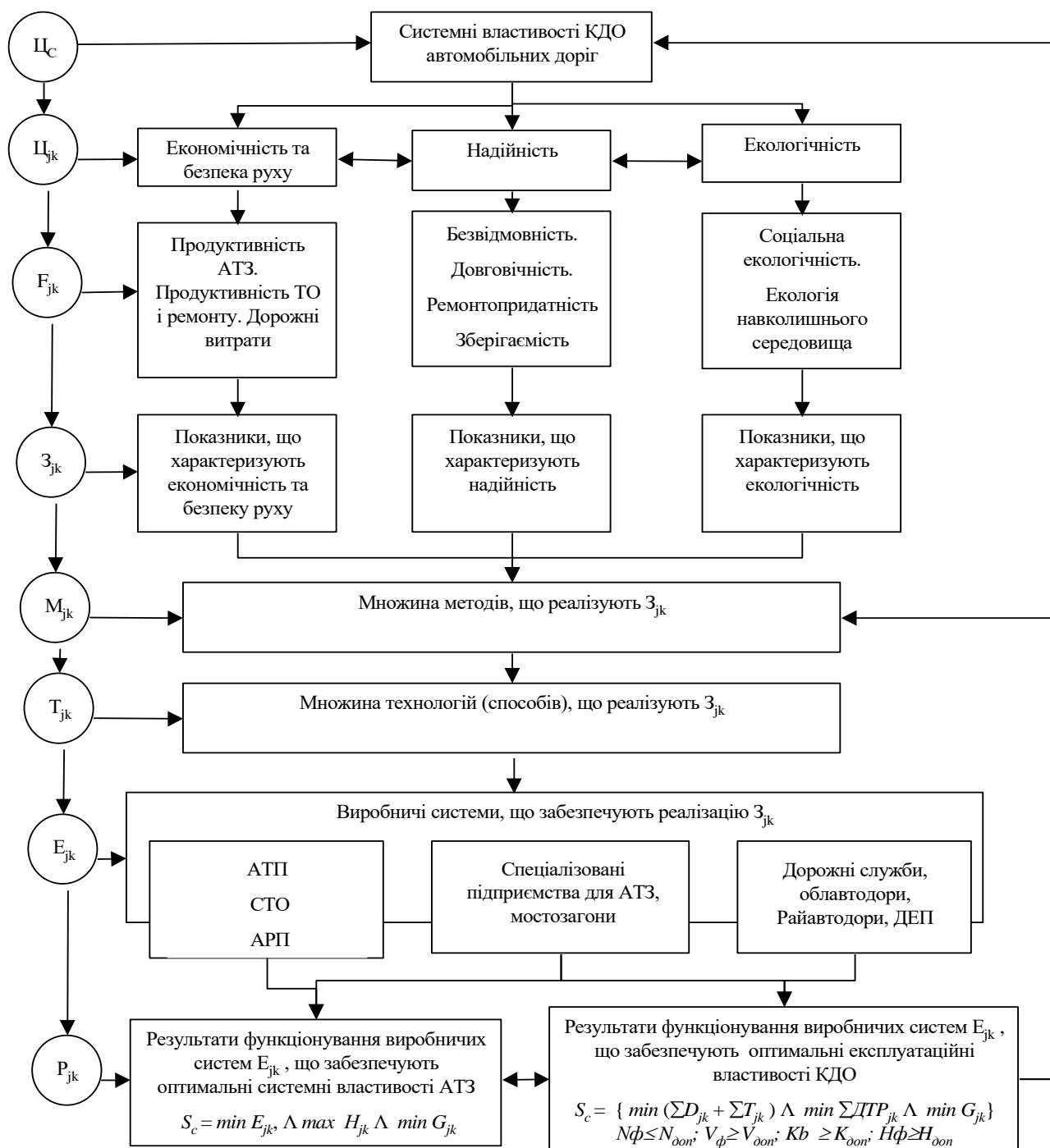
$$S_c = \min E_{jk}, \wedge \max H_{jk} \wedge \min G_{jk}. \quad (6)$$



Структурна схема ієрархічної будови моделі забезпечення оптимальних системних властивостей КДО в процесі експлуатації показана на рис. 6. Можливі також інші, більш узагальнені системні критерії, в залежності від конкретних проблем галузі. Які вирішуються на даному етапі розвитку.

Таблиця 1 - Показники, що впливають на системні властивості КДО

Системні цільові (локальні) рівні $C_{jk}$	Множина функцій $F_{jk}$ , які забезпечують необхідний рівень $C_{jk}$	Показники, які характеризують $R_{дж}$ .
Економічність та безпека руху	Продуктивність автотранспортних засобів (АТЗ)	- собівартість перевезень; - рентабельність; - прибуток; - доходи; - швидкість руху; - втрати від ДТП
	Продуктивність ТО і ремонту АТЗ	- простої АТЗ в ТО і ремонті; - рівень запасів обмінного фонду; - рівень відновлення запасних частин
	Дорожні витрати	- втрати часу при ремонтах КДО; - витрати матеріалів, трудових та енергетичних ресурсів; - вартість утримання та ремонтів.
Надійність	Безвідмовність КДО	- імовірність безвідмовної роботи; - інтенсивність відмовлень для шарів конструкції, що підлягають відновленню; - інтенсивність відмовлень для шарів КДО, що не підлягають відновленню.
	Довговічність КДО	- середній ресурс (кількість циклів до руйнування при проїзді стандартних осей) - середній термін служби (роки); - імовірність досягнення граничного стану за трьома критеріями міцності; - залишковий ресурс.
	Ремонтпридатність	- середня тривалість і трудомісткість утримання та ремонтів; - технологічність виконання ремонтів при посиленні та реконструкції.
	Збержуваність	- строк зберігачості матеріалів, призначених для будівництва та ремонту
Екологічність	Соціальна екологічність	- рівень охорони праці; - рівень автоматизації; - рівень комфортабельності руху.
	Екологія навколишнього середовища	- токсичність; - кількість шкідливих викидів; - зміна екосистем внаслідок будівництва та ремонту автодоріг.



**Рисунок 6** - Структурна схема ієрархічної будови системної моделі забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей КДО

Наприклад, найбільш узагальненим є критерій мінімуму приведених дорожніх і транспортних витрат

$$S_c = \{ \min (\sum D_{jk} + \sum T_{jk}) \wedge \min \sum ДТР_{jk} \wedge \min G_{jk} \}, \quad (7)$$

при граничних умовах:  $N\phi \leq N_{дон}; V_{\phi} \geq V_{дон}; Kb \geq K_{дон}; H\phi \geq H_{дон}$ .

де  $\sum D_{jk}$  та  $\sum T_{jk}$  – відповідно, сумарні приведені дорожні та транспортні витрати;  $\sum ДТР_{jk}$ , - втрати від дорожньо-транспортних пригод;  $\sum G_{jk}$  – сумарні затрати на відновлення збитків від негативного впливу на навколишнє середовище (викиди шкідливих речовин, загазованість, рівень шуму, екологічні впливи на тваринний та рослинний світ і т.п. );  $N_{\phi}$  - фактична інтенсивність руху,  $N_{\text{дон}}$  – пропускна здатність дороги при швидкості руху потоку автомобілів  $V_{\text{дон}}$ ;  $V_{\phi}$  – середня швидкість руху транспортного потоку;  $V_{\text{дон}}$  – допустима швидкість руху транспортного потоку;  $K_b$  – коефіцієнт безпеки руху;  $K_{\text{дон}}$  – задане мінімальне значення коефіцієнта безпеки руху;  $H_{\phi}$  – фактичний рівень надійності КДО;  $H_{\text{дон}}$  – допустимий рівень надійності КДО.

Виходячи із актуальності питання забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей КДО, викладений у роботі системний підхід передбачає прийняття управлінських рішень з максимальним охопленням всіх взаємозв'язків виробничих процесів, що впливають на системні властивості КДО та дослідження наслідків тієї чи іншої альтернативи. Дослідження виробничих процесів у системній єдності дозволяє забезпечити раціональне використання трудових, матеріальних, паливно-енергетичних та фінансових ресурсів, високу якість виконання робіт по утриманню та ремонту КДО автомобільних доріг.

### **Висновки**

Таким чином, існує необхідність в розробці методики розрахунку надійності конструкції дорожнього одягу з врахуванням якості вихідних матеріалів та конкретних умов будівництва та використання даного підходу для прогнозування поведінки дорожньо-будівельних матеріалів в експлуатації. Також важливо мати методику розрахунку зниження довговічності та матеріальних втрат від неякісного влаштування асфальтобетонних шарів.

Розроблена топологічна схема аналізу та забезпечення надійності КДО і деталізація її сукупностей дозволяють виділити найбільше істотні чинники, що впливають, як на транспортно-експлуатаційні показники дорожнього покриття так і в такий спосіб окреслити коло необхідних теоретичних і експериментальних досліджень.

### **Література**

1. Математическая теория оптимальных процессов /Понтрягин А.С., Болтянский В. Г, Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. М.: Наука, 1976. – 392 с.
2. Чумаченко Н.Т. Статистико-математические методы анализа в управлении производством США. М.: Статистика, 1973. - 164 с.
3. Тимченко А. А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів: Підручник: У двох книгах. Книга 1. Основи САПР та системного проектування складних об'єктів. К.: Либідь, 2000. - 272 с.
4. Канарчук В.Є., Левковець П.Р., Левківський О. П. Морфологічний опис системної моделі забезпечення оптимальних властивостей автотранспортних засобів//Вісник ТАУ та Українського транспортного університету. - К.: ТАУ, УТУ - 2001. - № 5. - С. 22 - 25.
5. Бабков В.Ф., Андреев О.В., Замахаев М.С. Проектирование автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1971. - 400 с.
6. Бируля А.К., Говорущенко Н.Я., Ермакович Д.В. Эксплуатационные качества автомобильных дорог. М., Автотрансиздат, 1961. – 135 с.
7. Сильянов В.В. Транспортно эксплуатационные качества автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1984. – 287 с.
8. Болотин В.В., Новичков Ю.Н. Механика многослойных конструкций. – М.: Машиностроение, 1980. – 375 с.
9. Богданов В.В., Христофоров Е.И., Клоцунг Б.А. Эффективные малообъемные смесители. – Л.: Химия, 1989. – 224 с.
10. Берталанфи Л. Исследования по общей теории систем: Пер. с англ. – М.: Наука, 1969. – С. 23 - 82.
11. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии: Топологический принцип формализации. – М.: Наука, 1979. – 394 с.
12. Гамеляк І. П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу : дис... д-ра техн. наук: 05.22.11 / Національний транспортний ун-т. - К.: 2005. – 350 с.

#### **Рецензенти:**

Савенко В.Я., д-р тех. наук, Національний транспортний університет.  
Марчук О.В., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

#### **Reviewer:**

Savenko V.Ya., Dr. Tech. Sci., National Transport University  
Marchuk O.V., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **15.03.2017 р.**

**УДК 539.3**